

SZENT ISTVÁN EGYETEM

***Diabrotica*-rezisztens (Cry34/35Ab1, Cry34/35Ab1 x Cry1F fehérjét termelő)
kukorica hibridek környezeti kockázatelemzése egyes ízeltlábú csoportokra**

Doktori (PhD) értekezés tézisei

PÁLINKÁS ZOLTÁN

GÖDÖLLŐ

2016

A doktori iskola

megnevezése: Növénytudományi Doktori Iskola

tudományága: Növénytermesztési és Kertészeti

vezetője: Dr. Helyes Lajos
egyetemi tanár, az MTA doktora
Szent István Egyetem
Mezőgazdaság- és Környezettudományi Kar
Kertészeti Technológiai Intézet

témavezető: Dr. Kiss József
egyetemi tanár
Szent István Egyetem
Mezőgazdaság- és Környezettudományi Kar
Növényvédelmi Intézet

Az iskolavezető jóváhagyása

A témavezető jóváhagyása

1. A munka előzményei, a kitűzött célok

A világon 2014-ben több mint 180 millió hektáron termesztettek géntechnológiával módosított növényeket (James, 2014). A géntechnológiával módosított (GM) növények termőterületének globális növekedése folyamatos, míg Európában kisebb mértékű, ugyanakkor GM Bt és herbicid toleráns (HT) eseményű hibridek élelmiszer- és takarmány és feldolgozási célú importja és így felhasználása Európában is jelentős.

Az Európai Unióban nagy területen termesztett növény a kukorica, melynek gazdasági szempontból az egyik kiemelkedő kártevője (eltekintve jelenleg a spanyol és portugál kukoricatermesztő régióktól), az amerikai kukoricabogár (*Diabrotica virgifera virgifera* LeConte). E kártevő elleni védelem (mint a kukorica integrált védelmének egyik fő nem-kémiai eleme) a vetésváltás, mivel a kártevő nőtényei főként a kukoricatábla talajába helyezik tojásaikat, amelyekből – áttelelés után – a kikelő lárva az önmaga után vetett kukorica gyökérzetét károsítja. Ugyanakkor a vetésváltás nem oldható meg (agrotechnikai, gazdasági, stb. okok miatt) mindenhol (Kiss et al., 2005; Fall és Wessler, 2008). A vetésváltás túl magas aránya (>80 %), mely egy védekezési módszer kizárólagos vagy döntő alkalmazását jelentené, nincs összhangban az integrált védelem alapelveivel, és elősegítheti az ún. „vetésváltás rezisztens” populáció megjelenését (Onstad et al., 2001). Tehát nem is célszerű minden évben minden táblán alkalmazni, így a termőterület egy részén önmaga után is indokolt kukoricát vetni. Ezeken a területeken az amerikai kukoricabogár lárva ellen több esetben indokolt lehet különböző kémiai növényvédelmi beavatkozás, például inszekticid vetőmag- vagy sorkezelés. Az inszekticid védekezési módok bővültek az amerikai kukoricabogár ellen rezisztens (Cry3A, Cry3Bb1, Cry34/35Ab1 fehérjét termelő) kukorica hibridek termesztésbe vonásával (USA és Canada).

Az Európai Unió és annak tagállamai is szembesülnek a GM növények, ezen belül a *Diabrotica* rezisztens kukorica hibridek lehetséges termesztéséből eredő új kihívásokkal. Indokolt ezen új védekezési módszerek alkalmazhatóságának, lehetséges előnyeinek vagy környezeti kockázatainak értékelése, valamint a már rendelkezésre álló kockázatértékelések adat- és eredménybázisának bővítése. Ezen felül elengedhetetlen bármely potenciális befogadó környezet (EFSA, 2010a,b) és a hibridek kölcsönhatásának értékelése, illetve a tágabb termesztési, gazdálkodási rendszerekbe történő bevonásának elemzése (Szénási et al., 2009), amely tudományos információkkal szolgálhat más régiók számára és visszajelzést ad a kockázatértékelőknek és a kockázatkezelőknek. A GM növények környezeti kockázatelemzésének egyik kiemelt területe a

nem-célszervezetekre (elsősorban ízeltlábúakra) gyakorolt hatás elemzése (Wolt et al., 2010), melyben meghatározó az ún. „tiered approach” elv (USEPA, 1998; Romeis et al., 2006, Romeis et al., 2008), amely különös tekintettel az inszekticid hatású fehérjéket termelő növények esetében laboratóriumi, üvegházi, félszabadföldi, szabadföldi vizsgálatokon alapul (Poppy, 2000; Wilkinson et al., 2003; Garcia-Alonso et al., 2006; Rose, 2007; Romeis et al., 2008).

A Cry34/35Ab1 bináris fehérjét termelő hibridek célszervezetei a *Diabrotica* fajkomplexumba tartozó fajok, de ezekből jelenleg Európára nézve az amerikai kukoricabogár (*D. virgifera virgifera*, Coleoptera) a releváns. Ezen kártevő elleni rezisztenciát biztosító eseményt tartalmazó hibridek, illetve az általuk termelt fehérje a nem-célszervezetekre, elsősorban a célszervezethez taxonómiaiilag „közel” álló Coleoptera (Carabidae, Coccinellidae, Staphylinidae és egyes a kukoricán is táplálkozó Chrysomelidae) fajokra az elfogyasztott növényi részekkel (herbivorok, vagy például egyes katicabogár fajok vegyes táplálkozása miatti pollenfogyasztása), illetve a kukorica növényen táplálkozó herbivor zsákmány állatok (földibolhák, egyes poloskák, tripszek, kabócák) elfogyasztásával (például ugyancsak katicabogár fajok, valamint futóbogár és holyva stb. fajok) nemkívánatos hatással lehetnek.

Az alacsonyabb szintek (Tier I-II.) laboratóriumi eredményei a tesztelt fajokra, a növényhez képest többszörös (általában 10) fehérjekoncentráció mellett nem eredményeztek nemkívánatos mellékhatást. Ugyanakkor a „befogadó környezet” jellegzetességei miatt (a Pannon Biogeográfiai Régióban, így például Magyarországon és a Cseh Köztársaság, Szlovákia, Románia, Szerbia, Horvátország, Ukrajna egyes részein szántóföldi, de különösen kukoricások ragadozó és növényevő ízeltlábú együttese), a szabadföldi stressznek kitett növény és az ízeltlábúak közötti kölcsönhatás értékelése fontos tudományos cél (például korábbi vizsgálatok eredményeit meg kell, hogy erősítse vagy cáfolja).

A Szent István Egyetem Növényvédelemi Intézete 2001 óta végez környezeti hatásvizsgálatokat szabadföldön géntechnológiával módosított kukorica hibridekkel Sósút térségében (Budapesttől 30 km-re, DNY-i irányban). Először kukoricamolyle rezisztens (MON810) hibrid (EU-5 K+F “Bt-BioNoTa” projekt „Bt transzgenek hatása nem-célszervezet rovarok: beporzók, növényevők és ragadozók biodiverzítására”), majd 2006-2010 között herbicid toleráns és/vagy lepke- és bogárkártevőkkel szemben rezisztens kukorica hibridek környezeti hatását vizsgáltuk egyes nem-célszervezet ízeltlábú csoportokra.

A fentiek figyelembe vételével a célkitűzéseim a következők voltak:

- Különböző, géntechnológiával módosított (Cry34/35Ab1 és Cry34/35Ab1 x Cry1F fehérjét termelő) kukorica hatásának értékelése egyes nem-célszervezet ízeltlábúakra a fenti eseményű hibridekben illetve a hozzá közelálló izogénes kukoricákban kialakult ízeltlábú együttesek mennyiségi viszonyainak összehasonlításával.
- Különböző GM (Cry34/35Ab1 és Cry34/35Ab1 x Cry1F fehérjét termelő) és a hozzá közelálló izogénes kukoricákban kialakult ízeltlábú kapcsolatok feltérképezése, stabilitásuk vizsgálata.
- A fenti eseményű kukorica hibridek környezeti kockázatértékelésének bővítése.

A GM növények értékelése számos (pl. gazdasági, együttélési, környezeti, takarmányozás- és élelmezésbiztonsági, etikai, személyes érzelmi stb.) szempontból történhet. Munkámmal kizárólag tudományos célú környezeti kockázatértékeléshez kívántam hozzájárulni.

2. Anyag és módszer

2.1. A kísérlet helye, ideje és elrendezése

A szabadföldi mintázáshoz, az illetékes hatóság (akkor FvM) által jóváhagyott határozatnak megfelelően, Sós-kút térségében (Budapesttől 30 km-re, ÉNY-i irányban) történt a kibocsátás. A vizsgálatokat 2006-2008 között a Sós-kút Fruct Kft. tulajdonában lévő (egy csonthéjas ültetvényvel, kisebb és távolabb nagyobb szántóföldi táblákkal övezett) 5,7 hektáros téglalap alakú területén végeztük.

Mindhárom évben egységesen a felvételezésekhez összesen 40 db 25x25 méteres parcellát alakítottunk ki, kezelésként 4 ismétlésben, véletlen blokk elrendezésben. A parcellák között 1 m-es, a beállított kísérleti blokkok között 3 m-es kezelő utakat alakítottunk ki. Mindhárom évben ugyanaz volt a parcellák elrendezése és pontos helye. A kibocsátási engedélyben előírtaknak megfelelően biztosítva volt a terület bekerítése, éjjel-nappali őrzése, illetve a pollen elsodródás kiküszöbölése miatt a kísérleti kukorica állományt köpenyvetéssel (pollencsapda) vettük körbe.

A vetés vetőpuskával történt, majd eggyelével állítottuk be a pontos, egységes tőszámot (65.000 tő/ha). A kísérleti területen a régióban jellemző agrotechnikai és növényvédelmi gyakorlatot követtük, kivéve, ha a kezelés ezt nem tette lehetővé (**1. táblázat**). Csökkentve a külső tényezők hatását, mindhárom évben kukorica volt az elővetemény, és a betakarítás után őszi mélyszántást alkalmaztunk.

Mindhárom évben 4 (ismétlés) x 6 Bt (Coleoptera (Cry34/35Ab1); Lepidoptera (Cry1F) rezisztens) és/vagy herbicid (CP4 EPSPS) toleráns kukorica parcellát alakítottunk ki (továbbiakban kezelés), melyekből két kezelésben a hagyományos gyomszabályozási gyakorlat helyett (4-es és 6-os kezelés) glifozát hatóanyaggal történt a gyomok visszaszorítása. Emellett 4 (ismétlés) x 4 kontroll kukorica parcellát (két különböző kukorica hibrid, Kontroll A és Kontroll B) állítottunk be (továbbiakban kezelés), melyekből két kezelésben (72-es és 74-es kezelés) inszekticid talajkezelést végeztünk. Az 1-es, 2-es, 5-ös és 6-os kezelésben beállított hibrid (Hibrid A) genetikailag a két Kontroll A (71-es és 72-es kezelés) izogénes kukoricához állt közel, a 3-as és 4-es kezelésben vetett hibridnek (Hibrid B) pedig a két Kontroll B izogénes kukoricával (73-as és 74-es kezelés) volt közel azonos a genetikai háttere (**1. táblázat**).

1. táblázat: A kísérlet során beállított kezelések (Sóskút, 2006-2008).

Kezelés	OECD azonosító	Hibrid	Fehérje	Rezisztencia/Tolerancia	Növényvédelmi kezelés
1	DAS-59122-7	A	Cry34/35Ab1	Coleoptera	"hagyományos" gyomszabályozás
2	DAS-01507-1 x DAS-59122-7	A	Cry34/35Ab1 x Cry1F	Coleoptera x Lepidoptera	"hagyományos" gyomszabályozás
3	DAS-01507-1 x MON-00603-6	B	Cry1F x C4 EPSPS	Lepidoptera x Herbicid	"hagyományos" gyomszabályozás
4	DAS-01507-1 x MON-00603-6	B	Cry1F x C4 EPSPS	Lepidoptera x Herbicid	glifozát
5	DAS-59122-7 x DAS-01507-1 x MON-00603-6	A	Cry34/35Ab1 x Cry1F x C4 EPSPS	Coleoptera x Lepidoptera x Herbicid	"hagyományos" gyomszabályozás
6	DAS-59122-7 x DAS-01507-1 x MON-00603-6	A	Cry34/35Ab1 x Cry1F x C4 EPSPS	Coleoptera x Lepidoptera x Herbicid	glifozát
71	Kontroll A (közelálló izogénes) (PR-36B08 hibrid)	A	-	-	"hagyományos" gyomszabályozás
72	Kontroll A (közelálló izogénes) (PR-36B08 hibrid)	A	-	-	"hagyományos" gyomszabályozás + teflutrin
73	Kontroll B (közelálló izogénes) (PR-35Y65 hibrid)	B	-	-	"hagyományos" gyomszabályozás
74	Kontroll B (közelálló izogénes) (PR-35Y65 hibrid)	B	-	-	"hagyományos" gyomszabályozás + teflutrin

Az vetéssel egy menetben történt inszekticid talajkezelés (72-es és 74-es kezelés) teflutrin, Force 1.5 G készítménnyel végeztük, kivéve a 2007-es év, amikor technikai okok miatt a 72-es, 73-as és 74-es kezelés beállítása nem valósult meg. A két kezelésen kívül a kísérleti területen egyik

évben sem alkalmaztunk inszekticides beavatkozást. A 4-es és 6-os kezelésben mindhárom vegetációban két alkalommal (a kukorica 4 leveles (V4) és 8 leveles (V8) fenológiai fázisában) glifozát (Roundup Bioaktiv) hatóanyaggal történt a gyomok visszaszorítása. Ezen kívül a kísérleti terület többi részén a régióban alkalmazott „hagyományos” gyomszabályozási módszert végeztük, a kukorica 4 leveles állapotában mezotrion (Callisto 4SC) és atrazin (Gesaprim 500 FW) herbicid hatóanyagok kerültek kijuttatásra.

