

**SZENT ISTVÁN EGYETEM**

**AZ AMERIKAI KUKORICABOGÁR (*DIABROTICA VIRGIFERA*  
*VIRGIFERA* LECONTE) POPULÁCIÓDINAMIKÁJÁNAK TÉRSÉG SZINTŰ  
MODELLEZÉSE**

**Doktori (PhD.) értekezés tézisei**

**SZALAI MÁRK**

**GÖDÖLLŐ**

**2012**

## **A doktori iskola**

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

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

**vezetője:** **Dr. Heszky László**  
egyetemi tanár, az MTA rendes tagja  
SZIE, Mezőgazdaság- és Környezettudományi Kar  
Genetika és Biotechnológiai Intézet

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

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

.....  
Dr. Heszky László

iskolavezető

.....  
Dr. Kiss József

témavezető

.....  
Dr. Stefan Toepfer

témavezető

## 1. Bevezetés és célkitűzések

Az amerikai kukoricabogár (*Diabrotica virgifera virgifera* LeConte) lárváinak gyökérvédekező növénydőlést és termésvesztést eredményezhet a kukoricában (Chiang, 1973). A kártevőt több alkalommal behurcolták Észak-Amerikából Európába, becslések szerint az 1980-as évek elejétől az ezredfordulóig (Miller et al., 2005; Szalai et al., 2011b). A vetésváltás hatékony és elterjedt védekezési forma lett a kártevő ellen Európában is (Kiss et al., 2005). Viszont a gazdálkodók nem szívesen alkalmazzák a vetésváltást minden évben, minden egyes kukoricatáblán, mert a kukorica jól jövedelmező szántóföldi kultúra (Fall & Wessler, 2008; Ripka, 2008). A vetésváltáson alapuló védekezés kérdése ugyanakkor nem egyszerűsíthető le a populáció felszaporodásának rendszeres megtörésére, mert egy kukoricatábla kártevőnépességét a felszaporodáson kívül az imágók diszperziója is nagyban befolyásolja. Tehát az integrált növényvédelemben használható vetésváltási stratégiák tanulmányozását térség szinten szükséges elvégezni. Ám kísérlet ilyen nagy léptékben nem állítható be. Itt nemcsak a mai magyarországi viszonyokra gondolok, ez sehol sem lenne reális elvárás. Ezért modellekkel szükséges tanulmányozni és tesztelni az integrált növényvédelemben használható vetésváltási stratégiákat.

Az első szimulációs modellt, mely az amerikai kukoricabogár mellett a másik jelentős *Diabrotica* nemzetségbe tartozó kártevő a *Diabrotica barberi* (illetve, a tanulmányban még *D. longicornis*) populációdinamikáját is modellezte 1976 őszén publikálták (Mooney & Turpin, 1976). Táblaszintű előrejelzést akartak adni a két faj kártételére, mert egyes becslések szerint az akkor használt talajinszekticidek jelentős hányada (akár 80%-a is) felesleges volt, úgy hogy egy önmaga után vetett kukoricatáblát modelleztek, az egyes életszakaszok hőmérsékletfüggését szimulálták. Az imágódiszperziót gyakorlatilag egy plusz mortalitási faktorként vették figyelembe a vizsgált táblán. Hasonló felépítésű Hein & Tollefson (1987) és Elliott & Hein (1991) modellje is, ahol szintén egy önmaga után vetett kukoricatáblán szimulálták az amerikai kukoricabogár populációdinamikáját. Később megjelentek a populációgenetikai modellek. Először a vetésváltás tolerancia megjelenésével a toleranciát hordozó allélok vizsgálatára koncentrált (Onstad et al., 2001b) modellje. Majd a kukoricabogár rezisztens Bt kukorica megjelenésével számos modell a Bt toxinra rezisztens kukoricabogár populáció kialakulását, az allélgyakoróságok változását szimulálta (Crowder & Onstad, 2005; Crowder et al., 2005; Onstad et al., 2001a; Onstad & Meinke, 2010; Pan et al., 2011). Ezek között találunk napi és éves léptékű modelleket is. Érdekes pár a Crowder et al. (2005) és Crowder és Onstad (2005) munkája, amely ugyanarra a problémára egy napi és egy éves léptékű szimulációs modell, és az eredmények szerint nem okozott jelentős különbség a kétféle időlépték a vizsgált paraméterekben. Onstad & Meinke (2010) modellje Crowder és Onstad (2005) modelljének kiterjesztése olyan Bt kukoricára, mely egyszerre két, kukoricabogár ellen hatásos, toxint termel. Az eddig idézett modellek valójában nem térben explicit (esetleg kvázi-explicit), ami egy kukoricatábla esetén jogos egyszerűsítés, de nagyobb léptékben csak nagyon egyszerű tájszerkezet modellezhető így. Durrett & Levin (1994) alapján ilyenkor is érdemes lehet térben explicit modellek használata. Bonyolultabb tájszerkezet esetén pedig mindenképpen ilyen modellszerkezet javasolható.

