

**SZENT ISTVÁN EGYETEM**

**AZ AMERIKAI KUKORICABOGÁR (*DIABROTICA VIRGIFERA VIRGIFERA*  
LECONTE) DISZPERZIÓS VISELKEDÉSÉNEK VIZSGÁLATA ÉS  
POPULÁCIÓDINAMIKÁJÁNAK MODELLEZÉSE**

**LÉVAY NÓRA ANDREA**

**GÖDÖLLŐ**

2014

## **A doktori iskola**

**megnevezése:** **Növénytudományi Doktori Iskola**

**tudományága:** **Növénytermesztési- és kertészeti tudományok**

**vezetője:** **Dr. Helyes Lajos, PhD**  
egyetemi tanár, az MTA doktora  
SZIE, Mezőgazdaság- és Környezettudományi Kar  
Kertészeti Technológiai Intézet

**Témavezetők:** **Dr. Kiss József, PhD**  
egyetemi tanár  
SZIE, Mezőgazdaság- és Környezettudományi Kar  
Növényvédelmi Intézet

**Dr. Stefan Toepfer, PhD**  
egyetemi magántanár  
SZIE, Mezőgazdaság- és Környezettudományi Kar  
Növényvédelmi Intézet  
CABI Europe - Switzerland

---

Dr. Helyes Lajos

iskolavezető

Dr. Kiss József

témavezető

Dr. Stefan Toepfer

témavezető

## 1. Bevezetés

Az amerikai kukoricabogár géncentruma Közép-Amerika (Krysan, 1986). Európában először 1992-ben, a belgrádi repülőtér közelében észlelték lárvája kártételét önmaga után vetett kukoricatáblában (Bača, 1993). Magyarországon 1995-ben, Mórahalom közelében találták meg első egyedeit (Princzinger, 1996). A kártevő európai terjedése jól dokumentált (Kiss et al., 2005a, b). Európa legtöbb országában ma (2014) már a terjedésének késleltetése illetve populációjának csökkentése a cél. Tekintettel a kártevő tartósan megtelepedett populációira, a karantén intézkedések fenntartása már nem indokolt. Magyarországon az amerikai kukoricabogár a 7/2001 (I. 17.) FVM rendelet módosításával lekerült a zárlati károsítók listájáról.

Kártételének első tudományos leírásakor már hangsúlyozták az agrotechnikai eljárások, ezen belül is a vetésváltás kiemelt szerepét (Gillette, 1912). A vetésváltás ma is a kártevő elleni integrált védekezés meghatározó eleme (European Commission, 2003, 2006; Kiss et al., 2005c). Az évenkénti vetésváltás a teljes kukoricatermő területen azonban mind gyakorlati megvalósíthatósági szempontból (Kiss et al., 2005c), mind védekezési hatékonysági szempontból (Szalai et al., 2014) indokolatlan. Szalai és mtsai (2014) populációdinamikai modelljükben kimutatták, hogy ha egy kukoricatermő terület egészére vetítve az önmaga után vetett kukorica nem haladja meg a teljes kukoricatermő terület 30 %-át, akkor a kártevő egyedszáma nem lépi át a következő évi lárvakártételt eredményező gazdasági kárküszöbnek tartott szintet (0,7-2 imágó/növény/nap). A jelenség magyarázata a populáció térség szintű "hígulásában" van.

Az amerikai kukoricabogár európai populációi kukoricatáblák talajába helyezi petéinek túlnyomó (>90 %) részét (Kiss et al., 2005c, Komáromi, 2008). A következő évben kikelő lárvák, tömegesen, jelenlegi tudásunk szerint, termesztett haszonnövényeink közül csak a kukorica gyökérzetén képesek fejlődésüket imágó stádiumig befejezni (Branson és Ortman, 1970; Clark és Hibbard, 2004; Oyediran et al., 2004; Wilson és Hibbard, 2004; Breitenbach et al., 2005a,b), ebből adódóan Európában imágók döntő többségben az önmaga után vetett kukoricatábla talajából jöhetnek elő. Az imágók jól repülnek (Spencer et al., 2009), az önmaga után vetett kukoricatáblában kikelt populáció egy része kirepül a kikelés helyét jelentő táblából és új élőhelyet keres. Túlnyomórészt a szomszédos kukoricatáblák között diszpergáló imágók népesítik be az első éves kukoricatáblákat (Keszthelyi, 2005; Szalai et al., 2011b). Az imágók kukoricatáblák közötti repülésének következtében tehát az önmaga után vetett kukoricatáblákban

adott évben csökken a populációsűrűség, míg az első éves táblákban növekszik. A nőstények peterakásának idejére az önmaga után vetett kukoricatáblák egyedszám sűrűsége a kezdeti állapothoz képest felhígul, a kártevő térség szintű eloszlása az első éves és többéves kukoricatáblák vonatkozásában, a diszperziót megelőző időszakhoz képest egyenletesebbé válik. Ahhoz, hogy ez a folyamat (populációhígulás) pontosan követhető legyen, ismerni kell a kártevő repülési, orientációs viselkedését, annak paraméterekkel kifejezett értékeit.

A szakirodalomban kevés adat (Prystupa et al., 1988; Naranjo, 1990; Spencer et al., 1999) áll rendelkezésre arról, hogy szabadföldi körülmények között az imágók képesek-e, és ha igen milyen távolságból érzékelni a kukoricatáblák elhelyezkedését, valamint arról, hogy repülésüket aktív módon kukoricatáblák irányába tájolják-e? Repülési orientációjukat milyen mértékben határozzák meg a szélviszonyok? Adott, önmaga után vetett kukoricatábla populációjából mekkora hányad fogja elhagyni a kikelés helyét jelentő kukoricatáblát? Mekkora egy adott populáción belül a diszpergáló egyedek aránya? Milyen stressz tényezők befolyásolják a diszpergáló egyedek arányát egy populáción belül? Ha ismert a diszpergáló egyedek aránya és az, hogy egyes környezeti tényezőknek milyen szerepe van a diszperzió alakításában, módosítja-e ez a térség szinten önmaga után vethető kukorica irodalomból ismert (Szalai et al., 2014) 30 %-os felső határát?