2.2. Ízeltlábú csoportok felvételezési/mintázási módszerei

Mindhárom vegetációs időszakban (2006-2008) az európai környezeti hatásvizsgálatokban már rutinszerűen alkalmazott mintázási/gyűjtési módszerekkel (talajcsapda, Pherocon AM ragacs lap, egyedi növényvizsgálat) történtek a felvételezések. (A felvételezéseket csoportmunkában végeztük, évente változó technikai segítséggel. Az egyszerűség kedvéért a következőkben általában többes szám első személyt használok.)

A vegetációs időszakban, a kukorica négy fenológiai fázisában (8 leveles állapotában (V8), pollenszórás előtt (VT), pollenszórás (R1), ill. pollenszórás után (R3) (Ritchie et al., 1992)) történtek a felvételezések. Az ízeltlábúak felvételezése mellett, 2007-ben és 2008-ban kiegészítő botanikai felvételezéseket is végeztünk az egyes parcellákban (évente négy alkalommal), azonban az ezekből származó eredmények bővebb elemzésére nem tértem ki az értekezésemben.

A talajcsapdázás, mint hatékony, egyszerű és olcsó, amellet szabványos, mértékadó módszer elterjedt a talajfelszínen mozgó ízeltlábúak felvételezésére (Southwood, 1978; Merret és Snazell, 1983; Dinter, 1995; Kádár és Samu, 2006). A Bt növények nem-célszervezet ízeltlábúakra gyakorolt nem-kívánatos hatásának elemzéséhez újabban rutinszerűen alkalmaznak különböző kialakítású talajcsapdákat (Riddick et al., 1998; French et al., 2004; de la Poza, 2005; Szekeres et al., 2006; Prasifka et al., 2007).

A talajcsapdás mintázásaink során mindhárom vegetációs időszakban a Barber-féle pohárcsapda módosított változatát (Kádár és Samu, 2006) alkalmaztuk. A vegetációs időszak elején 2006-ban és 2008-ban 120 db, 2007-ben összesen 84 db (3 db/parcella) külső poharat ástunk be a talajba, a parcella közepén egymástól 9 m-re. Prasifka és mtsai (2007) kísérleteihez hasonlóan, a csapdák aktiválása során (ölő-konzerváló anyagként) 70 %-os etilén-glikol (nem párolog, szagtalan) oldatot használtunk. Az aktiválás után 1 héttel ürítettük a csapda tartalmát, a leszűrt anyagot azonosítóval ellátva beszállítottuk a SZIE Növényvédelmi Intézetének laboratóriumába, ahol 60 %-os etanol oldatban táruztuk, majd sztereo-mikroszkóp alatt határoztuk meg az egyes taxonokat.

A Pherocon AM sárga ragadós lapcsapda (Trécé Inc., Adair, OK USA) a sárga színvonzó hatásának (vizuális inger) köszönhetően a repülő, ugró rovarok mintázására alkalmas (http1). A

szegélyhatás csökkentése céljából a sárga ragacslapokkal történő mintázást a talajcsapdás felvételezési módszerhez hasonlóan a parcellák közepén egy 9x9 m-es területen végeztük. A vegetációs időszak elején 2006-ban és 2008-ban 120 db, 2007-ben összesen 84 db (3 db/parcella) akáckarót ástunk le a talajba, ennek megfelelően a felvételezési időszakokban minden parcellában háromszög alakban három Pherocon AM sárga ragacslap került kihelyezésre. A ragacslapokat a kihelyezés után 1 héttel gyűjtöttük be (feljegyeztük a parcella és a ragacslap számát), majd hűtőben tároltuk, és a SZIE-NVI laboratóriumában sztereo-mikroszkóp alatt értékeltük ki.

A kukoricán előforduló növényevő, ragadozó ízeltlábúak felvételezésére egyik legegyszerűbb és egyben a gyakorlatban széles körben alkalmazott módszer az egyedi növényvizsgálat. A felvételezéseket a parcellák közepén, a szegélyhatás elkerülése céljából egy 9x9 m-es területen végeztük, melyen belül három mintavételezési pontot jelöltünk ki. Minden pontban 5, vagyis parcellánként 15 véletlenszerűen kiválasztott növény teljes felületét (szár, levél színe és fonáki része, bibe, cső, csuhélevelek mindkét oldala, címer) alulról felfelé haladva átvizsgáltuk, illetve feljegyeztük a rajtuk található ízeltlábúak egyedszámát.

2.3. Adatrendezés, statisztikai elemzés

Az adatok rendezését Excel táblázatok segítségével oldottam meg. A mintázott ízeltlábúak egyedszámát évenként, kezelésenként, felvételezési időpontonként (évente 4 alkalom) és mintázási módszerenként külön táblázatba foglaltam. Az adatok kiértékelésékor csak azokat az ízeltlábú csoportokat vontam be a vizsgálatokba, melyekből legalább egy évben a kísérleti területen (a mintázott parcellákban) minimum 100 vagy annál több egyed felvételeztünk az egyes mintázási módszerekkel. A begyűjtött ízeltlábúakat ún. táplálkozási vagy trofikus csoportokba (növényevő ill. ragadozó) rendeztem. Trofikus csoportnak nevezzük azon fajok összességét, amelyek közel azonos táplálékot fogyasztanak. A módszert gyakran alkalmazzák táplálékláncok elemzésénél (Gagic et al., 2011; Jordán et al., 2012). Ennek megfelelően, 14 ragadozó ízeltlábú taxont, és 8 növényevő ízeltlábú csoportot vontunk be a vizsgálatokba. Talajcsapdával gyűjtött ízeltlábúak közül 5 csoportot, Pherocon AM ragacslappal felvételezett ízeltlábúak közül 12 taxont, egyedi növényvizsgálattal pedig 13 ízeltlábú csoportot értékeltem **(2. táblázat)**.

2. táblázat: A statisztikai elemzéseknél figyelembe vett, különböző mintázási módszerekkel felvételezett ízeltlábú taxonok. (Megjegyzés: Azon ízeltlábú taxonoknál, melyeknél nem jelöltem a fejlődési alakot, minden egyes esetben az imágó stádium szerepel.)

Ízeltlábú taxonok	Határozási szint	Felvételezési módszerek		
		Talajcsapda	Pherocon AM ragacs lap	Egyedi növényvizsgálat
Ragadozók				
Pókszabásúak (Arachnida)				
Pókok (Araneae)	rend	x		x
Rovarok (Insecta)				
Poloskák (Heteroptera)				
<i>Orius</i> spp. imágó	nemzetség		x	x
<i>Orius</i> spp. lárva	nemzetség			x
<i>Nabis</i> spp. imágó	nemzetség			x
<i>Nabis</i> spp. lárva	nemzetség			x
Bogarak (Coleoptera)				
Futóbogarak (Carabidae)	család	x		
Holyvák (Staphylinidae)	család	x	x	
Afidofág katicabogak (Coccinellidae)	család		x	x
Atkászböde imágó (<i>Stethorus pusillus</i>)	faj			x
Atkászböde báb (<i>Stethorus pusillus</i>)	faj			x
Atkászböde lárva (<i>Stethorus pusillus</i>)	faj			x
Síkszárnyúak (Planipennia)				
Zöldfátyolka imágók (Chrysopidae)	család		x	x
Zöldfátyolka tojások (Chrysopidae)	család			x
Kétszárnyúak (Diptera)				
Zengőlegyek (Syrphidae)	család		x	
Növényevők				
Rovarok (Insecta)				
Ugróvillások (Collembola)*	rend	x		
Tripszek (Thysanoptera)	rend		x	
Félfedelesszárnyúak (Hemiptera)				
Kabócák (Auchenorrhyncha)	arend		x	
Mezei poloskák (Miridae)	család		x	
Levéltetvek (Aphididae)	család		x	x
Bogarak (Coleoptera)				
Pattanóbogarak (Elateridae)	család		x	
Földibolhák (Alticinae)	alcsalád	x	x	x
Amerikai kukoricabogár (<i>Diabrotica virgifera virgifera</i>)	faj		x	

* A Collembola rendbe tartozó fajok a talajban lebontó szervezetként aktívak. Ugyancsak az egyszerűség kedvéért adott táplálkozási csoportba (pl. ragadozók) soroltam azokat a fajokat is, amelyek egyes fejlődési alakjai vegyes (egyes futóbogarak, katicabogárfélék) vagy eltérő táplálkozásúak (zengőlegy imágók nektár- a lárvák levéltetű fogyasztása).

Ezután az ízeltlábú csoportok százalékos előfordulása alapján RANK sorrendet állítottam fel minden egyes kezelés esetében a következőképpen: a leggyakrabban előforduló csoport vagy faj kapta az 1-es értéket, sorrendben a második leggyakoribb a 2-est, és így tovább. Ez alapján

meghatároztam az egyes mintavételi módszerekkel felvételezett domináns ízeltlábú csoportokat mind a GM, mind pedig az izogénes kontroll kukoricákban.

A felvételezett ízeltlábú csoportok egyedszámára gyakorolt hatások vizsgálatához több szempontos varianciaanalízist futtattam le az év, a felvételezési időpont, a kezelés, és ezek kölcsönhatásának figyelembe vételével. A varianciák homogenitását Levene-teszttel ellenőriztem. Az adatok további elemzéséhez, a vizsgálatokba bevont ízeltlábú csoportok kezelésenkénti, páronkénti összehasonlításához (évenként), az adatok normalitásának (vizuálisan, Hisztogram segítségével) vizsgálata után ANOVA-t (páronkénti összehasonlításhoz Tukey tesztet) alkalmaztam az SPSS 24.0 programcsomag segítségével. Azokban az esetekben, ahol nem volt normál az eloszlás, az adatokat a Kruskal-Wallis teszttel (páronkénti összehasonlításhoz Mann-Whitney teszt segítségével) hasonlítottam össze. A különbségek szignifikancia szintjéhez az 5%-os küszöbértéket vettem figyelembe (Baráth et al., 1996).

Az értekezés második részében az adatok standardizálása után, a három felvételezési módszert összegezve, a vizsgálatokba bevont ízeltlábú csoportok között Pearson korrelációt számítottam. Megvizsgálva az összefüggéseket, csak a szignifikáns ($p < 0,05$) pozitív és negatív korrelációs kapcsolatokat vettem alapul. Konkrétan, ha az adott gyűjtési periódusban pl. a nagy levéltetű egyedszám mellett nagy volt az afidofág katicabogarak egyedszáma és a korreláció is szignifikáns volt, akkor a két csoport között egyértelmű, direkt összefüggést feltételeztem. Hasonlóan a többi csoportnál is, minden egyes kezelés (GM és kontroll kukorica) esetében elvégeztem a korrelációs számításokat. A módszer általánosan alkalmazott a táplálékláncok (ízeltlábú hálózatok) trofikus szintjei között megvalósuló összefüggések vizsgálatához (Martinez et al., 1999; Szénási et al., 2014).

Minden kezelés esetében az alábbi, az ízeltlábú kapcsolatok stabilitását kifejező paramétereket vizsgáltam (Martinez, 1999): trofikus csoportok száma (S – „number of trophic groups/species”); csoportok közötti kapcsolatok/viszonyok száma (L – „number of links between trophic groups”); egy csoportra eső átlagos kapcsolatok/viszonyok száma (B – „trophic links” = L/S); jellemző útvonal hosszúság (D – „link density” = $2/N(N-1)\sum d_{ij}$); kapcsolódási szint (C – „connectance” = L/S^2)

Az egyes kezelésekből kialakult ízeltlábú kapcsolatok stabilitási paramétereit a Multivariate ANOVA segítségével hasonlítottam össze, csak a $p < 0,05$ értékeket vettem alapul, mint szignifikánsan eltérő értékek.