Térben explicit modellek is megjelentek, jellemzően nagyon egyszerű tájszerkezettel, mivel mintának az USA kukoricaövezetét vették figyelembe. Storer (2003) rácsmodellje is a Bt kukoricára rezisztens populáció esetleges megjelenését vizsgálta egy viszonylag kicsi, 10x10-es,

tóruszba zárt rácson. A napi időléptékű modellben az imágók táblák közötti mozgása csak egy bizonyos határon belül volt engedélyezett. Hasonló Pan et al. (2011) munkája, amely két almodellt tartalmaz: egy éves időléptékűt a lárvastádiumokra és egy napi időléptékűt az imágókra. Egy önmaga után vetett kukoricatáblát modelleztek, de az nem volt homogén. A rezisztencia menedzsment (IRM) különböző lehetőségeinek megfelelően osztották fel a táblát kisebb részekre, melyekből alkották a rácst. Az imágók táblán belüli mozgását nagyon részletesen modellezték. Az allélgyakoriságok mellett a kártevő abundanciája is megjelenik a modellben, de ez is alapvetően a Bt rezisztencia megjelenését szimulálja. O'Rourke & Jones (2011) modellje az amerikai kukoricabogár mellett a kukoricamolylet (*Ostrinia nubilalis*), populációdinamikáját vizsgálja az agrártájon a tájszerkezet diverzitásának függvényében. Az agrártáj szimulálására egy 128x128 rácst használtak, mely nem volt tóruszba zárva. A kártevők logisztikus felszaporodását feltételezték a kukoricatáblákon. A kukoricabogár szempontjából fontos vetésváltás teljesen véletlenszerű volt a rácson, azaz mindig 50% volt az aránya. Így a vetésváltás hatásának vizsgálatára közvetlenül nem alkalmazható.

Sok szimulációs modell foglalkozik a kártevő folyamatos terjedésével. Először a vetésváltás toleráns populáció feltételezett terjedését szimulálták az USA néhány államában (Onstad et al., 1999). Később, az európai megjelenés után, elkezdtek modellezni a kártevő elterjedésének potenciális területét (Edwards et al., 1998), és azt, hogy milyen hamar jelenik meg az egyes kukoricatermesztő területeken. (Baufeld & Enzian (2001) modellje a terjedés sebességét vizsgálta éves időléptékkel. A védekezési módszerek között a vetésváltást is megjelent a modellben: nagyobb vetésváltási arány csökkentette a terjedés sebességét. Hemerik et al. (2004) munkájukban azt becsülték, hogy Európa mely területein várható a kártevő megjelenése a hőmérsékleti adatok alapján. És azt vizsgálták, hogy az akkor aktuálisan már fertőzött területekről mikorra érkezik Hollandiába a kártevő. Vizsgálták a kukoricabogár elterjedésének változását a globális klímaváltozás hatásainak elemzésekor (Aragon et al., 2010; Aragon & Lobo, 2012). Az európai munkákban a terjedés előrejelzése mellett leginkább az a célkitűzés található meg, hogy a kártevő populációjának felszámolására (eradication), vagy a terjedés megakadályozására (containment measures) alkotott aktuális szabályozásokat modellezzék. Ezek rendszerint nem a már megtelepedett kukoricabogár populációkat vizsgálják. (Baufeld & Enzian, 2001; Carrasco et al., 2012; Carrasco et al., 2010a; Carrasco et al., 2010b; Carrasco et al., 2010c; Krügener et al., 2011). Carrasco et al. (2012) a gazdálkodók döntéseit is modellezte, amit befolyásolt a gazdák saját tapasztalata, valamint a szomszédok döntései és azok sikere. Mivel ez a kártevő jövőbeli elterjedést modellezi, ezért más ismeretek (meliorációs tapasztalatok) elterjedését vette alapul. Közép-Európában, ahol a kártevő már megtelepedett, azaz a gazdálkodóknak már van a kártevőről ismeretük, más is lehet a döntéshozatal folyamata.