Célkitűzéseim:

1. Az amerikai kukoricabogár imágók repülési orientációs képességének elemzése szabadföldi jelölés-kibocsátás-visszafogás kísérletben.
2. Az önmaga után vetett kukoricatáblákban kikelő imágó populációk diszperziójának elemzése szabadföldi viszonyok között.
3. A szabadföldi diszperziós vizsgálat eredményeinek populációdinamikai modellbe foglalása, az amerikai kukoricabogár elleni integrált védelem további fejlesztése érdekében.

## 1. Anyag és módszer

### Jelölés-kibocsátás-visszafogás vizsgálat

A jelölés-kibocsátás-visszafogás kísérlethez az imágókat Csongrád megyében, önmaga után vetett kukoricatáblában gyűjtöttem 2003 és 2004 években. Az imágókat klimatizált helyiségben tartottam, 300x300x500mm nagyságú rovartenyésztő ketrecekben. Egy ketrecben hozzávetőleg 3000 imágó volt. Az imágók festése fluoreszcens porral történt (Orange T1-0Y6612, Yellow T1-CH6620 Magruder Colour, Elizabeth, NJ, USA; Pink R17/M3115 Radiant Colour, Houthalen, Belgium) (Toepfer et al., 2005a). Kilenc ismétlést végeztem, ismétlésenként 5500-6000 fluoreszcens por-festékkel jelölt amerikai kukoricabogár imágót bocsátottam szabadon. A befogások és kibocsátások között 5-7 nap telt el. Két kísérleti területet jelöltem ki: „A” *kísérleti terület*: 80 ha nagyságú gyepterület, melyet évente egyszer kaszáltak (június végén). A terület Csongrád megyében található. Az „A” kísérleti területen 2003-ban két kibocsátás, 2004-ben három kibocsátás történt. „B” *kísérleti terület*: az „A” kísérleti területtől ~25 km-re délre fekvő, 60 ha nagyságú lucerna (*Medicago sativa*) tábla. A lucerna egy része 4 hetente le lett kaszálva, míg a tábla körülbelül egyharmada magfogás céljából, a kísérlet ideje alatt nem volt kaszálva. A „B” kísérleti területen 2003-ban és 2004-ben is két-két kibocsátás történt. Mindkét kísérleti területre, a gyepterület illetve lucerna tábla közepére tájolt kibocsátási ponttól számított 300-300 méterre, két-két kukorica parcellát alakítottam ki. A parcellák egyenként 10x10 m nagyságúak voltak. A jelölt imágók visszafogásához 2003-ban 416 db, 2004-ben pedig 528 db Pherocon AM<sup>®</sup> sárga ragacs lap csapdát használtam (Pherocon AM, Trece Inc., USA). A csapdákat másfél méter magas fa karókra rögzítettem. A csapdák a kibocsátási pont körül, 4 koncentrikus körben (30 m, 105 m, 205 m, 305 m) lettek elhelyezve mindkét kísérleti területen. Minden kibocsátás után háromszor ellenőriztem a csapdákat, először a kibocsátást követő 2. napon (1. ellenőrzés), majd 2-2 nap elteltével, összesen háromszor.

Az imágók visszafogási adatainak statisztikai kiértékelése Batschelet (1981), Zar (1998) és Services (2004) által leírt eljárások alapján történt, melynek során a repülési irányok koncentráltóságát Rayleigh teszttel számítottam ki. Kitüntetett repülési irányról akkor beszélek, ha az átlagvektor koncentráltósága szignifikáns. Az egyes kibocsátások és azon belül az egyes csapda ellenőrzési időpontok repülési irányultság átlagvektorainak egymással való összehasonlítása parametrikus, többtényezős Watson–Williams F teszttel történt (Fisher, 1993). Ennek a tesztnek előfeltétele, hogy a repülési irány átlagvektora legalább 5 adatpont alapján legyen számítva. A visszafogott jelölt imágók kitüntetett repülési iránya és az uralkodó szélirány közötti kapcsolat vizsgálatát Fisher és Lee (1983) által leírt eljárás alapján végeztem. A korreláció szignifikancia vizsgálatát a jack-knife eljárással végeztem (Mardia és Jupp, 2000).

## Diszperziós vizsgálat

A szabadföldi kísérlet beállításának lényege „kvázi-izolált” kukorica táblapárok keresése. Egy táblapár egy darab első éves- és egy darab önmaga után vetett kukoricatáblából állt, ahol az első éves kukoricatábla azon pontjától számítva, ahol a csapdák kihelyezésre kerültek, 3000 m sugarú körön belül az egyetlen kukoricatábla a táblapár másik eleme, tehát az önmaga után vetett kukoricatábla volt. Ebből adódóan egy táblapáron belül az első éves kukoricatáblába betelepült imágók feltehetően az önmaga után vetett kukoricatáblából érkeztek. A máshonnan érkező betelepült imágók arányát elhanyagolható mértékűnek tekintettem.



Összesen 20 táblapáron végeztem megfigyelést, két egymást követő évben, 2006-ban és 2007-ben, Csongrád és Tolna megyékben. Az imágók csapdázása csalétket vagy feromont nem tartalmazó, Pherocon AM<sup>®</sup> sárga ragacslap-csapdával történt (Pherocon AM, Trécé Inc., USA). Mind a 20 táblapár vonatkozásában, táblapáronként 4 hét adatainak felvételezése került be a statisztikai kiértékelésbe. Hét táblapár esetében feljegyeztem a fenológiai adatokat is. A kukoricatáblák fenológiai stádiumát becsléssel állapítottam meg, hetente, a csapdák cseréje során az alábbi értékeket becsültem meg: (a) a pollent szóró kukoricánövények arányát a táblában, (b) friss bibével rendelkező kukoricánövények arányát a táblában, (c) zöld növényi levélfelület százalékos arányát a táblában. A három becsült százalék egyszerű számtani átlaga adta egy adott kukoricatábla fenológiai stádiumának mutatószámát. A mintázási eredményeket imágó/csapda/nap mértékegységben adtam meg, mely eredmény minden esetben a táblánként és hetente kihelyezett 3 csapda egyszerű számtani átlaga volt. Az esetek többségében a táblapárokon belül az első éves- és az önmaga után vetett kukoricatáblák mérete eltért

egymástól, ezért az eredmények összevethetősége érdekében az első éves táblák elsődleges fogási eredményét korrigáltam.