3. Eredmények

3.1. Felvételezett ízeltlábú taxonok gyűjtött egyedszámai

A mintázott három vegetációs időszakban (2006–2008) évenként 4 felvételezési időszakban összesen 520 285 ízeltlábú egyedet gyűjtöttünk. A három évet tekintve a felvételezett ízeltlábúak egyedszámának eloszlása változatos képet mutat, 2008-ban felvételeztük a legtöbb (206 835), ehhez képest 2006-ban a legkevesebb (143 486) egyedet. A felvételezési módszerek közül talajcsapdával a három év alatt összesen 85 782 egyedet gyűjtöttünk. Legnagyobb egyedszámban a Pherocon AM ragacs-lappal csapdázott ízeltlábúak (12 ízeltlábú taxon) voltak, melyek összesen 319 438 egyedet fogtak. Az egyedi növényvizsgálati módszerrel a három vegetációs időszak során 115 065 ízeltlábú egyedet figyeltünk meg (**3. táblázat**).

3. táblázat: A három különböző felvételezési módszerrel mintázott ízeltlábúak összes gyűjtött egyedszáma (Sóskút, 2006-2008).

Mintázási módszer	Év			Összes egyedszám
	2006	2007	2008	
Talajcsapda	37 265	18 624	29 893	85 782
Pherocon AM ragacs-lap	67 247	145 752	106 439	319 438
Egyedi növényvizsgálat	38 974	5 588	70 503	115 065
Összes egyedszám	143 486	169 964	206 835	520 285

3.2. Az ízeltlábú taxonok RANK sorrendjének alakulása az egyes kezelésekben

A talajcsapdával gyűjtött ízeltlábú csoportok esetében a RANK sorrend összehasonlítások során minden egyes kezelés esetében világosan látható a futóbogarak, ugróvillások és pókok dominanciája (alacsony RANK érték) (**4. táblázat**), legtöbb esetben a talajcsapdával gyűjtött ízeltlábúak több mint 90 %-át alkották.

4. táblázat: A talajcsapdával gyűjtött ízeltlábúak kezelésenkénti RANK sorrendjének alakulása (Sóskút, 2006–2008).

Ízeltlábú csoportok (talajcsapda)	Kezelések (RANK sorrend)											Átlag (%)
	1	2	3	4	5	6	71	72	73	74	Átlag	
Carabidae	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	56,61
Collembola	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	30,93
Araneae	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	7,93
Alticinae	4	4	4	4	4	4	4	4	5	4	4,1	2,81
Staphylinidae	5	5	5	5	5	5	5	5	4	5	4,9	1,22

A Pherocon AM ragacs-lappal felvételezett ízeltlábú csoportok összehasonlítása során is viszonylag stabil RANK sorrend volt megfigyelhető minden kezelésben. A tripszek, kabócák, földibolhák, levéltetvek és az amerikai kukoricabogár imágók domináltak minden egyes kezelésben (5. táblázat), legtöbb esetben a ragacs-lappal felvételezett ízeltlábúak több mint 90 %-át adták.

5. táblázat: A Pherocon AM ragacs-lappal felvételezett ízeltlábúak kezelésenkénti RANK sorrendjének alakulása (Sóskút, 2006–2008).

Ízeltlábú csoportok (Pherocon AM ragacs-lap)	Kezelések (RANK sorrend)											Átlag (%)
	1	2	3	4	5	6	71	72	73	74	Átlag	
Thysanoptera	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	52,13
Auchenorrhyncha	2	2	2	2	2	2	3	4	4	3	2,6	13,15
Alticinae	3	3	3	3	3	4	2	2	3	4	3	12,59
Aphididae	4	5	5	4	4	3	4	3	2	2	3,6	10,96
<i>Diabrotica virgifera virgifera</i>	5	4	4	5	5	5	5	5	5	5	4,8	6,49
<i>Orius</i> spp. (imágó)	6	6	6	6	6	7	6	7	7	6	6,3	1,57
Coccinellidae (afidofág)	7	7	7	7	7	6	7	6	6	7	6,7	1,29
Syrphidae	10	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8,2	0,52
Chrysopidae (imágó)	8	11	9	10	9	10	9	9	9	10	9,4	0,38
Staphylinidae	11	9	10	9	11	9	10	11	11	11	10,2	0,35
Miridae	9	10	11	11	10	11	11	10	10	9	10,2	0,30
Elateridae	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	0,09

Az egyedi növényvizsgálattal megfigyelt ízeltlábú csoportok közül minden kezelés esetében a levéltetvek, fátyolka tojások, *Orius* spp. imágók és földibolhák voltak gyakoriak (6. táblázat), és alkották a vizuális módszerrel felvételezett ízeltlábúak közel 90 %-át.

6. táblázat: Az egyedi növényvizsgálattal felvételezett ízeltlábúak kezelésenkénti RANK sorrendjének alakulása (Sóskút, 2006–2008).

Ízeltlábú csoportok (egyedi növényvizsgálat)	Kezelések (RANK sorrend)											Átlag (%)
	1	2	3	4	5	6	71	72	73	74	Átlag	
Aphididae	1	1	2	1	1	1	1	1	1	2	1,2	47,22
Chrysopidae (tojás)	2	2	1	2	2	2	2	2	2	1	1,8	26,48
<i>Orius</i> spp. (imágó)	3	3	4	4	3	3	4	3	3	3	3,3	7,97
Alticinae	4	4	3	3	4	4	3	4	4	4	3,7	7,76
Araneae	5	6	5	5	6	5	5	5	5	6	5,3	2,92
<i>Orius</i> spp. (lárva)	6	5	6	6	5	6	6	6	6	5	5,7	2,67
<i>Stethorus pusillus</i> (lárva)	7	9	7	9	7	7	7	7	7	8	7,5	1,16
<i>Stethorus pusillus</i> (imágó)	8	7	8	7	9	8	8	8	8	7	7,8	1,05
<i>Stethorus pusillus</i> (báb)	9	11	11	8	8	12	11	9	9	9	9,7	0,86
Coccinellidae (afidofág)	10	8	9	10	11	9	9	10	10	10	9,6	0,72
<i>Nabis</i> spp. (imágó)	11	10	10	11	10	10	10	11	12	11	10,6	0,54
<i>Nabis</i> spp. (lárva)	12	12	12	13	12	11	12	13	11	12	12	0,38
Chrysopidae (imágó)	13	13	13	12	13	13	13	12	13	13	12,8	0,28

3.3. A ragadozó ízeltlábú taxonok egyedszámára gyakorolt hatások vizsgálata

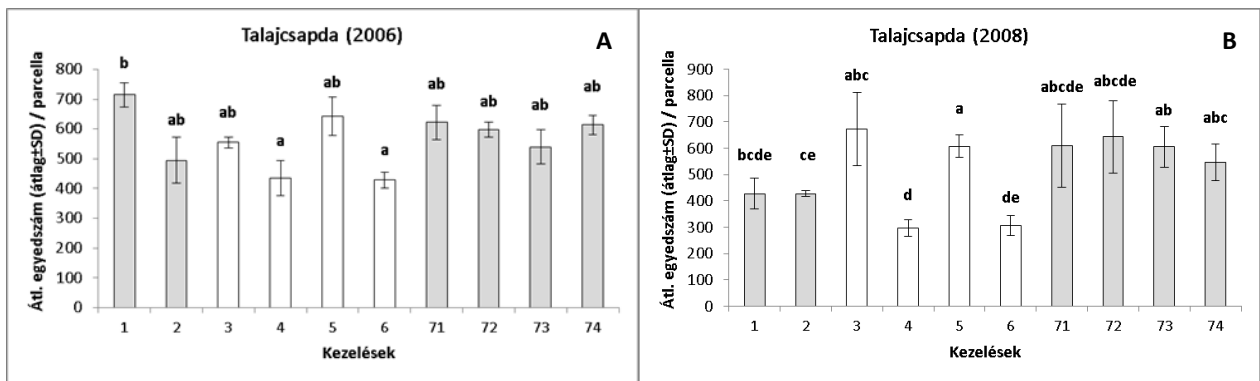
A több tényezős varianciaanalízis eredményei alapján az évjárat, a felvételezési időpont és a két változó interakciója is hatással volt az összes vizsgált ragadozó ízeltlábú csoport egyedszámára. A kezelések hatását vizsgálva, mindhárom talajcsapdával gyűjtött ragadozó ízeltlábú csoportra, azaz a pókok, futóbogarak és a holyvák egyedszámára is hatással volt a kezelés. A Pherocon AM ragacs-lappal felvételezett ragadozók közül csak az *Orius* spp. imágók esetében mutattam ki szignifikáns hatást, az egyedi növényvizsgálattal felvételezett ízeltlábúak közül az atkászböde (*Stethorus pusillus*) imágók és lárvák egyedszámára volt szignifikáns hatása a kezelésnek.

3.3.1. Ragadozó ízeltlábúak kezelésenkénti átlagos egyedszámának páronkénti összehasonlítása

A ragadozó ízeltlábú csoportok átlagos egyedszáma alapján a kezelések közötti szignifikáns különbségeket vizsgálva megállapítottam, hogy (az adatokat ízeltlábú csoportokra és évekre bontva) a lehetséges 57 esetből összesen 31 esetben találtam (legalább egy esetben) szignifikáns különbséget a kezelések között, melyeket az értekezésemben egyesével diagrammok segítségével elemeztem.

A vizsgálataim során legnagyobb egyedszámban felvételezett ragadozó ízeltlábú, a futóbogarak példáján mutatom be a kezelések közötti különbségek elemzését.

A talajcsapdával gyűjtött futóbogarak átlagos egyedszámát tekintve 2007-ben nem mutattam ki szignifikáns különbséget az egyes kezelések között. 2006-ban nem találtam szignifikáns különbséget a kontroll parcellák és a Cry34/35Ab1 (1) fehérjét termelő, illetve a kontroll parcellák és a Cry34/35Ab1 x Cry1F (2) fehérjét termelő *Diabrotica* rezisztens kukoricák között (**1./A ábra**). 2008-ban a Cry34/35Ab1 x Cry1F (2) fehérjét termelő (Hibrid A) kukorica parcellákban szignifikánsan kisebb volt a futóbogarak átlagos egyedszáma a talajinszekticiddel nem kezelt Kontroll B (73) kukorica parcellákhoz képest (**1./B ábra**). A CP4 EPSPS (3–6 kezelés) fehérjét is termelő kukoricák közül 2006-ban egyik esetben sem volt szignifikánsan kisebb a futóbogarak átlagos egyedszáma a kontroll parcellákhoz képest (**1./A ábra**). 2006-ban és 2008-ban is a glifozát hatóanyaggal kezelt kukorica parcellákból (4-es és 6-os kezelés) gyűjtöttük a legkisebb egyedszámban a futóbogarakat, 2008-ban a talajinszekticiddel kezelt és a nem kezelt Kontroll B (73 és 74) kukoricában is szignifikánsan nagyobb futóbogár egyedszámot mutattam ki a két glifozát hatóanyaggal kezelt kukoricához (4-es és 6-os kezelés) képest. (**1. ábra**).



1. ábra: A futóbogarak átlagos egyedszámának alakulása a vizsgált kezelésekben (Sóskút, 2006, 2008). Magyarázat: az oszlop diagrammokon feltüntetett eltérő betűk a statisztikai különbségeket, a vékony vonalak a szórást (SD) jelzik.

3.4. A növényevő ízeltlábú taxonok egyedszámára gyakorolt hatások vizsgálata

A több tényezős varianciaanalízis eredményei alapján az évjárat, a felvételezési időpont és a két változó interakciója is hatással volt az összes vizsgált (kivéve: mezei poloskák, az évjárat nem volt hatással az egyedszámukra) növényevő/lebontó ízeltlábú csoport egyedszámára. A kezelések hatását vizsgálva, mindkét talajcsapdával gyűjtött növényevő/lebontó ízeltlábú csoportra, az ugróvillások és a földibolhák egyedszámára is hatással volt a kezelés. A Pherocon AM ragacsleppal felvételezett növényevők közül a földibolhák és az amerikai kukoricabogár imágók esetében mutattam ki szignifikáns hatást, az egyedi növényvizsgálattal felvételezett ízeltlábúak közül csak a földibolhák egyedszámára volt szignifikáns hatása a kezelésnek.