Az utóbbi 36 évben sok szimulációs modellt alkottak az amerikai kukoricabogár okozta problémákra, de egyikük sem alkalmazható a jelenlegi közép-európai helyzetre. Ezért megalkottam egy térben explicit sejtautomata-szerű rácsmo­dellt, ami térség szinten követi a kukoricabogár populációdinamikáját a kukoricatáblákban, így a különböző vetésváltási stratégiák hatása térség szinten vizsgálható vele. A modell szerkezetének megalkotása mellett célkitűzésem volt, hogy azt valós értékekkel tudjam futtatni. Ezért az irodalmi adatok gyűjtése mellett két szabadföldi kísérlet eredményeit is beépítettem a modellbe a fő biológiai paramétereknek – a generációnkénti szaporodásnak és az imágók diszperziójának – megfelelően

## **2. Anyag és Módszer**

### **2.1. Az amerikai kukoricabogár szaporodási rátájának meghatározása**

Ahhoz, hogy a kukoricabogár populációdinamikáját modellezni tudjuk, ismernünk kell a szaporodási rátáját. Ezért meghatároztuk a kártevő éves, azaz az egy generációra eső, szaporodási rátáját egy dél-magyarországi és egy kelet-horvátországi izolált kukoricatáblán, négy, illetve három évig tartó felvételezéssel. Ehhez az imágópopulációkat mintáztuk, a talajból előjövő imágókat, táblánként 90 sátorhálós csapdával. Az előjövő imágók sűrűsége 1,3 és 30,7 db/m<sup>2</sup> között változott a tábla azon részein, ahol önmaga után vetett kukorica volt, míg az ezekkel közvetlenül szomszédos elsőéves kukorica táblarészekén 0,3 és 5,1 db/m<sup>2</sup> között volt. A kukoricabogár szaporodási rátája 0,5 és 13 között volt a két helyszínen a különböző években, az átlagos szaporodási ráta pedig 4 körül volt. A meghatározott szaporodási értéket felhasználtuk, hogy kiszámítsuk a faj első európai észlelése előtt mennyi idővel jelenhetett meg a kártevő kontinensünkön. Eszerint Európába 1979 és 1984 között került, azaz 8-13 évvel azelőtt, hogy egy Belgrád melletti kukoricatáblában 1992-ben először megtalálták a kukoricabogár lárváinak kártételét és az imágókat.

### **2. 2. Az amerikai kukoricabogár betelepülése az elsőéves kukoricatáblákba a szomszédos fertőzött önmaga után vetett kukoricatáblákból**

Az amerikai kukoricabogár lárvái nagyon szorosan kötődnek a kukorica gyökeréhez, mint táplálékforráshoz. A kártevő imágói jó repülő, így keresnek pollenforrást táplálékul, vagy így települnek be új kukoricatáblákba. Az amerikai kukoricabogár betelepülését vizsgáltam az elsőéves kukoricatáblákba a velük határos, fertőzött, önmaga után vetett kukoricatáblákból 2008 és 2010 között, Tolna megyében. Sárga ragacs slappal (Pherocon AM) vizsgáltam a kukoricabogár populációit minden évben 6 elsőéves kukoricatáblában és a velük közvetlenül szomszédos 7-12 önmaga után vetett kukoricatáblában. A felvételezéseket júliusban és augusztusban, 7 héten keresztül végeztem. A vizsgált önmaga után vetett táblák fertőzöttségi szintje több mint 60%-ban magyarázta az elsőéves kukoricában elhelyezett csapdák fogásait. Ez arra utal, hogy a közvetlenül határos önmaga után vetett kukoricatáblákból érkezik az elsőéves kukoricába a kártevő imágók túlnyomó többsége, és ehhez képest jóval kisebb jelentőségű a távolabbról érkező imágók hatása. Azaz a térség szintű átlagos fertőzöttségi szint kevéssé befolyásolja a betelepülést. Ezt az eredményt a modellemben az imágópopulációk hatósugarának meghatározásakor használtam fel.