Az első éves kukoricatáblák elsődleges fogási adatait az alábbi módon korrigáltam:

*(fogási adat [imágó/csapda/nap]) / korrekciós faktor*, ahol:

*korrekciós faktor=önmaga után vetett kukoricatábla mérete [ha]/első éves kukoricatábla mérete [ha]*

A táblapár korrigált fogási eredményeiből származtattam a „*diszperziós ráta*” elnevezésű függő változót az alábbi módon: az önmaga után vetett- és az első éves kukoricatáblák együttes fogási eredményét tekintetem a populáció 100 %-ának, abból a feltételezésből kiindulva, hogy az összes egyed ugyanabban az önmaga után vetett kukoricatáblában kelt ki. A teljes populációból (tehát az önmaga után vetett- és az első éves kukoricatáblák együttes fogási eredményéből) fejeztem ki az első éves táblában fogott imágók (azaz a diszpergáló egyedek) százalékos arányát. Az ivararányt [hím/nőstény] dimenzióban fejeztem ki minden olyan esetben, amikor mindkét ivarból volt fogási eredmény adott táblapáron belül mind az önmaga után vetett-, mind az első éves kukoricatáblában. A statisztikai elemzéseket R nyelvi környezetben végeztem (R Development Core Team, 2011).

### **Populációdinamikai modell módszere**

Munkám során az amerikai kukoricabogár imágók egyedszám változását szimuláltam önmaga után vetett- és első éves kukoricatáblában. A modell szerkezeti felépítését tekintve egyetlen generáció életciklusát követi és ezen egyetlen generáció életciklusának szimulációját ismétli nagy számban (Monte Carlo eljárás). Pokorádi és Molnár (2010) szerint a Monte Carlo szimuláció egy valószínűségi mintavételezési (becslési) eljárás, ahol a nagyszámú kvázi random módon generált értékek statisztikai elemzése révén fogalmazhatók meg következtetések. A modell paramétereit úgy programoztam, hogy a szakirodalmi adatok alapján lehetséges határok között, de véletlenszerűen legyenek sorsolva az egyes szimulációs lépések során. A modell futtatási eredményeit a leíró statisztika eszköztárával elemeztem (átlag, percentilisek). A modell lényege a populáció térség szintű „hígulásának” szimulálása. Arra kerestem a választ, hogy az önmaga után vetett kukorica arányának változtatásával a diszperzió mekkora hányadot képes „pufferelni” térség szinten az imágó tömegeből? Lehetséges-e az önmaga után vetett és első éves kukoricatáblák térség szintű mozaikosságának manipulálásával a kártevő populációját tudatosan befolyásolni? A populációdinamikai modell négy szerkezeti elemből áll: (a) előző nemzedék átlagos populációsűrűsége, (b) populációsűrűség diszperzió előtt, (c) diszperzió, (d) populációsűrűség diszperzió után. A teljes populációdinamikai modellt adott vetésváltási arányok mellett futtattam. Az önmaga után vetett kukorica részarányát 1 %-ról indítottam, majd százalékpontos lépésközzel emeltem 99 %-ig.

## 2. Eredmények

### Jelölés-kibocsátás-visszafogás vizsgálat eredményei

A jelölés-kibocsátás-visszafogás vizsgálat két évben, kilenc ismétlésben, összesen 289 jelölt imágót csapdáztam, ami 0,9 %-os visszafogási arányt jelent. A kibocsátott imágók ivararánya 63 % hím, 37 % nőstény volt (s.d.=16 %; n=9), míg a visszafogott, jelölt imágók esetében 41 % hím és 59 % nőstény (s.d.=39 %; n=9). Az összesen 15 statisztikai értékelésbe vont ismétlésből (9 kibocsátás \* 2 csapda ellenőrzés – 3 ismétlés statisztikai értékelésből kizárva = 15 ismétlés) 5 esetben (38 %) az imágóknak egy kitüntetett repülési iránya volt, 3 esetben (20 %) két kitüntetett repülési irányt figyeltem meg, 7 esetben (46 %) pedig nem volt szignifikáns átlagvektor, azaz nem volt kitüntetett repülési irány. Ha az egyes kibocsátásokhoz tartozó csapda ellenőrzések adatait összevontam, akkor a kilenc kibocsátásból 5 esetben egy kitüntetett repülési irányt találtam, 3 esetben két kitüntetett repülési irányt és csak egyetlen kibocsátásnál nem volt kitüntetett repülési irány. A hímek és nőstények kitüntetett repülési iránnyal rendelkező illetve nem rendelkező ismétléseit összevetve nem találtam szignifikáns különbséget a két nem adatai között ( $P > 0.5$ , Watson-Williams F teszt).