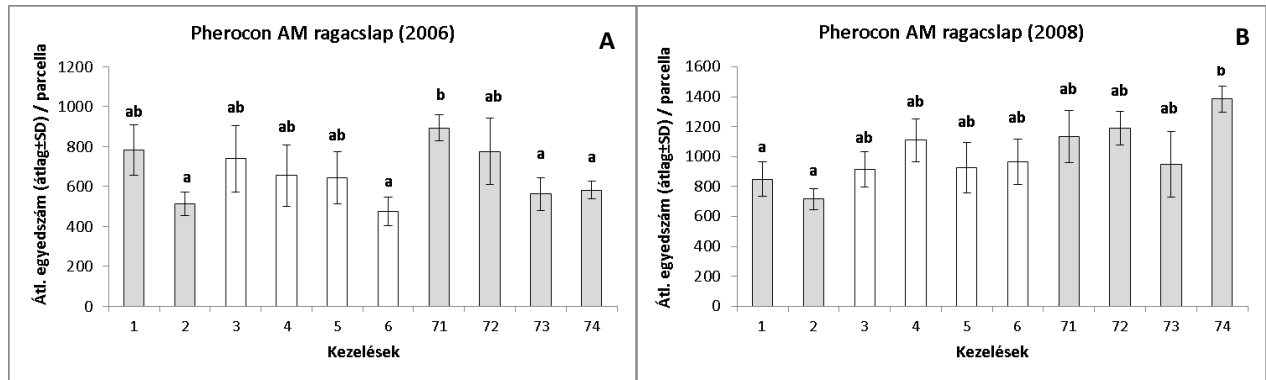
3.4.1. Növényevő ízeltlábúak kezelésenkénti átlagos egyedszámának páronkénti összehasonlítása

A növényevő ízeltlábú csoportok átlagos egyedszáma alapján a kezelések közötti szignifikáns különbségeket vizsgálva megállapítottam, hogy (az adatokat ízeltlábú csoportokra és évekre bontva) a lehetséges 33 esetből összesen 20 esetben találtam szignifikáns különbséget a kezelések között, melyeket az értekezésemben egyesével diagrammok segítségével elemeztem.

A vizsgálataim során legnagyobb egyedszámban felvételezett növényevő ízeltlábú, a tripszek példáján mutatom be a kezelések közötti különbségek elemzését.

A Pherocon AM ragacsleppal gyűjtött tripszek átlagos egyedszámát tekintve 2006-ban és 2008-ban mutattam ki szignifikáns különbséget a kezelések között (Melléklet, 73–75. táblázat). 2006-ban négy kezelés esetében (2-es, 6-os, 73-as és 74-es kezelés) szignifikánsan kisebb átlagos egyedszámban voltak jelen a tripszek, mint a talajszekticiddel nem kezelt Kontroll A (71-es kezelés) kukoricában (**2./A ábra**). 2008-ban a Cry34/35Ab1 (1) és a Cry34/35Ab1 x Cry1F (2)

fehérjét termelő kukoricában (Hibrid A) szignifikánsan kisebb átlagos tripsz egyedszámot mutattam ki a teflutrin hatóanyaggal kezelt (74-es kezelés) Kontroll B kukoricához képest. 2008-ban egyik CP4 EPSPS fehérjét termelő kukoricában sem tapasztaltam szignifikánsan kisebb átlagos tripsz egyedszámot a kontroll kukoricákhoz (71–74 kezelés) képest (**2./B ábra**).



2. ábra: A tripszek átlagos egyedszámának alakulása a vizsgált kezelésekben (Sóskút, 2006, 2008).
Magyarázat: az oszlop diagrammokon feltüntetett eltérő betűk a statisztikai különbségeket, a vékony vonalak a szórást (SD) jelzik.

3.5. Ízeltlábú kapcsolatok és azok paramétereinek vizsgálata

Továbbiakban a három mintázási módszer kumulatív adatai alapján vizsgáltam a GM (1–6 kezelés) és a kontroll kukoricákban (71–74 kezelés) kialakult ízeltlábú kapcsolatokat. Összesen 14 ragadozó csoportot és 8 növényevő/lebontó csoportot vontam be a vizsgálatokba, tehát minden egyes kezelésben 22 ízeltlábú csoport egymás közötti kapcsolatát elemeztem ki. A lehetséges 231 kapcsolatból az egyes GM kukoricákban és kontroll izogén kukoricákban 16 és 23 között változott az ízeltlábú csoportok közötti kapcsolatok száma. Összehasonlítva a különböző kezelésekben megfigyelt ízeltlábú kapcsolatok stabilitási paramétereit (az egy csoportra eső átlagos kapcsolatok számát (B) jellemző útvonalhosszúságot (D), kapcsolódási szinteket (C)), azt figyeltem meg, hogy csak a Cry1F x CP4 EPSPS fehérjét termelő és glifozáttal kezelt (4-es kezelés) kukorica esetében volt szignifikáns eltérés az átlagos kapcsolatszám és a jellemző útvonalhosszúságban. Semmilyen más esetben nem volt szignifikáns eltérés megfigyelhető, és azonos kapcsolódási szintek voltak jelen minden kezelés esetében (**7. táblázat**).

7. táblázat: A vizsgált GM és kontroll kukoricákban kialakult ízeltlábú kapcsolatok stabilitási paramétereinek összehasonlítása. Magyarázat: * – $p < 0,05$; ns – nem szignifikáns

Kezelés	S	L	B	D	C
1	22	20	0,909 ^{ns}	0,173 ^{ns}	0,041 ^{ns}
2	22	21	0,955 ^{ns}	0,181 ^{ns}	0,043 ^{ns}
3	22	17	0,772 ^{ns}	0,147 ^{ns}	0,035 ^{ns}
4	22	23	1,045*	0,199*	0,047 ^{ns}
5	22	17	0,773 ^{ns}	0,147 ^{ns}	0,035 ^{ns}
6	22	21	0,954 ^{ns}	0,181 ^{ns}	0,043 ^{ns}
71	22	17	0,772 ^{ns}	0,147 ^{ns}	0,035 ^{ns}
72	22	19	0,863 ^{ns}	0,164 ^{ns}	0,039 ^{ns}
73	22	19	0,863 ^{ns}	0,164 ^{ns}	0,039 ^{ns}
74	22	16	0,727 ^{ns}	0,138 ^{ns}	0,033 ^{ns}

4. Az eredmények megvitatása, következtetések

4.1. A felvételezett ízeltlábú csoportok szerkezeti jellemzői

A három vizsgált vegetációs időszakban (évente 4 felvételezési időpontban) egyedekben gazdag ízeltlábú populációt felvételeztünk, összesen több mint 520 000 egyedet figyeltünk meg egyedi növényvizsgálattal illetve gyűjtöttünk be talajcsapdás és Pherocon AM ragacslos módszerrel. Valószínűleg a csapadékos nyári (június-szeptember) időjárásnak köszönhetően 2008-ban felvételeztük a legtöbb ízeltlábút, ezzel szemben a három kísérleti év közül a legmelegebb és egyben a legszárazabb évben, 2007-ben voltak legkisebb egyedszámban jelen a területen a felvételezett ízeltlábúak.

A különböző felvételezési módszerekkel gyűjtött ízeltlábúak RANK sorrendjét elemezve elmondható, hogy más vizsgálatokhoz hasonlóan (Kiss et al., 2002; Bhatti et al., 2005a; 2005b) egységesen minden esetben, a GM és a kontroll kukorica állományokban is ugyanazok az ízeltlábú csoportok domináltak. A talajcsapdával gyűjtött ízeltlábúak közül a futóbogarak, ugróvillások és pókok, a Pherocon AM ragacslos felvételezett ízeltlábúak közül a tripszek, kabócák, földibolhák, levéltetvek és az amerikai kukoricabogár imágók domináltak. Az egyedi növényvizsgálattal megfigyelt ízeltlábúak közül a levéltetvek, zöldfátyolka tojások, *Orius* spp. imágók és földibolhák voltak gyakoriak minden egyes vizsgált kezelésben.

4.2. A felvételezett ragadozó ízeltlábúak kezelésenkénti összehasonlítása

Hasonlóan más szabadföldi kukoricásokban végzett vizsgálatokhoz (Bhatti et al., 2005a; 2005b; Higgins et al., 2009) az évjárat és a felvételezési időpont is hatással volt a felvételezett ragadozó ízeltlábúak egyedszámára.

Vizsgálataim során a talajcsapdával és egyedi növényvizsgálattal felvételezett pókok egyedszámában három esetben találtam szignifikáns különbséget a GM kukoricák és az izogénes kukoricák (páronkénti összehasonlítás) között, azonban az eltérés egyik esetben sem volt következetes, a különbségek nem mutattak tendenciát az évek során, tehát a Cry34/35Ab1 fehérjét termelő kukoricák egyik esetben sem befolyásolták a pókok egyedszámát. Különböző felvételezési módszerekkel gyűjtött pókok abundanciájában (Pilcher et al., 1997; Lozzia és Rigamonti, 1998; Jasinski et al., 2003; Delrio et al., 2004; Daly és Buntin, 2005; de la Poza et al., 2005; Eckert et al., 2006; Fernandes et al., 2007) és diverzitásában (Volkmar és Freier, 2003; Sehnal et al., 2004; Meissle és Lang 2005; Farinos et al., 2008) legtöbb esetben nem találtak különbséget összehasonlítva a Cry1Ab fehérjét termelő és az izogénes (inszekticiddel nem kezelt) kukoricákat. Néhány esetben, ahol eltérést mutattak ki, a különbség nem volt következetes, mint pl. Lang és mtsai. (2005) három éves kísérletükben egy évben kisebb egyedszámban felvételezték a Cry1Ab fehérjét termelő kukoricában a pókokat, mint az izogénes állományban. Árpás és mtsai. (2004a; 2004b; 2005) hazai szabadföldi kísérletekben a kóró törpepók (*Theridium impressum* L. Koch.; Theridiidae) halóinak vizsgálatakor nem találtak szignifikáns különbséget a hálók tartalmában a Cry1Ab fehérjét termelő (MON 810 (DK-440 BTY)) és a hozzá közelálló izogénes kukoricák között. Más európai vizsgálatokban Cry3Bb1 és CP4 EPSPS fehérjét termelő kukoricában sem mutattak ki szignifikáns csökkenést a pókok egyedszámában (Svobodova et al., 2012b). Az eredményeim megerősítik a korábbi más régiókban végzett vizsgálatok eredményeit, miszerint a Cry34/35Ab1 fehérjéhez közelálló Cry3Bb1 fehérjét termelő kukoricának sem volt hatása a pókok abundanciájára (Bhatti et al., 2005a; Al-Deeb és Wilde, 2003).

Vizsgálataim során a kezelések között egy esetben találtam olyan különbséget a futóbogarak egyedszámát tekintve, ami legalább két évben megismétlődött, 2006-ban és 2008-ban is kisebb egyedszámban felvételeztük talajcsapdával a glifozáttal kezelt GM kukoricában a futóbogarakat, mint a többi kukorica parcellában. Hasonló eredményre jutottak többen, Szekeres és mtsai. (2008) és Pálincás és mtsai. (2012) hazai körülmények között glifozáttal kezelt kukorica parcellákban a kisebb gyomborítás mellett kisebb futóbogár egyedszámot mintáztak. Cárcamo és mtsai. (1995) pozitív korrelációt találtak a futóbogarak abundanciája és a nagyobb gyomborítású területek között. Más kísérletek is bizonyították, hogy a futóbogarak nagyobb aktivitást mutatnak a kétszikű gyomokkal borított, mint a fűfélékkel borított, ill. gyommentes területeken (Pavuk et al., 1997).

Hazai szabadföldi vizsgálatokban Cry1Ab fehérjét termelő és izogénes kukorica között nem mutattak eltérést a futóbogarak egyedszámában (Szekeres et al., 2006). Csehországban ehhez hasonló eredményre jutottak Cry3Bb1 fehérjét termelő kukorica vizsgálata során, a Bt kukorica nem befolyásolta a futóbogarak abundanciáját (Svobodova et al., 2012a). Az Egyesült Államokban Cry3Bb1 fehérjét termelő szabadföldi kukorica vizsgálatokban (2000–2001) nem mutattak ki nem kívánatos mellékhatást a futóbogarak abundanciájára (Al-Deeb és Wilde, 2003), ezt megerősítve Ahmad és mtsai. (2005) két éves (2002–2003) vizsgálataik során sem találtak szignifikáns különbséget a Cry3Bb1 fehérjét termelő (klotianidinnal csávázott) és az izogénes kukorica futóbogár egyedszámában.