### **2.3. A szimulációs modell szerkezete**

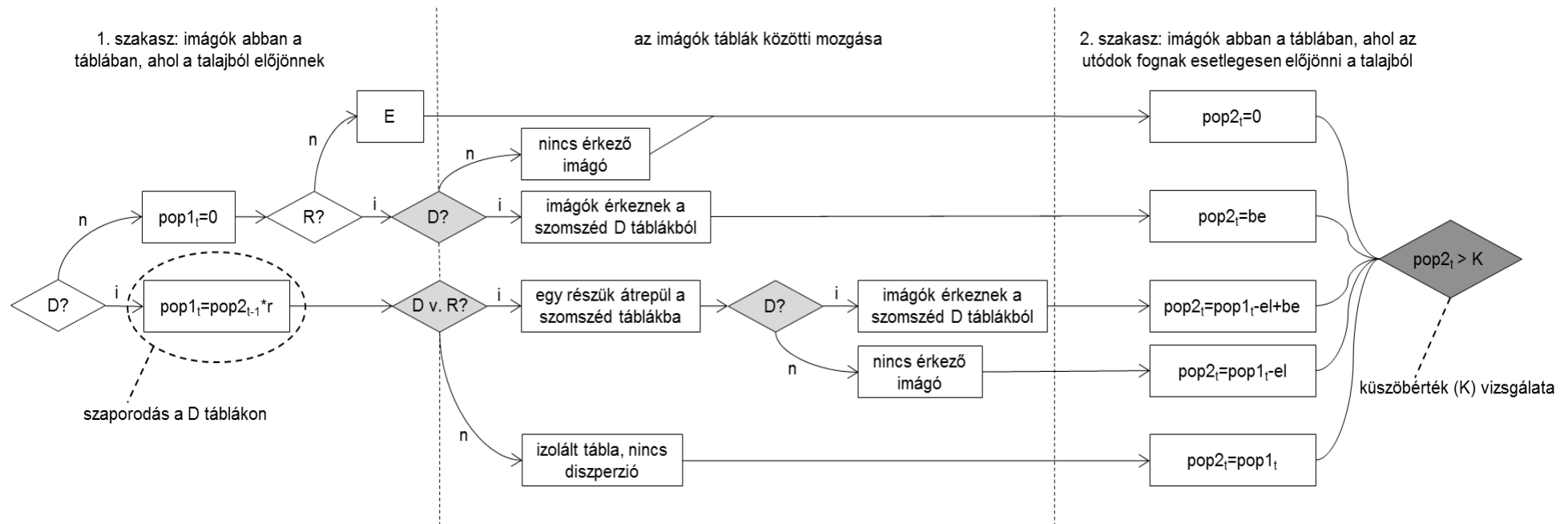
A modellezett mezőgazdasági tájat egy négyzetrácsra egyszerűsítettem, ahol az egyforma négyzetek a mezőgazdasági táblák, mint cellák egy sejtautomata szerű kölcsönható részecske rendszerben (interacting particle system, IPS, (Czárán, 1998)). Ezek a táblák lehetnek: elsőéves kukoricatáblák

(R), önmaga után vetett kukoricatáblák (D) és olyan táblák, ahol nem kukoricát termesztene (E). Ezt a rácsszerkezetet tóruszba zártam, hogy így vizsgáltam a kukoricabogár populációdinamikáját a következő feltevések szerint:

- I. Az amerikai kukoricabogár egy invazív faj Európában, itt nincs jelentős specialista természetes ellensége. Így a modell csak e faj populációdinamikáját szimulálja a rácson a cellák állapotának (R-D-E) függvényében, ami a kukorica populációdinamikája
- II. Az alkalmazott rácsszerkezeten mindegyik tábla azonos méretű, így a kártevő populációjának jellemzésére a populációsűrűség a darabszámhoz hasonlóan használható.
- III. A modellben az amerikai kukoricabogarak csak imágóként vannak jelen, nem modelleztem külön a kártevő kifejlődését. Az imágók diszperzióját szimuláltam az időben diszkrét szakaszokkal, valamint a szaporodási ráta is a teljes életsiklusra vonatkozik, azaz értelmezhető az imágókortól az imágókorig. Ennek megfelelően a populációsűrűség mértékegysége mindig az imágó/kukorica volt.
- IV. Az imágók diszperziója a modellben leegyszerűsödik. Ez a szezonon belüli összesítés az adott egyedekre (az imágópopuláció egy részére), ami a valóságban több tábla meglátogatása is lehet. Így a modellben a csak kukoricatáblák között mozognak az imágók.
- V. A szimulált időtartam (a futtatások hossza) minden esetben 10 év volt, mert ennyi ideig állandónak vehetők a modellezett táj szerkezetét meghatározó tényezők (pl. kukorica részaránya a teljes területen, elsőéves kukorica aránya).

A fenti feltevéseket figyelembe véve a következő szimulációs lépések zajlanak a modellben:

1. A táblák kezdeti állapotának sorsolása, a kukorica és azon belül az önmaga után vetett kukorica arányának megfelelően. Ez a modellezett terület kezdőtérképe.
2. A kezdőévet követő évek térképei: minden táblához ekkor rendeltem a vetési sorrendet, úgy hogy a különböző táblák aránya állandó volt az egymást követő években.
3. A kezdőtérképre, az önmaga után vetett kukoricatáblákba a kezdeti populáció elhelyezése.
4. A kártevő populációdinamikája (1. ábra) a meglévő térképeken. A kukoricabogár egynemzedékes, a modell időléptéke az év, melyet két szakaszra osztottam föl: az első szakaszban az imágók abban a kukoricatáblában tartózkodtak, amelynek talajából előjöttek, majd következik az imágók diszperziója és a második szakaszban megjelennek abban a kukoricatáblában, ahová a nőstények tojásaikat rakják, azaz ahol az utódaik a következő év első szakaszában imágóként megjelennek. A következő három alpont a szimulált évek szerint ismétlődött.
  - a. A kukoricabogár imágók egy része elhagyja azt az önmaga után vetett kukoricatáblát, melynek talajából előjött, és átrepül más kukoricatáblákba.
  - b. A kukoricatáblákban a kukoricabogár imágók populációsűrűségének összevetése egy küszöbértékkel.
  - c. A következő évben, az önmaga után vetett kukoricatáblákban, a kártevő szaporodása. Az egy nőstényre jutó lerakott tojások számát, a különböző életszakaszok mortalitását és az ivararányt együtt tartalmazza az itt használt teljes életsiklusra vonatkozó szaporodási ráta. Ahol viszont vetésváltást alkalmaztak, azaz a más kultúrákban, nem jelenik meg a következő generáció. Tehát a populáció ezen része elpusztul a vetésváltás miatt.



**1. ábra** Az amerikai kukoricabogár populációdinamikáját tartalmazó modellrészlet folyamatábrája, melyet minden évben ( $t$ ), minden egyes táblára elvégez a modell. A csúcsokon álló rombuszok eldöntendő kérdések, melyekre igen (i) vagy nem (n) válasz esetén különböző irányban folytatódik az algoritmus. A fehér színű döntési kérdések az adott tábla állapotára (elsőéves- (R), önmaga után vetett kukorica (D) vagy nem kukorica (E)), a világosszürke döntések a szomszédságban található táblák állapotára vonatkoznak. A sötétszürke döntés pedig az adott tábla populációsűrűségére vonatkozik. A 'pop1' az év első szakaszának populációsűrűségét, a 'pop2' az év második szakaszának populációsűrűségét, az 'r' a teljes életciklusra vonatkozó szaporodási rátát, az 'el' a táblákat elhagyó, a 'be' a táblába megérkező imágókat jelöli