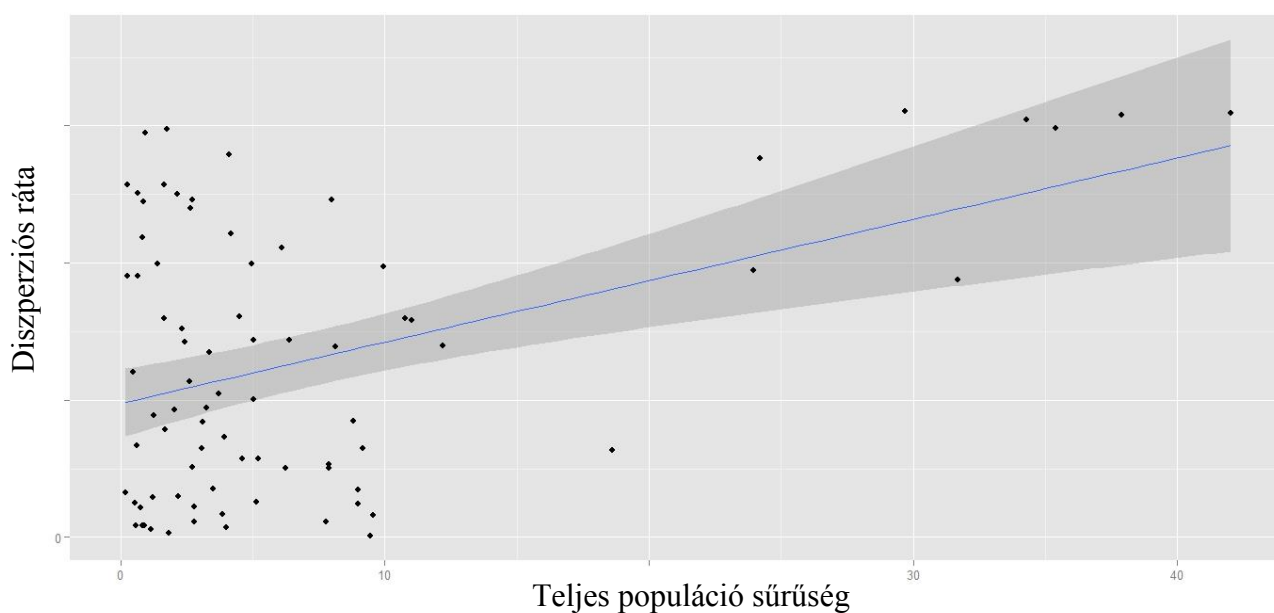
A 15 ismétlésből 10 esetben (67 %) az imágók kitüntetett repülési iránya és az uralkodó szélirány közötti korreláció szignifikáns volt. Ugyanakkor a kitüntetett repülési irány koncentrálttsága (tehát az átlagvektor hossza) és a szélirány koncentrálttsága között nem volt szignifikáns összefüggés (Pearson korreláció,  $p > 0,05$ ). Hasonlóképpen az imágók repülési irányának koncentrálttsága és a szélesség között sem volt szignifikáns korreláció (Pearson korreláció,  $p > 0,05$ ). A vizsgálat két éve alatt a jelölt, visszafogott imágók nem repültek nagyobb arányban a telepített 10x10 m nagyságú kukoricaparcellák irányába, mint a többi élőhely folt felé. Ez akkor sem változott, ha ivar szerint, majd kísérleti területek szerint elkülönítve vizsgáltam az adatokat. 1500 m távolság esetén a kitüntetett repülési irány és a kukoricatáblák elhelyezkedése között szignifikáns összefüggést találtam ( $t=2,4$ ;  $df=138$ ;  $p=0,015$ ). Kísérleti területek szerint külön választva az adatokat, az 1500 m távolságban lévő kukoricatáblák vonzó hatása az „A” (gyep) kísérleti területen a kísérlet teljes időtartama alatt, mindkét évben kimutatható volt. Ezzel szemben a „B” kísérleti területen (lucerna) a kukoricatáblák vonzó hatását befolyásolta a tény, hogy virágzó lucerna volt a kibocsátási ponttól számított 600 m távolságon belül. A jelölt, kibocsátott imágók szignifikánsan előnyben részesítették a lucernatáblának azt a részét, ami magfogási céllal nem volt kaszálva a lucerna és virágzott (300 m távolság;  $t=3,3$ ;  $df=62$ ;  $p=0,02$ ). volt. Napraforgó esetében nem tudtam szignifikáns vonzó



hatást kimutatni. A kisebb facsoportok, erdősávok helyezkedése és a hím imágók kitüntetett repülési iránya között szignifikáns összefüggést találtam.

### Diszperziós vizsgálat eredményei

A vizsgált 20 táblapár mindegyikében csapdáztam imágókat a vizsgálat négy hetes időtartama alatt, azaz mind a húsz első éves kukoricatáblába történt betelepedés. A diszperziós ráta átlaga  $38,7\% \pm 29,4$  volt (20 táblapár adata négy hetes vizsgálati időtartam alatt,  $n=80$ ). A megfigyelt diszperziós ráták tág határok között mozogtak, a legalacsonyabb érték  $0,4\%$ , míg a legmagasabb  $93,3\%$  volt. A diszperziós ráta átlaga 2007-ben szignifikánsan magasabb volt ( $49,6\% \pm 28,9$ ), mint 2006-ban ( $31,3\% \pm 27,6$ ) (független kétmintás  $t$  próba,  $p < 0,05$ ). Az átlagos populációsűrűség a két év és 20 táblapár vonatkozásában (azaz mind az önmaga után vetett-, mind az első éves kukoricatáblák adatait tekintve)  $7,0 \pm 9,4$  imágó/csapda/nap volt. Az önmaga után vetett kukoricatáblákban az átlagos populációsűrűség legalacsonyabb értéke  $0,1$  imágó/csapda/nap, a legmagasabb pedig  $15,1$  imágó/csapda/nap volt. Az első éves kukoricatáblákban ugyenezen szélsőértékek  $0,1$  és  $11,4$  imágó/csapda/nap voltak.



Összevont adatokra illesztett egytényezős regressziós modell, a sötétén satírozott terület a konfidencia intervallumot jelzi. Független változó: teljes populációsűrűség (X), függő változó: diszperziós ráta (Y). Modell egyenlete:  $Y=29,25+1,34X$ .  $R^2=0,1835$ ;  $p < 0,05$ ;  $df=78$ .  $conf_{95}$ :  $0,70-1,98$  (regressziós koefficiens);  $21,81-36,69$  (konstans).

Az egytényezős regressziós modell ábráján látható, hogy az adatok két csoportra különülnek, alacsony populációsűrűség (<8 imágó/csapda/nap) esetén nem sejthető semmilyen matematikai kapcsolat a diszperziós ráta és a populációsűrűség között, míg magas populációsűrűség esetén (>8 imágó/csapda/nap) erős lineáris pozitív korreláció rajzolódik ki. Emiatt az összevont adatokat két csoportra bontottam (alacsony vs magas populációsűrűség) és így folytattam a statisztikai elemzést.

Pearson korrelációanalízis (r), szignifikancia vizsgálattal (p) és Spearman rho értékekkel, az adatok két csoportra bontása után (alacsony populációsűrűség: <8 imágó/csapda/nap; magas populációsűrűség: >8 imágó/csapda/nap). A diszperziós vizsgálat Csongrád és Tolna megyékben, 2006-2007-ben történt.