Vizsgálataink során egyik Cry34/35Ab1 fehérjét termelő kukorica sem befolyásolta a holtyák egyedszámát. Csehországban ehhez hasonló eredményre jutottak Cry3Bb1 fehérjét termelő kukorica vizsgálata során, a Bt kukorica nem befolyásolta a holtyák abundanciáját (Svobodova et al. 2012a). Farinós és mtsai. (2008) szabadföldi kísérletben azt találták, hogy a MON810 eseményű kukorica nem befolyásolta, viszont az évjárat nagyban befolyásolta a holtyák aktivitás-denzitását. Emellett az imidakloprid hatóanyaggal kezelt kukorica csökkentette a holtyák fajszerkezetét, viszont a legtöbb faj abundanciájára nem volt negatív hatással. Spanyolországban egy másik kísérletben Leida közelében 2001-ben Cry1Ab fehérjét termelő kukoricában nagyobb egyedszámúak voltak jelen a holtyák, míg 2000-ben Madridban az izogénes kukoricában mintáztak szignifikánsan nagyobb holtya egyedszámot (de la Poza et al., 2005). USA-ban végzett szabadföldi kísérletekben Ahmad és mtsai (2005) két éves (2002 és 2003) vizsgálataik során nem mutattak ki szignifikáns különbséget a Cry3Bb1 fehérjét termelő (klotianidinnal csávázott) és az izogénes kukoricában gyűjtött holtyák egyedszámában (talajcsapás mintázási módszer). Hasonlóan az USA-ban Cry3Bb1 fehérje esetén (Al-Deeb és Wilde, 2003) és Cry1Ab fehérje esetén sem találtak negatív mellékhatást a holtyák abundanciájára (Wolfenbarger et al., 2008).

Hasonlóan más szabadföldi kísérlethez, ahol *Diabrotica* rezisztens Cry3Bb1 fehérjét termelő kukoricák hatását vizsgálták különböző Coccinellidae családba tartozó fajokra (Al-Deeb és Wilde, 2003; Ahmad et al., 2006; Rosca és Cagan, 2012a), a három éves kísérletünk során nem mutattam ki szignifikáns csökkenést egyik Cry34/35Ab1 fehérjét termelő kukoricában felvételezett afidofág katicabogarak egyedszámában sem. McManus és mtsai. (2005) szabadföldi kísérletük során vizsgálták a Cry3Bb1 fehérjét termelő kukorica esetleges nemkívánatos mellékhatását a *Coleomegilla maculata* afidofág katicabogár faj egyedszámára. A kukorica három fenológiai stádiumában figyelték meg az afidofág katicabogarakat (imágó, báb és lárva) Bt kukoricában, talajszekcióval (teflutrin) kezelt és kezeletlen kontroll (izogénes) kukoricában. Több esetben szignifikánsan nagyobb egyedszámúak voltak felvételezték (Pherocon AM ragacs-lappal és egyedi

növényvizsgálattal) a katicabogár egyes fejlődési alakjait a Bt kukoricában, mint a másik két kezelésben, azonban a *Coleomegilla maculata* faj esetében nem mutatták ki a Cry3Bb1 fehérjét termelő Bt kukorica abundancia csökkentő hatását.

A három éves kísérletünk során több esetben találtam szignifikáns különbséget a kezelések között az atkászböde imágók, lárvák, bábok abundanciáját tekintve. A kezelések közötti egyedszámbeli eltérések nem mutattak tendenciát, kivéve a 2008-es vizsgálati év, amikor az atkászbödét (mindhárom felvételezett fejlődési alakja) a talajinszekticiddel kezelt izogénes parcellákban felvételeztük a legnagyobb egyedszámban. Li és Romeis (2010) a katicabogarak közül a atkászbödét (mint teszt faj) választották laboratóriumi kísérlet beállításához, mert a faj gyakran előfordul kukoricásokban, és speciális ragadozója a takácsatkáknak (Putman, 1955; Rott és Ponsonby, 2000; Biddinger et al., 2009), melyekben nagy mennyiségben jelen lehet az adott Bt fehérje. Korábbi laboratóriumi vizsgálatok igazolták, hogy a különböző Bt kukoricákból (Bt176 és MON88017 eseményű) begyűjtött *Tetranychus urticae* faj egyedei ugyanabban a nagyságrendben tartalmazzák a toxint, mint a beszállított zöld kukorica levelei (Obrist et al 2006; Meissle és Romeis, 2009a). Obrist és mtsai. (2006) azt találták, hogy a begyűjtött ragadozó ízeltlábúak közül az atkászböde lárvákban volt a legmagasabb a toxin szint. Li és Romeis (2010) a kétfoltos takácsatkák fejlődésében és szaporodási képességében nem találtak különbséget összehasonlítva a (klíma kamrában) Bt és izogénes kukoricán nevelt egyedeket, hasonló eredményt kaptak Dutton és mtsai. (2002) Cry1Ab esetén is. A kísérlet folytatásaként Bt toxint tartalmazó, ill. nem tartalmazó takácsatkákkal etették az atkászbödét, melyek fejlődésében és szaporodásában sem mutattak ki különbséget. Érdekes azonban, hogy a nőstény egyedek peterakás előtti periódusa rövidebb, a napi szaporodási hajlamuk és termékenységük nagyobb volt a Bt kezelésben, mint az izogénesben. A szerzők szerint ennek oka a növény jellemzőiben bekövetkezett, eddig még ismeretlen változások lehetnek. A takácsatkákban 6-szor nagyobb koncentrációban volt jelen a toxin, mint az atkászböde lárvákban és 20-szor nagyobb koncentrációban, mint az imágókban (Li és Romeis, 2010). Hasonlót mértek Álvarez-Alfageme és mtsai. (2008), 7-szer nagyobb koncentrációban volt jelen a Cry1Ab fehérje az atkáknak, mint az atkászböde imágókban.

Több más hasonló szabadföldi kísérlettel összhangban (Cry3Bb1 fehérjét termelő kukorica esetén), a zengőlegyek (Bhatti et al., 2005b; Svobodova et al., 2012a) és zöldfátyolka imágók (Rosca és Cagan, 2012b) ill. tojások egyedszáma a szabadföldi kísérletünk során egyik évben sem csökkent a Cry34/35Ab1 fehérjét termelő kukoricában.

Al-Deeb és Wilde (2003) illetve Rauschen (2008) vizsgálati eredményeihez (Cry3Bb1 esetén) hasonlóan, az általunk Pherocon AM ragacs lappal és egyedi növényvizsgálattal felvételezett ragadozó poloskák közül az *Orius* spp. imágók és lárvák egyedszáma a kontroll (izogénes)

parcellákhoz képest egyik évben sem volt szignifikánsan kisebb a Cry34/35Ab1 fehérjét termelő kukoricában. Ahmad és mtsai. (2006) két éves szabadföldi mintavételezésének eredményei szerint a Cry3Bb1 fehérjét termelő kukorica nem volt negatív hatással az egyedi növényvizsgálattal mintázott *Orius insidiosus* imágók és lárvák egyedszámára. Azonban az egyik évben az izogénes kukoricákon kisebb egyedszámban voltak jelen az imágók, mint az inszekticiddel (klotianidin) kezelt kukoricákon.

A Cry34/35Ab1 fehérjét termelő kukoricában az egyedi növényvizsgálattal felvételezett *Nabis* spp. imágók abundanciája egyik évben sem csökkent szignifikánsan az izogénes kukoricákhoz képest, hasonlóan más vizsgálatokhoz, ahol Cry3Bb1 fehérjét termelő kukorica esetleges nemkívánatos mellékhatását vizsgálták egyes ízeltlábú taxonokra (Bhatti et al, 2005b). A *Nabis* spp. lárvák esetében egy évben (2007) szignifikánsan kisebb volt az átlagos egyedszámuk az összes vizsgált herbicid toleráns kukoricában a Cry34/35Ab1 x Cry1F fehérjét termelő kukoricához képest, viszont ez a különbség a másik két vizsgált évben nem mutatkozott.

4.3. A felvételezett növényevő/lebontó ízeltlábúak kezelésenkénti összehasonlítása

A növényevő/lebontó ízeltlábúak egyedszámára mind az évjárat (kivéve: mezei poloskák), mind pedig a felvételezési időpont hatással volt, hasonlóan más szabadföldi kukoricásokban végzett vizsgálatokhoz (Bhatti et al., 2005a; 2005b; Higgins et al., 2009).

Az USA-ban végzett szabadföldi kísérletek eredményéhez hasonlóan (Al-Deeb et al, 2003; Ahmad et al., 2005), a három kísérleti vegetációs időszak (2006–2008) során talajcsapdával gyűjtött ugróvillások egyedszáma egyik évben sem mutatott szignifikáns eltérést a Cry34/35Ab1 fehérjét termelő és izogénes kukorica parcellák között. 2006-ban az izogénes, talajinszekticiddel kezelt kukorica parcellákban nagyobb egyedszámban csapdáztuk az ugróvillásokat a többi vizsgált kezeléshez képest. Bitzer és mtsai. (2005) ill. Ahmad és mtsai. (2005) ugyancsak nagyobb egyedszámban felvételezték az ugróvillásokat a talajinszekticiddel kezelt kukoricában, amit Christiansen (1964) munkájára hivatkozva annak tulajdonítottak, hogy az ugróvillások ellenállóbbak az inszekticidekkel szemben, mint az ugróvillásokat fogyasztó ragadozók.

Meissle és Romeis (2009b) laboratóriumi vizsgálatai során a begyűjtött zsákmányállatok Cry3Bb1 toxin tartalmában nagy különbségeket találtak, míg a phloem-ből táplálkozókban (pl. levéltetvek) kisebb, a citoplazmából táplálkozó (tripszek, mezei poloskák, földibolhák, legtöbb kabóca faj) növényevőkben nagyobb koncentrációban volt jelen a fehérje. A bevizsgált kukoricalevelek magas (160–220 µg/g), a pollen alacsonyabb (27 µg/g) koncentrációban tartalmazta a Cry3Bb1 fehérjét. A növényevő ízeltlábúak közül, a levéltetvek nem tartalmaztak mérhető Cry3Bb1 fehérjét (kivéve a virágzás után begyűjtött *Rhopalosiphum padi* (<0,1 µg/g)), a

tripszek és mezei poloskák (5–10 µg/g) illetve a földibolhák (7–33 µg/g) magas koncentrációban tartalmazták a fehérjét. A kabócák közül a legtöbb faj egyedeiben 1 µg/g alatti értéket mértek.

A három vegetációs időszakban gyűjtött levéltetvek átlagos egyedszámát tekintve, nem mutattam ki következetes eltérést a kontroll és a kezelt parcellák között. Mivel a levéltetvek a floémból táplálkoznak, így nem, vagy alig vesznek fel Cry fehérjét a kukorica növényből (Head et al., 2001). Összehasonlítva a kontroll kukorica a Cry34/35Ab1 (1) és a Cry34/35Ab1 x Cry1F (2) fehérjét termelő kukoricákkal, csak egy évben tapasztaltam szignifikáns eltérést, 2008-ban a Coleoptera és Lepidoptera rezisztens (2-es kezelés) kukoricában kisebb volt a Pherocon AM ragacs-lappal gyűjtött levéltetvek átlagos egyedszáma, mint a talajinszekticiddel kezelt (74-es kezelés) kontroll kukoricában. A „hagyományos gyomszabályozásban” részesült (glifozát hatóanyaggal nem kezelt) CP4 EPSPS fehérjét is termelő (3-as kezelés) kukoricában 2008-ban szignifikánsan kisebb volt a Pherocon AM ragacs-lappal gyűjtött levéltetvek átlagos egyedszáma a talajinszekticiddel kezelt (72-es és 74-es kezelés) kukoricához képest. Ezzel szemben az egyedi növényvizsgálattal felvételezett levéltetveket vizsgálva, a CP4 EPSPS fehérjét is termelő (3–6 kezelés) kukoricák közül ugyancsak a glifozáttal nem kezelt (3-as kezelés) kukoricában 2006-ban szignifikánsan kisebb átlagos levéltetű egyedszámot tapasztaltam a talajinszekticiddel nem kezelt kontroll kukoricához képest. A gyomszabályozás tehát nem befolyásolta egyértelműen a levéltetvek egyedszámát, nem volt egységes trend kimutatható az eltérő hibridek illetve kezelések között. Az eredményeimhez hasonlóan a levéltetvek egyedszámát vizsgálva, Rauschen (2008) sem tapasztalt kedvezőtlen hatást a Cry34/35Ab1 fehérjéhez közelálló Cry3Bb1 fehérjét termelő kukoricában.