### 2.3.1 A modell paramétere (output és inputok)

A modell kimenete (output): azon kukoricatáblák aránya az összes kukoricatáblához viszonyítva, ahol a beállított küszöbértéket meghaladta a kukoricabogár imágók populációsűrűség. Előzetes futtatásokat végeztem a 20x20 - 200x200 rácsméret tartományban, és vizsgáltam a kimenet standard hibáját. A 100x100-as rács környezetében már elég kicsi volt a standard hiba, így ezt a méretet választottam az összes futtatáshoz. Egy táblát 15 ha-osnak feltételezve a modellezett terület így 1500 km<sup>2</sup>-nek felel meg. A modell kimenetet vizsgáltam a következő változtatható bemeneti paraméterek (inputok) függvényében, az 1. táblázatbeli értékeket használtam a futtatások során.

**Átlagos táblaméret:** A rácsszerkezetben mindegyik cella (tábla) pontosan egyforma méretű négyzet, így a méretük a szimulált agrártáj átlagos táblaméretét jelenti.

**Kukorica részaránya (a):** A kukorica vetésterülete a rács teljes területén, ami a modellezett agrártáj. A rácson lévő egyforma méretű táblák miatt ez területre és darabszámra vonatkoztatva is ugyanaz az érték.

**Vetésváltási arány:** Az elsőéves kukorica és az összes kukorica aránya. Értéke  $1-b$ , ahol  $b$  az önmaga után vetett kukorica részaránya. A lenti levezetésekben rendszerint  $b$ -t használom.

**Gazdálkodók vetésváltási preferenciája (Q):** Ez a faktor azt mutatja meg, hogy mennyire gyakrabban alkalmazzák a vetésváltást az elsőéves, mint az önmaga után vetett kukoricatáblákon. Személyes megfigyeléseim alapján és szakemberekkel konzultálva azt szűrtem le, hogy különböző utakat követnek a gazdálkodók, mikor a vetésváltásról döntenek. Előfordul, hogy egy területen gyakorlatilag az összes táblán két év kukorica után végeztek vetésváltást. Azaz szinte sosem az elsőéves táblákon váltják a kukoricát. Míg más területen megfigyelhető, hogy néhány táblán sok évig kukoricát termesztnek és emellett a táblák nagy részén viszont 100%-os a vetésváltás. Tehát itt sokkal gyakoribb az elsőéves kukoricákon a vetésváltás, mint ahol jellemzően két egymást követő évig termesztik a kukoricát. Mivel a modellezet agrártájban ez egy egységes paraméter, így az egyes gazdálkodók átlagát jellemzi, azaz a fenti viselkedések közötti teljes spektrum előfordulhat annak megfelelően, hogy mekkora területen milyen stratégiát folytatnak a gazdálkodók.

**Vetésváltási szabályozás:** Az a szabályozás, hogy egy adott táblán maximum 3, 4 vagy 5 évig lehet az egymás utáni években kukoricát termesztetni. Ezeket mint lehetséges növényegészségügyi és integrált növényvédelmi szabályozásokat vettem a modellbe. A legszigorúbbat (a „maximum 3 év” esetet) a most aktuális magyarországi szabályozás alapján, az 50/2008. (IV. 24.) FVM rendelet szerint alkalmaztam. Tehát négy szintje van ennek a paraméternek (szigorodó sorrendben): nincs ilyen szabályozás, maximum 5, 4 vagy 3 évig lehet az egymás utáni években kukoricát termesztetni egy táblán. A paraméter mindegyik szintje azt jelenti, hogy a teljes rácson az a szabály érvényesül.