	<b>Diszperziós ráta</b>		
<b>Alacsony populációsűrűség (&lt;8 imágó/csapda/nap)</b>	rho	r	df
Teljes populációsűrűség [imágó/csapda/nap]	-0,04	-0,09 (p=0.51)	58
Kukoricatáblák közötti távolság	0,25	+0,25 (p=0.05)	58
Naptári napok száma (Julian Days)	0,07	+0,11 (p=0.40)	58
Önmaga után vetett kukoricatábla fenológiai státusza	-0,33	-0,27 (p=0.27)	17
Első éves kukoricatábla fenológiai státusza	-0,84	-0,02 (p=0.91)	17
Relatív fenológiai állapot	0,58	+0,44 (p=0.06)	17
<b>Magas populációsűrűség (&gt;8 imágó/csapda/nap)</b>		r	df
Teljes populációsűrűség [imágó/csapda/nap]	<b>0,80</b>	<b>+0,84 (p&lt;0.05)</b>	18
Kukoricatáblák közötti távolság	-0,37	-0,31 (p=0.18)	18
Naptári napok száma (Julian Days)	0,07	0,00 (p=0.99)	18
Önmaga után vetett kukoricatábla fenológiai státusza	0,15	+0,22 (p=0.56)	7
Első éves kukoricatábla fenológiai státusza	0,07	+0,28 (p=0.48)	7
Relatív fenológiai állapot	0,09	+0,08 (p=0.84)	7

A regresszió analízis eredményeként négy olyan modell emelhető ki, amely a későbbiekben, a populációdinamikai modellben, felhasználásra kerül, ezek:

- (i) egytényezős lineáris regressziós modell magas populációsűrűség esetén, független változó: teljes populációsűrűség ( $R^2=70\%$ )
- (ii) kéttényezős lineáris regressziós modell magas populációsűrűség esetén, független változók: teljes populációsűrűség, kukoricatáblák közötti távolság ( $R^2=73\%$ )

- (iii) kéttényezős lineáris regressziós modell magas populációsűrűség esetén, független változók: teljes populációsűrűség, relatív fenológiai állapot ( $R^2=71\%$ )
- (iv) háromtényezős lineáris regressziós modell magas populációsűrűség esetén, független változók: teljes populációsűrűség, kukoricatáblák közötti távolság, relatív fenológiai állapot ( $R^2=78\%$ )

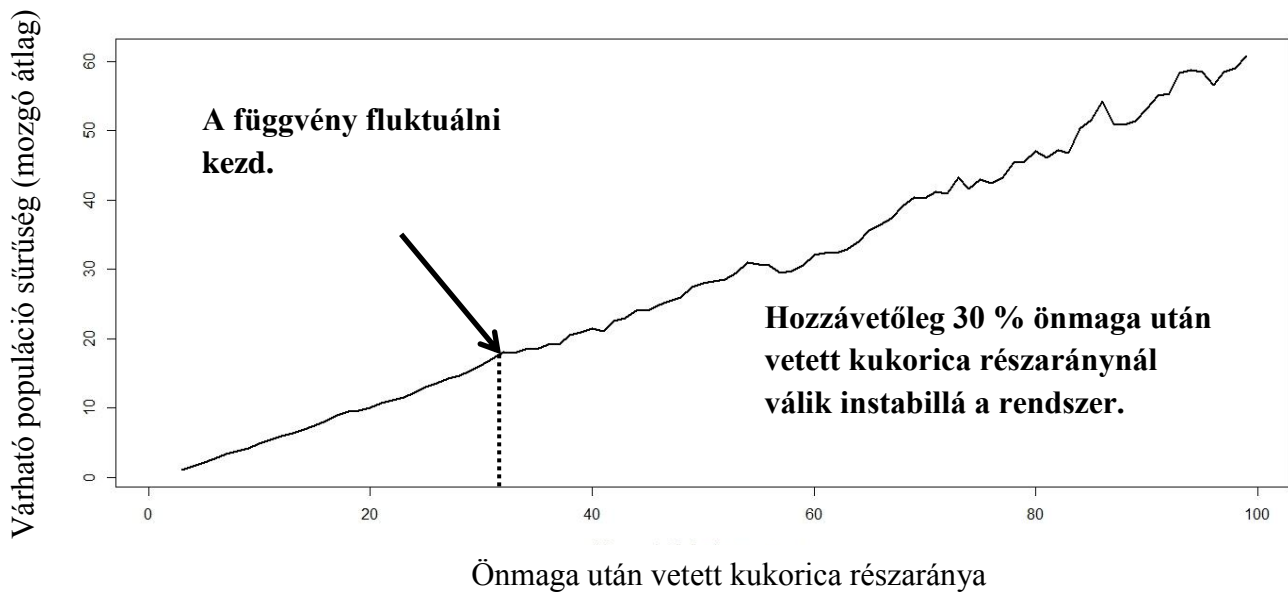
Ivararány tekintetében az önmaga után vetett kukoricatáblák és az első éves kukoricatáblák adatai nem különböztek szignifikánsan egymástól (önmaga után vetett kukoricatábla: 10.28 [hím/nőstény]; s.d.= 14.13; n=55; első éves kukoricatábla: 7.34 [hím/nőstény]; s.d.=12.30; n=55). A különbség évek szerint bontásban sem bizonyult szignifikánsnak.

### **Populációdinamikai modell eredményei**

A modell futtatási eredményei alapján az alábbi észrevételeket kell tenni:

- (i) Térség szinten az önmaga után vethető kukorica lehetséges felső határát minden esetben az önmaga után vetett kukoricatáblák várható populációsűrűsége határozza meg, az első éves kukoricatáblák várható populációsűrűségének nincs befolyásoló hatása.
- (ii) A kukoricatáblák egymáshoz viszonyított relatív fenológiai állapota térség szinten nem befolyásolja a várható populációsűrűséget sem önmaga után vetett-, sem első éves kukoricatáblákban, ebből adódóan nem befolyásolja a térség szinten önmaga után vethető kukorica lehetséges felső határát sem.
- (iii) Amennyiben a magas populációsűrűséghez tartozó diszperziós ráta egyetlen változótól, a teljes populációsűrűségtől függ, a térség szinten önmaga után vethető kukorica lehetséges felső határa a teljes kukoricatermő terület hozzávetőleg egyharmada (34 %).
- (iv) Amennyiben a magas populációsűrűséghez tartozó diszperziós ráta meghatározásába a teljes populációsűrűség mellett bevonjuk a kukoricatáblák közötti távolságot, mint második független változót, a modell kimeneti paramétere, tehát a várható populációsűrűség erre érzékenyen reagál: 34 %-ról 20 %-ra esik vissza a térség szinten önmaga után vethető kukorica lehetséges felső határa. Ez a csökkenés, a 34 %-ot 100 %-nak tekintve, 41%-os visszaesést jelent

A futtatási eredmények maximum értéke alapján származtatott mozgó átlag (n=3) alapján szembeötlő, hogy a függvény kezdeti szakaszán nincsen fluktuáció, a függvény egyenletesen vesz fel egyre magasabb értékeket. Ez a kiszámíthatóság hozzávetőleg 30 % önmaga után vetett kukorica részarányánál eltűnik. A függvény fluktuálni kezd, a rendszer instabillá válik.