A citoplazmából táplálkozó növényevők közül a vizsgálataink során Pherocon AM ragacs-lappal felvételezett tripszek, kabócák és mezei poloskák egyedszámában legtöbb esetben nem találtam különbséget a Cry34/35Ab1 fehérjét termelő és az izogénes kukoricák között. A kezelések közötti néhány szignifikáns eltérés nem mutatott tendenciát az évek során. Eredményeimhez hasonlóan szlovákiai szabadföldi kísérletekben (Cry3Bb1 fehérjét termelő kukorica esetén) nem mutattak ki szignifikáns eltérést a tripszek egyedszámában Bt és izogénes parcellák között (Svobodova et al., 2012a). A kabócák (*Zyginidia scutellaris*) (Rauschen, 2008; Rauschen et al., 2010b) és mezei poloskák (*Trygonotylus caelestialium*) (Rauschen, 2008; Rauschen et al., 2009) egyedszámára szintén nem volt negatív hatása a MON88017 eseményű (Cry3Bb1 és CP4 EPSPS fehérjét termelő) kukoricának. Rauschen és mtsai. (2009) Cry3Bb1 és CP4 EPSPS fehérjét termelő (MON88017 eseményű), hozzá közelálló izogénes (DKC5143) és két konvencionális (Benicia és DK315) kukoricában 3 vegetációs időszakban (évenként 3 felvételezési időpont) ún. „sweep netting” mintázási módszerrel mérték fel a *Trygonotylus caelestialium* egyedszámát. Több esetben mutattak ki szignifikáns különbséget a két konvencionális kukoricában gyűjtött mezei poloskák

egyedszámában 2005-ben és 2006-ban, viszont ez a különbség 2007-ben nem mutatkozott. A Bt és izogénes kukorica parcellák között csak egy esetben (2006. augusztus) találtak különbséget, amit a hibridek különböző jellemzőinek (illatanyagok miatti eltérések az eltérő hibridek között, levélfelület eltérések a hibridek között, mikroklimatikus eltérések) tulajdonítottak (Niiyama et al., 2007).

A bogarak rendjén belül három növényevő ízeltlábú csoportot (pattanóbogarak, földibolhák, amerikai kukoricabogár) felvételeztünk a három kísérleti évben. Hasonlóan más szabadföldi vizsgálatokhoz, ahol Coleoptera rezisztens (Cry3Bb1 fehérjét termelő) kukorica szerepelt a kísérleti beállításban (Al-Deeb és Wilde, 2003; Ahmad et al., 2005) eredményeim alapján a pattanóbogarak abundanciájára nem volt negatív hatással a Cry34/35Ab1 fehérjét termelő kukorica. Ehhez hasonló eredményre jutottam az amerikai kukoricabogár esetén is, egyedszámukat tekintve legtöbb esetben a kezelések között nem találtam szignifikáns különbséget. Az eltérések csak egy évben (2008) mutatkoztak, tehát nem mutattak tendenciát az évek során. A három éves vizsgálatom során a három mintázási módszerrel felvételezett földibolhák egyedszámában több esetben találtam szignifikáns különbséget a kezelések között, azonban a korábbi eredményekhez hasonlóan a különbségek nem mutattak tendenciát az évek során, tehát az általam vizsgált Cry34/35Ab1 fehérjét termelő kukorica nem volt kedvezőtlen hatással a földibolhák egyedszámára. A földibolhák egyedszámát tekintve az USA-ban (Dively, 2005) és Magyarországon (Szénási és Markó, 2015) sem találtak különbséget a Bt (Cry1Ab fehérjét termelő) és nem Bt (izogénes) kukoricák között. Németországban (Rauschen et al., 2010a) szabadföldi kísérletekben *Diabrotica* rezisztens (Cry3Bb1 fehérjét termelő) kukoricát hasonlítottak össze izogénes kukorica hibridekkel, és nem tapasztaltak különbséget a Bt és nem Bt parcellák földibolha egyedszámában.

4.4. Ízeltlábú kapcsolatok és azok paramétereinek összehasonlítása

A ragadozók közül 14, a növényevők közül 8 ízeltlábú csoport egymás közötti kapcsolata adott lehetőséget az egyes kezelésekben kialakult kapcsolatok stabilitásának elemzésére.

A lehetséges 231 kapcsolatból az egyes GM kukoricákban és kontroll izogénes kukoricákban 16 és 23 között változott az ízeltlábú csoportok közötti kapcsolatok száma. Összességében elmondható, hogy az ízeltlábú kapcsolatok stabilitását kifejező paraméterek (Martinez et al., 1999) minden esetben azonosak vagy közel azonosak voltak. Összehasonlítva a különböző kezelésekben megfigyelt stabilitási paramétereket, csak a Cry1F x CP4 EPSPS fehérjét termelő és glifozáttal kezelt (4-es kezelés) kukorica esetében volt szignifikáns eltérés az átlagos kapcsolatszám (B) és a jellemző útvonalhosszúságban (D). Mivel az átlagos kapcsolatszám (B) nem feltétlenül nő a résztvevő fajok és csoportok számának növekedésével (Barabási és Albert, 1999; Albert és Barabási, 2002; Dunne et al., 2002; Antoniou és Tsompa, 2008; Jordán et al., 2012), így

jelen esetben az eltérés a magas L értékkel (23) magyarázható. A jellemző útvonal hosszúság (D) két trofikus csoport vagy faj közötti legrövidebb útvonal, vagy kapcsolat. Magas D értékek azt jelzik, hogy a tápláléklánc lineáris elrendezésű, kis D értékek esetében a tápláléklánc stabil, kompakt elrendezésű (Barabási és Albert, 1999; Albert és Barabási 2002; Dunne et al., 2002; Antoniou és Tsompa, 2008). Minden esetben a 0,1 és 0,2 értékek kompakt és stabil tápláléklánccra utalnak, ezt támasztja alá az is, hogy a különböző kezelések során a ragadozó ízeltlábúak stabilan jelen voltak. Mivel mezőgazdasági (szántóföldi) környezetben és azon belül GM növényeknél csak nagyon kevés vizsgálat alkalmazta az ízeltlábú csoportok közötti kapcsolatokat paramétereinek összehasonlítását (Szénási et al. 2014), nem áll rendelkezésre megfelelő adat az eredményeim összehasonlításához. Mindezek mellett ugyanakkor elmondható, hogy amennyiben a növényzetet is (kukorica és gyomnövények) vizsgálták, mint a táplálékláncok alapja, az eltérések teljesen elmosódtak, és egységes stabil táplálékláncok voltak megfigyelhetőek minden egyes kezelés és kontroll kukorica parcellában (Szénási et al. 2014).

5. Új tudományos eredmények

Három éves szabadföldi vizsgálataim során, a kukorica vegetációs időszakában végzett gyűjtéssel/mintázással (talajcsapda, Pherocon AM ragacs lap, egyedi növényvizsgálat), a GM Bt (Cry34/35Ab1 és Cry34/35Ab1 x Cry1F fehérjét termelő) és a hozzá közelálló izogén kukoricák ízeltlábú együttesének mennyiségi viszonyainak összehasonlítása során megállapítottam:

1. A Cry34/35Ab1 és a Cry34/35Ab1 x Cry1F fehérjét termelő hibridek nem gyakoroltak kedvezőtlen hatást a kukoricában előforduló domináns nem-célszervezet növényevő (tripszek, kabócák, mezei poloskák, pattanóbogarak, levélbogarak, levéltetvek), lebontó (ugróvillások) ízeltlábúak egyedszámára.
2. A vizsgált domináns ragadozó nem-célszervezet ízeltlábúak (pókok, *Orius* spp. és *Nabis* spp. futóbogarak, holyvák, afidofág katicabogarak, atkászbödék zöldfátyolkák zengőlegyek) egyedszámára nem voltak kedvezőtlen hatással a Cry34/35Ab1 és a Cry34/35Ab1 x Cry1F fehérjét termelő kukorica hibridek.
3. Mind a ragadozó, mind pedig a növényevő és a lebontó ízeltlábú csoportok egyedszámára az évjárat és a felvételezési időszak nagyobb hatással volt, mint bármelyik kezelés.

4. Egységesen minden esetben, a GM és a kontroll kukorica állományokban is ugyanazok az ízeltlábú csoportok domináltak, és alkották az egyes felvételezési módszerrel gyűjtött ízeltlábúak közel 90 %-át.
5. A talajcsapdával gyűjtött ízeltlábúak közül a futóbogarak, ugróvillások és pókok, a Pherocon AM ragacsleppal felvételezett ízeltlábúak közül a tripszek, kabócák, földibolhák, levéltetvek és az amerikai kukoricabogár imágók domináltak. Az egyedi növényvizsgálattal megfigyelt ízeltlábúak közül a levéltetvek, zöldfátyolka tojások, *Orius* spp. imágók és földibolhák voltak gyakoriak minden egyes vizsgált kezelésben.
6. Minden egyes vizsgált GM ill. izogénes kukorica parcellában egységes stabil táplálékláncok alakultak ki, a táplálékláncok stabilitását kifejező paraméterek minden esetben azonosak, vagy közel azonosak voltak.

6. Irodalomjegyzék

- AHMAD A., WILDE G. E., ZHU K. Y. (2005): Detectability of coleopteran-specific Cry3Bb1 protein in soil and its effect on nontarget surface and below-ground arthropods. *Environmental Entomology*, 34: 385–394.
- AHMAD A., WILDE G. E., WHITWORTH R. J., ZOLNEROWICH G. (2006): Effect of corn hybrids expressing the coleopteran-specific Cry3Bb1 protein for corn rootworm control on aboveground insect predators. *J. Econ. Entomol.*, 99: 1085–1095.
- ALBERT R. és BARABÁSI A. L. (2002): Statistical mechanics of complex networks. *Reviews of Modern Physics*, 74: 47–97.
- AL-DEEB M. A. és WILDE G. E. (2003): Effect of Bt corn expressing the Cry3Bb1 toxin for corn rootworm control on aboveground nontarget arthropods. *Environmental Entomology*, 32: 1164–1170.
- AL-DEEB M. A., WILDE G. E., BLAIR J. M., TODD T. C. (2003): Effect of Bt corn for corn rootworm control on nontarget soil microarthropods and nematodes. *Environmental Entomology*, 32: 859–865.
- ÁLVAREZ-ALFAGEME F., FERRY N., CASTANERA P., ORTEGO F., GATEHOUSE A. M. R. (2008): Prey mediated effects of Bt maize on fitness and digestive physiology of the red spider mite predator *Stethorus punctillum* Weise (Coleoptera: Coccinellidae). *Transgenic Research*, 17: 943–954.
- ANTONIOU I. E. és TSOMPA E. T. (2008): Statistical analyses of weighted networks. *Discret Dynamics in Nature and Society*, doi:10.1155/2008/375452.
- ÁRPÁS K., TÓTH F., KISS J. (2004a): Analysis of web content of *Theridion impressum* L. Koch (Araneae: Theridiidae) in BT (DK 440 BTY, MON 810, Cry1Ab) and isogenic (DK 440) maize. *Bulletin IOBC/WPRS*, 27: 23–29.
- ÁRPÁS K., TÓTH F., KISS J. (2004b): A *Theridion impressum* L. Koch (Araneae: Theridiidae) pókfaj hálótartalmának elemzése Bt- (DK-440 BTY, MON 810, Cry1Ab) és izogénes (DK 440) kukoricában. *Növényvédelem*, 40: 61–65.