**A kukoricabogár szaporodási rátája:** A modellben a kukoricabogár szaporodását az önmaga után vetett kukoricatáblákon a teljes életciklusra vonatkozó szaporodási ráta segítségével szimuláltam. Ez a kukoricabogár biológiája miatt az éves szaporodási ráta, amely tartalmazza az ivararányt, az egy nőstényre jutó tojások számát és a különböző életszakaszok mortalitását. A kukoricabogár szaporodási rátája valószínűleg sűrűségfüggő, de ez pontosan még nem ismert (Szalai et al., 2011b). Ezért egyszerűen egy 'Z' alakú sűrűségfüggést vezettem be, melyet 4 paraméter határoz meg: szaporodási ráta alacsony populációsűrűségnél, szaporodási ráta magas populációsűrűségnél, a



szaporodási ráta sűrűségfüggésének alsó és felső határa a kártevő populációsűrűségében. Az alacsony-, és magas populációsűrűséget itt abban az értelemben használom, hogy a szaporodási ráta sűrűségfüggése milyen határok között fordul elő. A gyakorlat számára nem ezek a jellemző határok. Minden évben egy évjáratnak megfelelő korrekciós tényezőt sorsol a modell annak megfelelően, hogy az átlagos szaporodási rátához képest abban az évben magas, közepes vagy alacsony szaporodásra lehet számítani. A sorsolási tartomány szélessége, azaz az évjáratthatás intenzitása is egy bemeneti változó. Emellett az egyes táblák közötti különbség szimulálására még egy normális eloszlású változót sorsol a modell. A normális eloszlás szórása, azaz az egyes táblák közötti változékonyság is bemeneti változó.

**Azon kukoricabogár imágók aránya, melyek elhagyják azt az önmaga után vetett (D) kukoricatáblát, melynek talajából előjöttek:** Ez a tényező sűrűségfüggő (Levay et al., 2008): nagyobb populációsűrűség esetén nagyobb ez az arány. A sűrűségfüggés alakja azonban pontosan nem ismert. Ezért a szaporodási rátához hasonlóan egyszerű sűrűségfüggést vezettem be, csak itt pozitív sűrűségfüggést, melyet 4 paraméter határoz meg: a kukoricatáblát elhagyó imágók aránya alacsony- és magas populációsűrűség esetén, továbbá a sűrűségfüggés alsó és felső határa a kártevő populációsűrűségében. A valóságban meglévő táblák közötti különbségek miatt ezt a tényezőt egy 1 várható értékű, normális eloszlású véletlenszámmal szoroztam meg. A normális eloszlás szórása, azaz az egyes táblák közötti változékonyság is bemeneti változó. Az alacsony-, és magas populációsűrűséget itt abban az értelemben használom, hogy az imágók sűrűségfüggő diszperziója milyen határok között fordul elő. Ezek a határok a modellben nem egyeznek meg a szaporodási ráta sűrűségfüggésének határaival, illetve nem egyeznek meg a gyakorlatban használt alacsony- és magas populációsűrűséggel mint fertőzöttségi szinttel.

**Az imágók hatósugara:** A kukoricabogár imágók egy meghatározott távolságon belül tudnak átrepülni más kukoricatáblákba. Ezt a modellben ahhoz a távolsághoz igazítottam, ahova a populáció jelentős része elrepül, azaz ez nem egy-egy egyed extrém repülési teljesítményén alapszik. A kártevő szabadföldi körülmények között is tud több kilométert repülni (Carrasco et al., 2010a). Ugyanakkor valószínű, hogy egyes egyedek ennél nagyobb távolságok megtételére is képesek (Coats et al., 1986). A saját kísérleteimben (Szalai et al., 2011a) azt tapasztaltam, hogy az elsőéves kukoricába a közvetlenül határos önmaga után vetett kukoricatáblákból érkezik a kukoricabogár imágók túlnyomó többsége, és ehhez képest jóval kisebb jelentőségű a távolabbról érkező imágók hatása. Ennek megfelelően ezt az értéket néhány km nagyságú.

**A kezdőpopuláció jellemzői:** A szimuláció első évében, az önmaga után vetett kukoricatáblán normális eloszlású a kukoricabogár populáció. Ennek várható értéke és szórása két bemeneti változó. A kezdeti populáció várható értéke mindig a kárküszöb alatt volt. Ahhoz, hogy ez a két faktor független legyen, ami szükséges az érzékenységvizsgálathoz, a kezdeti populáció várható értéke mint bemeneti változó, a kárküszöb érték arányában meghatározott.