### 3. Megvitatás

#### **Jelölés-kibocsátás-visszafogás vizsgálat eredményeinek megvitatása**

Jelölés-kibocsátás-visszafogás vizsgálatomban a nem kukorica élőhely foltokban (gyepterület és lucernatábla) jelölt, szabadon engedett amerikai kukoricabogár imágók egyes esetekben véletlenszerűen mozogtak, míg más esetekben egy vagy két kitüntetett repülési irányt követtek. Kukoricatáblák közötti véletlenszerű mozgásokról Naranjo (1994) számol be. A véletlenszerű mozgásokat kiváltó tényezőkről azonban keveset tudunk (Toepfer et al., 2006a). Spencer és mtsai (1999) szerint az imágók irányított mozgását két tényező magyarázza: részben a meteorológiai viszonyok (szélsébség és szélirány), részben az imágók válaszkészsége a hosszabb távolságokból érzékelt vonzó hatású ingerekre, kémiai szignálokra. Annak ellenére, a 15 ismétlésből 10 esetben a kitüntetett repülési irány és az uralkodó szélirány szignifikánsan korrelált, az imágók irányított repülései semmiképpen nem magyarázhatóak kizárólag a széliránnyal és szélsébséggel.

Vizsgálatomban bizonyítottam, hogy szabadföldi körülmények között, nem kukorica élőhely foltban, az amerikai kukoricabogár imágók mozgását jelentős mértékben lassítja a virágzó alternatív tápnövények jelenléte és ez a jelenség független az uralkodó meteorológiai viszonyoktól. Vonzó alternatív tápnövények jelenléte esetén az imágók, habár képesek repülésüket kukorica irányába tájolni, mégsem repülnek azonnal kukoricatáblák irányába. Mindez értékes információ a gyakorlat számára, amennyiben a kártevő, behurcolása során jellemzően nem kukorica élőhely foltban jelenik meg először (pl. repülőterek gyepterületei). A karantén védekezés részét képezheti tehát ilyen tömegközlekedési gócpontok köré alternatív tápnövények, mint „csapda-területek” telepítése.

#### **Diszperziós vizsgálat eredményeinek megvitatása**

A diszperziós ráta az egyes vizsgálati helyszínek-, valamint az évek vonatkozásában tág határok között változott. Eredményeim alapján arra következtettem, hogy az amerikai kukoricabogár diszperziós stratégiájában két egymástól jól elkülöníthető viselkedési mintázat van jelen. Létezik egy ún. „alapszintű diszperziós elem”, ami mind a vizsgált potenciálisan befolyásoló környezeti tényezőktől (fenológiai mutatók, megtett távolság, naptári napok száma), mind a populációdinamikai folyamatoktól (egyedsűrűség) független és hozzávetőleg az adott populáció egyharmadát jelenti. Az alapszintű diszperziós elem alacsony populációsűrűség esetén figyelhető meg és valószínűsíthető célja új táplálékforrások és peterakásra alkalmas helyek keresése.

Ezzel szemben magas populációsűrűség esetén a diszpergáló egyedek aránya lineárisan és szignifikánsan összefügg a teljes populációsűrűséggel. A diszperzió rövidebb időszakokra

vonatkoztatva akár a 90%-ot is meghaladhatja, az imágók fő diszperziós időszakának átlagát tekintve pedig közelíti a populáció felét. Magas populációsűrűség esetén az amerikai kukoricabogár várható diszperziós rátája regressziós modellekkel jól becsülhető. A populációsűrűség (*populációdinamikai, belső stressz faktor*) önmagában is megbízhatóan képes előre jelezni a várható diszperziós rátát, de a modell előrejelzési pontossága fokozható további magyarázó változók (*környezeti, külső stressz faktorok*) bevonásával. A különböző diszperziós stratégiák evolúciója régóta a viselkedésokológiai kutatások homlokterében áll. Mai ismereteink szerint a különböző diszperziós stratégiák kialakulását mind külső (élőhely eltartó képessége, minősége, lokális katasztrófák), mind belső (kaotikus populációdinamika, demográfiai sztohaszticitás) stressz faktorok befolyásolják (Comins et al., 1980; Cohen és Levin, 1991; McPeck és Holt, 1992; Olivieri et al., 1995; Holt és McPeck, 1996; Cadet et al., 2003). Vizsgálataim eredményeim szerint ezek az elméleti megközelítések relevánsak az amerikai kukoricabogár esetében is, ugyanakkor a külső, környezeti stressz jóval csekélyebb szerepet játszik az imágók térség szintű eloszlásában, mint a populációdinamikai (belső) stressz faktor.

Diszperziós vizsgálatomban a kukoricatáblák fenológiai állapota, mint környezeti stressz faktor, csak magas populációsűrűség esetén és csak több más változóval (populációsűrűség és távolság) együtt volt képes többszörös regressziós becslő modellben hozzájárulni a diszperziós ráta megbízható előre jelzéséhez. A kukoricatáblák közötti fenológiai különbségeknek szabadföldi körülmények között, az imágók térség szintű diszperziójának vonatkozásában, a szakirodalom alapján vártnál jóval csekélyebb a befolyásoló hatása.