- ÁRPÁS K., TÓTH F., KISS, J. (2005): Foliage-dwelling arthropods in Bt-transgenic and isogenic maize: a comparison through spider-web analysis. *Acta Phytopathologica et Entomologica Hungarica*, 40: 347–353.
- BARABÁSI A. L. és ALBERT R. (1999): Emergence of scaling in random networks. *Science*, 286: 509–512.
- BARÁTH CS., ITTZÉS A., UGRÓSDY GY. (1996): Biometria módszertani alapok és a Minitab programcsomag alkalmazása. In Baráth Cs. (szerk.) *Mezőgazda Kiadó*, Budapest. 288.
- BHATTI M. A., DUAN J., HEAD G. P., JIANG C., MCKEE M. J., NICKSON T. E. PILCHER C. L., PILCHER C. D. (2005a): Field evaluation of the impact of corn rootworm (Coleoptera: Chrysomelidae)- protected Bt corn on foliage-dwelling arthropods. *Environmental Entomology*, 34: 1336–1345.
- BHATTI M. A., DUAN J., HEAD G. P., JIANG C., MCKEE M. J., NICKSON T. E. PILCHER C. L., PILCHER C. D. (2005b): Field evaluation of the impact of corn rootworm (Coleoptera: Chrysomelidae)- protected Bt corn on ground-dwelling invertebrates. *Environmental Entomology*, 34: 1325–1335.
- BIDDINGER D. J., WEBER D. C., HULL L. A. (2009): Coccinellidae as predators of mites: Stethorini in biological control. *Biological Control*, 51: 268–283.
- BITZER R., RICE M., PILCHER C., LAM W. K. F. (2005): Biodiversity and community structure of epedaphic and euedaphic springtails (Collembola) in transgenic rootworm Bt corn. *Environmental Entomology*, 34: 1346–1375.
- CÁRCAMO H. A., NIEMALÄ J. K., SPENCE J. R. (1995): Farming and ground beetles: effects of agronomic practice on populations and community structure. *The Canadian Entomologist*, 127: 123–140.
- CHRISTIANSEN K. A. (1964): Bionomics of Collembola. *Annual Rev. Entomology*, 9: 147–178.
- DALY T. és BUNTIN G. D. (2005): Effect of *Bacillus thuringiensis* transgenic corn for lepidopteran control on nontarget arthropods. *Environmental Entomology*, 34: 1292–1301.
- DE LA POZA M., PONS X., FARINOS G. P., LOPEZ C., ORTEGO F., EIZAGUIRRE M., CASTANERA P., ALBAJES R. (2005): Impact of farm-scale Bt maize on abundance of predatory arthropods in Spain. *Crop Protection*, 24: 677–684.
- DELRIO G., VERDINELLI M., SERRA G. (2004): Monitoring of pest and beneficial insect populations in summer sown Bt maize. *International Organization for Biological Control WPRS Bulletin*, 27: 43–48.
- DINTER A. (1995): Estimation of epigeic spider population densities using an intensive D-vac sampling technique and comparison with pitfall trap catches in winter wheat. *Acta Jutlandica*, 70: 23–32.
- DIVELY G. P. (2005): Impact of transgenic VIP3A 3 Cry1Ab lepidopteran-resistant field corn on the nontarget arthropod community. *Environmental Entomology*, 34: 1267–1291.
- DUNNE J. A., WILLIAMS R. J., MARTINEZ N. D. (2002): Food-web structure and network theory: The role of connectance and size. *PNAS*, 99 (20): 12917–12922.
- DUTTON A., KLEIN H., ROMEIS J., BIGLER F. (2002) Uptake of Bt-toxin by herbivores feeding on transgenic maize and consequences for the predator *Chrysoperla carnea*. *Ecological Entomology*, 27: 441–447.
- ECKERT J., SCHUPHAN I., HOTHORN L. A., GATHMANN A. (2006): Arthropods on maize ears for detecting impacts of Bt maize on nontarget organisms. *Environmental Entomology* 35: 554–560.
- EFSA (2010a): Guidance on Data Exchange. *EFSA Journal*, 8 (11): 1895, 50. www.efsa.europa.eu
- EFSA (2010b): Guidance on the environmental risk assessment of genetically modified plants. *EFSA Journal*, 8 (11): 1879, 1–111.
- FALL E. H. és WESSELER J. H. H. (2008): Practical compatibility and economic competitiveness of each biological control option with chemical control and with cultural control of WCR (WP

- 2 Task 3), Diabr-Act, (Diabr-Act - Harmonise the strategies for fighting *Diabrotica virgifera virgifera*). <http://diabtract.vitamib.com/>
- FARINOS G. P., DE LA POZA M., HERNANDEZ-CRESPO P., ORTEGO F., CASTANERA P. (2008): Diversity and seasonal phenology of aboveground arthropods in conventional and transgenic maize crops in Central Spain. *Biological Control*, 44: 362–371.
- FERNANDES O. A., FARIA M., MARTINELLI S., SCHMIDT F., CARVALHO V. F., MORO G. (2007) Short-term assessment of Bt maize on nontarget arthropods in Brazil. *Scientia Agricola*, 64: 249–255.
- FRENCH B. W., CHANDLER L. D., ELLSBURY M. M., FULLER B. W., WEST M. (2004): Ground beetle (Coleoptera: Carabidae) assemblages in a transgenic corn–soybean cropping system. *Environmental Entomology*, 33: 554–563.
- GAGIC V., TSCHARNTKE T., DORMANN F. C., GRUBER B., WILSTERMANN A., THIES C. (2011): Food web structure and biocontrol in a four-trophic level system across a landscape complexity gradient. *Proc. R. Soc. B.*, doi:10.1098/rspb.2010.2645
- GARCIA-ALONSO M., JACOBS E., RAYBOULD A., NICKSON T. E., SOWING P., WILLEKENS H., VAN DER KOUWE P., LAYTON R., AMIJEE F., FUENTES A. M., TENCALLA F. (2006): A tiered system for assessing the risk of genetically modified plants to non-target organisms. *Environmental Biosafety Research*, 5: 57–65.
- HEAD G., BROWN C. R., GROTH M. E., DUAN J. J. (2001): Cry1Ab protein levels in phytophagous insects feeding on transgenic corn: implications for secondary exposure risk assessment. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 99: 37–45.
- HIGGINS L. S., BABCOCK J., NEESE P., LAYTON R. J., MOELLENBECK D. J., STORER N. (2009): Three-year field monitoring of Cry1F, event DAS-01507-1, maize hybrids for nontarget arthropod effects. *Environmental Entomology*, 38 (1): 281–92.
- JAMES C. (2014): Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops: 2014. ISAAA Brief No. 49. ISAAA: Ithaca, NY.
- JASINKI J. R., EISLEY J. B., YOUNG C. E., KOVACH J., WILLSON H. (2003): Select nontarget arthropod abundance in transgenic and nontransgenic field crops in Ohio. *Environmental Entomology*, 32: 407–413.
- JORDÁN F., GJATA N., MEI S., YULE C. M. (2012): Simulating Food Web Dynamics along a Gradient Quantifying Human Influence. *PLoS ONE*, 7 (7):doi:10.1371/journal.pone.0040280.
- KÁDÁR F. és SAMU F. (2006): A duplaedényes talajcsapadék használata Magyarországon. *Növényvédelem*, 42 (6): 305–312.
- KISS J., SZENTKIRÁLYI F., TÓTH F., SZÉNÁSI Á., KÁDÁR F., ÁRPÁS K., SZEKERES D., EDWARDS C. R. (2002): Bt Corn: Adjusting to Local IPM Systems. In: T. Lelley, E. Balázs és M Tepfer (szerk): *Ecological Impact of GMO Dissemination in Agro-Ecosystems*. 157–173.
- KISS J., KOMAROMI J., BAYAR K., EDWARDS C.R., HATALA-ZSELLER I. (2005): Western corn rootworm (*Diabrotica virgifera virgifera* LeConte) and the crop rotation systems in Europe. In: S. Vidal, U. Kuhlmann & C.R. Edwards (szerk.): *Western corn rootworm: ecology and management*, 189–220.
- LANG A., ARNDT M., BECK R., BAUCHHENSS J., POMMER G. (2005): Monitoring of the environmental effects of the Bt gene: research project sponsored by the Bavarian State Ministry for Environment, Health, and Consumer Protection. Bavarian State Research Center for Agriculture, Freising-Weiherstephan, Germany.
- LI Y. és ROMEIS J. (2010) Bt maize expressing Cry3Bb1 does not harm the spider mite, *Tetranychus urticae*, or its ladybird beetle predator, *Stethorus punctillum*. *Biol. Control*, 52: 337–344.
- LOZZIA G. C. és RIGAMONTI I. E. (1998): Preliminary observations on the arthropod fauna of transgenic corn fields. *ATTI Giornate Fitopatologiche*, 223–228.

- McMANUS B. L., FULLER B. W., BOETEL M. A., FRENCH B. W., ELLSBURY M. M., HEAD G. P. (2005): Abundance of *Coleomegilla maculata* (Coleoptera: Coccinellidae) in Corn Rootworm-Resistant Cry3Bb1 Maize. *Journal of Economic Entomology*, 98 (6):1992-1998.
- MARTINEZ N. D., HAWKINS B. A., DAWAH H. A., FEIFAREK B. P. (1999): Effects of Sampling Effort on Characterization of Food-Web Structure. *Ecology*, 80 (3): 1044.
- MEISSLE M. és LANG A. (2005): Comparing methods to evaluate the effects of Bt maize and insecticide on spider assemblages. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 107: 359–370.
- MEISSLE M. és ROMEIS J. (2009a): Insecticidal activity of Cry3Bb1 expressed in Bt maize on larvae of the Colorado potato beetle, *Leptinotarsa decemlineata* (Coleoptera: Chrysomelidae). *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 131: 308–319.
- MEISSLE M. és ROMEIS J. (2009b): The web-building spider *Theridion impressum* (Araneae: Theridiidae) is not adversely affected by Bt maize resistant to corn rootworms. *Plant Biotechnology Journal*, 7: 645–656
- MERRET P. és SNAZELL R. (1983): A comparison of pitfall trapping and vacuum sampling for assessing spider faunas on heathland at Ashdown Forest, south-east England. *Bulletin of the British Arachnological Society*, 6: 1–13.
- NIYAMA T., FUJII T., HORI M., MATSUDA K. (2007): Olfactory response of *Trigonotylus caelestialium* (Het.: Miridae) to rice plant and gramineous weeds. *Journal Appl. Entomology*, 131: 513–517.
- OBRIST L. B., DUTTON A., ALBAJES R., BIGLER F. (2006): Exposure of arthropod predators to Cry1Ab toxin in Bt maize fields. *Ecological Entomology*, 31: 143–154.
- ONSTAD D. W., SPENCER J. L., GUSE C. A., LEVINE E., ISARD S. A. (2001): Modeling evolution of behavioral resistance by an insect to crop rotation. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 100: 195-201.
- PAVUK M. D., PURRINGTON F. F., WILLIAMS C. E., STINNER B. R. (1997): Ground Beetle (Coleoptera: Carabidae) Activity Density Community Composition in Vegetationally Diverse Corn Agroecosystems. *The American Midland Naturalist*, 138: 14–28.
- PÁLINKÁS Z., ZALAI M., SZÉNÁSI Á., DORNER Z., SZEKERES D. (2012): Botanical and arthropod diversity in GM HT maize treated with glyphosate or conventional herbicides. *GMOs in Integrated Plant Production IOBC/wprs Bulletin*, 73: 69–73.
- PILCHER C. D., OBRYCKI J. J., RICE M. E., LEWIS L. C. (1997): Preimaginal development, survival, and field abundance of insect predators on transgenic *Bacillus thuringiensis* corn. *Environmental Entomology*, 26: 446–454.
- POPPY G. M. (2000): GM crops: environmental risks and non-target effects. *Trends in Plant Science*, 5: 4–6.
- PRASIFKA J. R., LOPEZ M. D., HELLMICH R. L., LEWIS L. C., DIVELY G. P. (2007): Comparison of pitfall traps and litter bags for sampling ground-dwelling arthropods. *Journal of Applied Entomology*, 131 (2): 115–120.
- PUTMAN W. L. (1955): Bionomics of *Stethorus punctillum* Weise (Coleoptera: Coccinellidae) in Ontario. *The Canadian Entomologist*, 87: 9–33.
- RAUSCHEN S. (2008): Biosafety research into *Diabrotica*-resistant Bt-maize: Indicator organisms and monitoring methods. *Doktori értekezés*. Germany, Aachen: 1–109.
- RAUSCHEN S., SCHULTHEIS E., PAGEL-WIEDER S., SCHUPHAN I., EBER S. (2009): Impact of Bt-corn MON88017 in comparison to three conventional lines on *Trigonotylus caelestialium* (Kirkaldy) (Heteroptera: Miridae) field densities. *Transgenic Research*, 18: 203–214.
- RAUSCHEN S., SCHAARSCHMIDT F., GATHMANN A. (2010a): Occurrence and field densities of Coleoptera in the maize herb layer: implications for Environmental Risk Assessment of genetically modified Bt-maize. *Transgenic Research*, 19 (5): 727–744.