A kukoricatáblák közötti átlagos távolság befolyásolja azt, hogy adott populáció hány százaléka fog sikeresen bevándorolni egy másik, adott távolságra lévő kukoricatáblába. A távolság és a diszperzió összefüggése azonban nem egyértelmű. Vizsgálatomban 1,38 km távolságig populáció szinten sem akadályozott a diszperzió. Ezzel együtt valószínűsíthető, GAM regressziós modell alapján, hogy a diszpergáló egyedeknek létezik egy preferált repülési távolság tartománya, ami 100 és 200 méter között van. Ezt a feltételezést erősíti az a tény is, hogy a vizsgált távolság tartomány leszűkítésével [40 m, 250 m] a diszperziós ráta varianciájának ~16%-át a kukoricatáblák közötti távolság önmagában is magyarázni tudta.

USA-ban végzett szabadföldi megfigyelések szerint a táblák között diszpergáló imágók többségében nőtények (Godfrey és Turpin, 1983; O'Neal et al., 1999; Levine et al., 2002; Schroeder et al., 2005; Spencer et al., 2005). Vizsgálatomban ugyan minden esetben magasabb volt a nőtények aránya az első éves táblákban (diszpergáló egyedek), mint az önmaga után vetett táblákban (nem diszpergáló egyedek), de ez a különbség egyetlen esetben sem volt szignifikáns.

## **A populációdinamikai modell eredményeinek megvitatása**

Megállapítottam, hogy ha a diszperziót leíró egyenlet kizárólag az egyedsűrűségtől függ, az önmaga után vethető kukorica javasolható felső határa hozzávetőleg a teljes kukoricatermő terület egyharmada, ami 3-4 %-kal magasabb a Szalai és mtsai (2014) által ismertett felső határnál. A kukoricatáblák közötti átlagos távolság, mint diszperziót befolyásoló tényező bevonása a modellbe, 14 %-os csökkenést eredményezett: az önmaga után vethető kukorica részaránya 34 %-ról 20 %-ra csökkent. Ez ugyan még mindig beleesik a Szalai és mtsai által definiált tartományba (20-30 %), de rámutat a tájszerkezeti mutató (kukoricatáblák közötti távolság), mint diszperziót meghatározó tényező fontosságára.

Rámutattam arra, miszerint a kukoricatáblák közötti fenológiai különbségeknek nincs szerepe az imágók térség szintű eloszlásában. Szabadföldi vizsgálati eredményeim szerint az imágók diszperziója részben állandó elem a rovar viselkedésökológiájában, részben sűrűségfüggő populációdinamikai jelenség. Valószínűbb tehát, hogy a kukoricatáblák közötti fenológiai különbségek hatása csak a diszpergáló egyedek preferenciájában nyilvánul meg. Azok az imágók, melyek diszperziós repülésbe kezdtek, az új élőhely folt keresése során feltehetően előnyben részesítik a nagyobb tápértéket jelentő, frissebb állapotú kukoricatáblákat, de a fenológiai különbségek önmagukban nem fogják imágókat diszperziós repülésre készíteni.

Az önmaga után vetett kukoricatáblák várható populációsűrűség értékeinek maximumára illesztett mozgó átlag függvény kezdeti szakaszában egyenletes növekedés jellemző. Az önmaga után vetett kukorica hozzávetőleg egyharmados részarányánál a függvény elkezdett fluktuálni és ez a fluktuáció az önmaga után vetett kukorica részarányának a növekedésével egyre nagyobb amplitúdójú lett. Ez a jelenség arra hívja fel a figyelmet, hogy a tájszerkezet mozaikossága, mint puffer rendszer, képes telítődni. A telítődési pont alatt a bemeneti paraméterek szélsőséges kombinációit is képes a rendszer egésze „kisimítani”, mintegy puffer rendszerként eltüntetni, ez a képesség azonban egy ponton túl már nem működik. Természetesen ez nem jelenti azt, hogy a telítődési pontnál magasabbra ne lehetne emelni az önmaga után vetett kukorica arányát. Mindössze annyit jelent, hogy a telítődési pont felett a bemeneti paraméterek szélsőséges kombinációját már nem lesz képes a rendszer ellensúlyozni. Ezzel együtt az önmaga után vetett kukorica javasolható felső határa 30 % fölé is mehet, amennyiben a gazdasági kárküszöb szintet magasabb értékben állapítjuk meg (például öntözéses kukoricatermesztés esetén).

## 5. Következtetések, javaslatok

Munkám során megállapítottam, hogy az amerikai kukoricabogár imágók képesek repülésüket aktívan kukoricatáblák felé tájolni. Nem kukorica növényállományból azonban nem repülnek azonnal kukoricatáblák irányába, ha alternatív tápnövény (vizsgálatomban virágzó lucerna) van a közelben. Az alternatív tápnövények vonzó hatása tehát jelentős, ezért indokolt lenne potenciális inváziós gócpontok környezetében (pl repülőterek) lucernát telepíteni a karantén intézkedések részeként, ahol ezen intézkedések még érvényesek.

Kimutattam, hogy az amerikai kukoricabogár imágók kukoricatáblák közötti diszperziója részben stressz faktoroktól független és állandó viselkedési elem a kártevő biológiájában. Magas populációsűrűség esetén a diszperzió egyedsűrűség függővé válik. Kimutattam, hogy a kukoricatáblák közötti fenológiai különbségek hatása önmagában nem magyarázza a diszperziót. A fenológiai különbségeknek kimutathatóan szerepe van a diszperziós ráta alakulásában, de csak egyéb tényezőkkel kombinációban. Szabadföldi körülmények között, Kárpát medencei vizsgálatban, a fenológiai elem, mint diszperziót befolyásoló stressz tényező hatása a szakirodalom alapján vártnál jóval csekélyebb jelentőséggel bír. A kukoricatáblák közötti átlagos távolság és a diszperziós ráta között szignifikáns kapcsolat rajzolódott ki. A kapcsolat matematikai jellege az általam vizsgált távolság tartományban (1,38km) nem lineáris. 100 és 200 méter között van egy preferált repülési távolság tartomány, de a diszperzió, és ebből adódóan az első éves kukoricatáblákba történő betelepülés, populáció szinten sem akadály a vizsgálatban szereplő 1,38km távolságig. A kártevő diszperziós viselkedésből adódóan az amerikai kukoricabogár elleni térség szintű védekezés része lehet a vetésváltási arány szabályozása. Az első éves és önmaga után vetett kukoricatáblák térség szintű mozaikosságának befolyásolása (az önmaga után visszavethető kukorica arányának előírásával) az integrált növényvédelem eszköze lehet.

Populációdinamikai modellben kimutattam, hogy a kukoricatáblák közötti fenológiai különbségeknek a térség szinten önmaga után vethető kukorica javasolható felső határára nincs hatása. Megállapítottam, hogy a tájszerkezet mozaikosságának (első éves vs. önmaga után vetett kukoricatáblák) van egy „puffer” hatása, ami az önmaga után vetett kukorica egyharmados részarányánál telítődik. A telítődés jelensége független a gazdasági kárkűszöb szinttől, tehát egyharmad fölé is lehet emelni az önmaga után vetett kukorica arányát térség szinten (pl öntözéses kukoricatermesztés esetén). Ekkor azonban a tájszerkezet mozaikossága már nem lesz képes a kártevő egyedszám sűrűségét pufferelni, tehát a rendszer egésze kitettebb lesz az egyes évjáratok eltérő populáció sűrűségének.



## 6. Új tudományos eredmények

- (i) Megállapítottam, hogy az amerikai kukoricabogár imágók szabadföldi körülmények között képesek repülésüket aktív módon kukoricatáblák felé tájolni, ez a hatás 1500 m távolságig igazolható.
- (ii) Kimutattam, hogy a nem kukorica élőhely foltban repülő amerikai kukoricabogár imágók nem irányítják repülésüket azonnal kukoricatáblák felé abban az esetben, ha helyben számukra vonzó alternatív tápnövény (virágzó lucerna) elérhető.
- (iii) Az amerikai kukoricabogár repülési viselkedésében két diszperziós viselkedési mintázat különíthető el: alacsony populációsűrűség esetén egy ún. alapszintű diszperziós elem figyelhető meg, ami stressz faktoroktól független viselkedés, nem függ sem a vizsgált környezeti-, sem az ökológiai tényezőktől. Magas populációsűrűség esetén a diszperzió erősen egyedsűrűség-függővé válik.
- (iv) A kukoricatáblák fenológiai stádiuma önálló tényezőként nem magyarázza a diszperziót. A kukoricatáblák közötti fenológiai különbségek csak magas populációsűrűség esetén, és csak egyéb változókkal (populációsűrűség, kukoricatáblák közötti távolság) szinergizmusban mutatnak összefüggést a diszperzióval.
- (v) A diszperzió távolságfüggése statisztikailag igazolható. A kapcsolat matematikai jellege nem lineáris. A diszpergáló imágóknak 100 és 200 méter között van egy preferált repülési távolság tartománya, ugyanakkor a kukoricatáblák közötti távolság a vizsgálatban szereplő 1380 méterig, nem akadály a diszpergáló imágók számára.
- (vi) Populációdinamikai modellben bizonyítottam, hogy térség szinten a kukoricatáblák fenológiai állapota az önmaga után vetett kukorica arányának javasolható felső határára nincs hatással.
- (vii) Az első éves és önmaga után vetett kukoricatáblák térség szintű mozaikosságából adódó tájszerkezet „puffer hatása” az önmaga után vetett kukorica hozzávetőleg egyharmados részarányánál telítődik. A telítődés jelensége független attól, hogy milyen populációsűrűséget tekintünk gazdasági kárküszöb szintnek. A telítődési pont felett a populációsűrűséget leíró függvény átlép az egyenletesen növekvő szakaszából a fluktuáló fázisába, ami miatt a várható populációsűrűséget már nem lehet megbízhatóan előre jelezni.

## Az értekezés témakörében megjelent publikációk

### Idegen nyelvű, lektorált, impakt faktoros közlemény:

1. **N. Levay**, I. Terpo, J. Kiss, S. Toepfer (2014): Quantifying inter-field movements of the western corn rootworm (*Diabrotica virgifera virgifera* LeConte) – A Central European field study. *Cereal Research Communications*, 42(03):1-11.
2. L. J. Meinke, T. W. Sappington, D. W. Onstad, T. Guillemaud, N. J. Miller, J. Komáromi, **N. Levay**, L. Furlan, J. Kiss, F. Toth (2009): Western corn rootworm (*Diabrotica virgifera virgifera* LeConte) population dynamics. *Agricultural and Forest Entomology*, 11:29-46.
3. S. Toepfer, **N. Levay**, J. Kiss (2006). Adult movements of newly introduced alien *Diabrotica virgifera virgifera* (Coleoptera: Chrysomelidae) from non-host habitats. *Bulletin of entomological research*, 96(04), 327-335.
4. S. Toepfer, **N. Levay**, J. Kiss, (2005), Suitability of different fluorescent powders for mass-marking the Chrysomelid, *Diabrotica virgifera virgifera* LeConte. *Journal of Applied Entomology*, 129(8), 456-464.
5. L. R. Carrasco, T. D. Harwood, S. Toepfer, A. MacLeod, **N. Levay**, J. Kiss, Knight, J. D. (2010). Dispersal kernels of the invasive alien western corn rootworm and the effectiveness of buffer zones in eradication programmes in Europe. *Annals of Applied Biology*, 156(1), 63-77.

### Konferencia kiadvány (proceedings):

Toepfer S., **Levay**, N., Kiss, J (2005) Initial movements of newly introduced alien *Diabrotica virgifera virgifera* LeConte (Coleoptera: Chrysomelidae) towards suitable habitats. Proceedings of the Conference: Introduction and Spread of Invasive Species, Berlin, Germany (9 - 11 June 2005)

### Lektorált magyar nyelvű közlemény:

Szalai M., **Lévay** N., Papp Komáromi J., Toepfer S., Kiss J. (2010): Az amerikai kukoricabogár populációjának térség szintű szabályozása: egy sejtautomata modell és szimuláció, *Növényvédelem*, 49 (9): 417-423.

### Nem lektorált magyar nyelvű könyvfejezet:

**Lévay** N. (2012): Kockázatértékelésen alapuló növényvédelmi technológiák. In: Eredics A., Lévay N., Mile L., Terpó I., Tóth Á., Zsigó Gy.: Növényvédelmi alapismeretek – Oktatási segédlet a növényvédelmi alaptanfolyamhoz. Kiadó: Magyar Növényvédő Mérnöki és Növényorvosi Kamara, ISBN 978-963-08-5802-1