- RAUSCHEN S., SCHULTHEIS E., HUNFELD H., SCHAARSCHMIDT F., SCHUPHAN I., EBER S. (2010b): Diabrotica-resistant Bt-maize DKc5143 event MON88017 has no impact on the field densities of the leafhopper *Zyginidia scutellaris*. *Environmental Biosafety Research*, 9: 87–99.
- RIDDICK E. W., DIVELY G., BARBOSA P. (1998): Effect of a seed-mix deployment of Cry3A-transgenic and nontransgenic potato on the abundance of *Lebia grandis* (Coleoptera: Carabidae) and *Coleomegilla maculata* (Coleoptera: Coccinellidae). *Ann. Entomol. Soc. Am.* 91: 647–653.
- RITCHIE S. W., HANWAY J. J., BENSON G. O. (1992): How a corn plant develops. Iowa State University, Cooperative Extension Service, Special Report 48. Ames, Iowa
- ROMEIS J., MEISSLE M., BIEGLER F. (2006): Transgenic crops expressing *Bacillus thuringiensis* toxins and biological control. *Nature Biotechnology*, 24 (1): 63–71.
- ROMEIS J., BARTSCH D., BIGLER F., CANDOLFI M.P, GIELKENS M., HARTLEY S. E., HELLMICH R. L., HUESING J. E., JEPSON P. C., LAYTON R. L., QUEMADA H., RAYBOULD A., ROSE R. I., SCHIEMANN J., SEARS M. K., SHELTON A. M., SWEET J., VAITUZIS Z., WOLT J. D. (2008): Assessment of risk of insect-resistant transgenic crops to nontarget arthropods. *Nature Biotechnology*, 26 (2): 203–208.
- ROSE R. I. (2007) White paper on tier-based testing for the effects of proteinaceous insecticidal plant-incorporated protectants on non-target invertebrates for regulatory risk assessment. USDA-APHIS and US Environmental Protection Agency, Washington, DC, <http://www.epa.gov/pesticides/biopesticides/pips/non-target-arthropods.pdf>
- ROSCA I. és CAGAN L. (2012a): Research on the influence of genetically modified maize on the Coccinellidae fauna. *IOBC/wprs Bull.*, 73: 83–88.
- ROSCA I. és CAGAN L. (2012b) Research on the influence of genetically modified maize on the Neuroptera fauna. *IOBC/wprs Bull.*, 73: 89–94.
- ROTT A. S. és PONSONBY D. J. (2000): Improving the control of *Tetranychus urticae* on edible glasshouse crops using a specialist coccinellid *Stethorus punctillum* Weise and a generalist mite *Amblyseius californicus* as biocontrol agents. *Biocontrol Science and Technology*, 10: 487–498.
- SEHNAL F., HABUSTOVA O., SPITZER L., HUSSEIN H. M., RUZICKA V. (2004): A biannual study on the environmental impact of Bt maize. *International Organization for Biological Control WPRS Bulletin*, 27: 147–160.
- SOUTHWOOD T. R. E. (1978): *Ecological methods*. Chapman and Hall, London.
- SVOBODOVA Z., HABUSTOVA O., HUSSEIN H. M., PUZA V., SEHNAL F. (2012a): Impact of genetically modified maize expressing Cry3Bb1 on non-target arthropods: first year results of a field study. *IOBC/wprs Bull*, 73: 107–120.
- SVOBODOVA Z., HABUSTOVA O., SEHNAL F., HOLEC M., HUSSEIN H. M. (2012b): Epigeic spiders are not affected by the genetically modified maize MON 88017. *J. Appl. Entomol.*, doi:10. 1111/j.1439-0418.2012.01727.x
- SZEKERES D., KÁDÁR F., KISS J. (2006): Activity density, diversity and seasonal dynamics of ground beetles (Coleoptera: Carabidae) in Bt- (MON810) and in isogenic maize stands. *Entomologica Fennica*, 17: 269–275.
- SZEKERES D., KÁDÁR F., DORNER Z. (2008): Ground beetles (Coleoptera: Carabidae) in transgenic herbicide tolerant maize hybrids: Impact of the transgenic crop or the weed control practice? *IOBC/wprs Bull.*, 33: 105–110.
- SZÉNÁSI Á., KISS J., PÁLINKÁS Z., SZEKERES D. és KÁDÁR F. (2009): Az amerikai kukoricabogár Európában: rezisztens kukoricahibridek környezeti hatásvizsgálata Európában és Magyarországon. In: Dudits D. (szerk.) *Zöld géntechnológia és agrárinnováció*. Barabás Zoltán Biotechnológiai Egyesület, Szeged, 101–108.

- SZÉNÁSI Á., PÁLINKÁS Z., ZALAI M., SCHMITZ O. J., BALOG A. (2014): Short-term effects of different genetically modified maize varieties on arthropod food web properties: an experimental field assessment. *Scientific Reports*, 4: 5315. doi:10.1038/srep05315
- SZÉNÁSI Á. és MARKÓ V. (2015): Flea beetles (Coleoptera: Chrysomelidae, Alticinae) in Bt-(MON810) and near isogenic maize stands: Species composition and activity densities in Hungarian fields. *Crop Protection*, 77: 38–44.
- VOLKMAR C. és FREIER B. (2003): Spider communities in Bt maize and not genetically modified maize fields. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz*, 110: 572–582.
- WILKINSON M. J., SWEET J. B., POPPY G. (2003): Preventing the regulatory log jam; the tiered approach to risk assessments. *Trends in Plant Science*, 8: 208–212.
- WOLFENBARGER L. L., NARANJO S. E., LUNDGREN J. G., BITZER R. J., WATRUD L. S. (2008): Bt Crop Effects on Functional Guilds of Non-Target Arthropods: A Meta-Analysis, *PLoS ONE*, 3: 2118.
- WOLT J.D., KEESE P., RAYBOULT A., FITZPATRICK J. W., BURACHIK M., GRAY A., OLIN S. S., SCHIEMANN J., SEARS M., WU F. (2010): Problem formulation in the environmental risk assessment for genetically modified plants. *Transgenic Res.* 19: 425–436.
- USEPA. United States Environmental Protection Agency. (1998): Guidelines for ecological risk assessment. Risk Assessment Forum and Office of Research and Development. Washington, DC. EPA/630/R-95/002F.
- http1: <http://www.trece.com/pherocon.html#>

7. Az értekezés témájához kapcsolódó publikációk

Könyvfejezet:

- Szénási Á., Kiss J., **Pálinkás Z.**, Szekeres D. és Kádár F. (2009): Az amerikai kukoricabogár Európában: rezisztens kukoricahibridek környezeti hatásvizsgálata Európában és Magyarországon. In: Dudits D. (szerk.): *Zöld géntechnológia és agrárinnováció*. Barabás Zoltán Biotechnológiai Egyesület. Szeged. 101-108.

Tudományos cikkek:

- Meissle M., P. Mouron, T. Musa, F. Bigler, X. Pons, V.P. Vasileiadis, S. Otto, D. Antichi, J. Kiss, **Z. Pálinkás**, Z. Dorner, R. van der Weide, J. Groten, E. Czembor, J. Adamczyk, J.B Thibord, B. Melander, G. Cordsen Nielsen; R. Thostrup Poulsen; O. Zimmermann, A. Verschwele and E. Oldenburg (2009): Pests, pesticide use and alternative options in European maize production: Current status and future prospects. *Journal of Applied Entomology* 134 (5): 357-375. **IF: 1,11**
- Kiss J., Szénási Á., **Pálinkás Z.**, Dorner Z., Zalai M., Balog A. és Kádár F. (2010): Környezeti kockázat-vizsgálatok GM kukoricákkal. *Zöld biotechnológia*, 6, (11), 4-10.
- Balog A., Á Szénási, D. Szekeres and **Z. Pálinkás** (2011): Analysis of soil dwelling rove beetles (Coleoptera: Staphylinidae) in cultivated maize fields containing the Bt toxins, Cry34/35Ab1 and Cry1F x Cry34/35Ab1. *Biocontrol Science and Technology*, 21 (3), 293-297. **IF: 0,882**
- Pálinkás Z.**, M Zalai, Á. Szénási, Z. Dorner, D. Szekeres. (2012): Botanical and arthropod diversity in GM HT maize treated with glyphosate or conventional herbicides. *GMOs in Integrated Plant Production. IOBC/wprs Bulletin*, 73: 69-73.
- Álvarez-Alfageme F., **Z. Pálinkás**, F. Bigler, J. Romeis (2012) Development of an early-tier laboratory assay for assessing the impact of orally-active insecticidal compounds on *Coccinella septempunctata* (L.) (Coleoptera: Coccinellidae). *Environmental Entomology*, 41 (6), 1687-93. **IF: 1.534**

- Szénási Á., **Z. Pálinkás**, M. Zalai, O. J. Schmitz, A. Balog (2014): Short-term effects of different genetically modified maize varieties on arthropod food web properties: an experimental field assessment. *Scientific Reports*, 4: 5315. **IF: 5.58**
- Pálinkás Z.**, M. Zalai, Á. Szénási, F. Kádár, Z. Dorner, A. Balog (2015): Rove Beetles (Coleoptera Staphylinidae) - their abundance and competition with other predatory groups in Bt maize expressing Cry34Ab1, Cry35Ab1, Cry1F and CP4 EPSPS proteins. *Crop Protection*, 80: 87-93. **IF: 1,493**
- Pálinkás Z.**, M. Zalai, Á. Szénási, Z. Dorner, A. Balog (2016): Who eats who? - Bt maize events expressing Cry34Ab1, Cry35Ab1, Cry1F and CP4 EPSPS proteins do not affect the arthropod food web. *PLoS ONE*. (benyújtva)

Konferencia absztraktok:

- Pálinkás Z.**, Á. Szénási, J. Kiss, Dorner Z. and F. Kádár (2009): Methods for assessing the impact of transgenic maize hybrids on non-target arthropods. 8th International Symposium in the Series Recent Advances in Plant Biotechnology. Szeged, 1-4 September 2009. p. 70-71.
- Kiss J., Szénási Á., **Pálinkás Z.** (2009): GM növények: Tudunk-e élni a lehetőségeinkkel? II. Országos Agráripari Konferencia. Összefoglaló, MTA Budapest, 2009. május 21.
- Pálinkás Z.**, Szénási Á. és Dorner Z. (2010): „Litter bag” módszer alkalmazása környezeti hatásvizsgálatra GM-kukoricában. 56. Növényvédelmi Tudományos Napok, Budapest, p. 79.
- Szénási Á., **Pálinkás Z.** és Szekeres D. (2010): Kukoricabogár- (DAS-59122) és Lepidoptera-rezisztens (DAS-1507 x NK603), továbbá Glifozát-toleráns (DAS-1507 x NK603 és DAS-59122 x NK603) kukoricák környezeti kockázatelemzése: kockázati hipotézis, kitettség és szabadföldi tesztek. 56. Növényvédelmi Tudományos Napok, Budapest, p. 80.
- Kiss J., Á. Szénási, **Z. Pálinkás** and Z. Dorner (2010): GM maize releases for environmental impact assessment: Experiences and challenges. Plant Breeding and Biotechnology in the Great Pannonian Region. Cluj-Napoca, Romania, 4-7 July 2010. p. 9-10.
- Balog A., Szekeres D., Szénási Á., **Pálinkás Z.**, Kádár F. (2010): Holyvák (Coleoptera: Staphylinidae) dominanciaviszonyai és aktivitásuk különböző transzgenikus (MON 810; Cry1Ab, 1507xNK603; Cry1F_xHT és 59122; Cry34Ab1, Cry35Ab1) kukorica-hibridekben. 56. Növényvédelmi Tudományos Napok, Budapest, p. 63.
- Dorner Z., Zalai M., Szekeres D., **Pálinkás Z.**, Szénási Á. (2010): Glifozát-toleráns (DAS-1507 x NK603, DAS-59122 x NK603) kukorica: Csökkenhet vagy növekedhet-e a biodiverzitás? 56. Növényvédelmi Tudományos Napok, Budapest, p. 65.
- Pálinkás Z.**, Szénási Á., Szekeres D. (2010): Kukoricabogár rezisztens (DAS-59122) kukorica kockázatelemzése katicabogár-félékre (Coccinellidae), szabadföldön. 56. Növényvédelmi Tudományos Napok, Budapest, p. 58.
- Szénási Á., **Pálinkás Z.**, Szekeres D. (2010): A gyapottok-bagolylepke (*Helicoverpa armigera*) és a kukoricamoly (*Ostrinia nubilalis*) fertőzöttség alakulása Lepidoptera-rezisztens (MON 810; DAS-1507 x NK603) hibridekben. 56. Növényvédelmi Tudományos Napok, Budapest, p. 55.
- Kiss J., Szénási Á., **Pálinkás Z.**, Dorner Z., Zalai M., Balog A., Kádár F. (2010): Környezeti kockázat-vizsgálatok GM kukoricákkal. GM növények szerepe a tudományban és az agráriumban. Szeged, 2010. július 7-8. p. 75-82.
- Pálinkás Z.**, M. Zalai, Á. Szénási, Z. Dorner, D. Szekeres. (2012): Botanical and arthropod diversity in GM HT maize treated with glyphosate or conventional herbicides. 'Ecological Impact of Genetically Modified Organisms' Conference and IOBC/wprs working group meeting. Ceske Budejovice, Czech Republic, 22-25. Június 2011. p. 17.