**A kárküszöb:** Mindegyik futtatási év második szakaszában ezzel a küszöbértékkel hasonlítom össze a kukoricatáblák kártevőnépességét, ami a következő évi kukoricabogár lárvakártételre vonatkozik. Tehát azt a populációsűrűséget jelöli, amikor kockázatos a következő évben kukoricát termesztetni az adott táblán. A modellben egységesek a kukoricatáblák, nem különböztettem meg vetőmag-, csemege-, siló- és szemeskukoricát. Ennek megfelelően a modellben minden kukoricatáblára ugyanaz a küszöbérték vonatkozik, ami a valóságban a szemeskukoricában alkalmazható kárküszöb értékhez áll legközelebb.

**1. táblázat** A modell bemeneti paraméterei, a futtatásokban használt szélsőértékekkel és a legvalószínűbb értékekkel (L.)

<b>Bemeneti paraméter</b>	<b>Min.</b>	<b>L.</b>	<b>Max.</b>
kukorica részaránya ( $a$ )	0,2	0,4	0,6
vetésváltási arány ( $1-b$ )	0,05/0,35 <sup>†</sup>	NA <sup>‡</sup>	0,95
gazdálkodók vetésváltási preferenciája ( $Q$ )	0,5	1	2
átlagos táblaméret (ha)	2	15	100
imágók hatósugara (km)	1	2	3
kárküszöb (imágó/növény)	0,7	1	2
kezdeti populáció a kárküszöb arányában	0,5	0,8	0,95
kezdeti populáció szórása	0,1	0,3	0,5
szaporodási ráta alacsony populációsűrűségnél	1,1	4	10
szaporodási ráta magas populációsűrűségnél	0,8	1	1,5
szaporodási ráta sűrűségfüggésének alsó határa (imágó/növény)	5	10	15
szaporodási ráta sűrűségfüggésének felső határa (imágó/növény)	30	40	50
évjáráthatás intenzitása	0,1	0,3	0,5
szaporodási ráta táblák közötti változékonysága	0,1	0,3	0,5
a D táblákat elhagyó imágók aránya alacsony populációsűrűségnél	0,1	0,2	0,4
a D táblákat elhagyó imágók aránya magas populációsűrűségnél	0,4	0,6	0,8
a D táblákat elhagyó imágók arányának sűrűségfüggése, alsó határ (imágó/növény)	0,3	0,6	1,2
a D táblákat elhagyó imágók arányának sűrűségfüggése, felső határ (imágó/növény)	5	10	20
a D táblákat elhagyó imágók arányának táblák közötti változékonysága	0,1	0,3	0,5
vetésváltási szabályozás*	NA	nincs	NA

\*: A vetésváltási szabályozás nem numerikus változó. A többi paraméter tesztelésekor a szabályozás nélküli esetet használtam.

†: Az érzékenységvizsgálatkor ez az érték 0,35 volt.

‡: A vetésváltási arány semelyik futtatási sorozatban nem volt fixálva, minden kimenetet e változó függvényében néztem.

### 2.3.2 A táblákon termesztett növények évenkénti váltása (a cellák állapotfrissítése)

Az első év celláinak állapota (a kezdőtérkép) a kukorica ( $a$ ) és azon belül az önmaga után vetett kukorica ( $b$ ) arányának megfelelően sorsolt. A táblák lehetnek: elsőéves kukoricatáblák (R), önmaga után vetett kukoricatáblák (D) és olyan táblák, ahol nem kukoricát termesztünk (E). Amikor van vetésváltási szabályozás, akkor a táblák nemcsak az említett D-R-E szerint vannak kódolva, hanem szükséges az önmaga után vetett kukoricatábláknál tárolni azt is, hogy második, harmadik stb. éve termesztünk azon a táblán kukoricát. Később a kódban a táblákat a kukoricabogár populációdinamikája szempontjából releváns D-R-E táblák szerint kezeltem minden esetben.

Az állapotfrissítéshez szükséges valószínűségeket az  $a$ ,  $b$ ,  $Q$  paraméterek segítségével határoztam meg a következőképpen ( $p_D$ ,  $p_R$  és  $p_E$  annak a valószínűsége, hogy egy táblán a következő évben kukorica lesz:

## I. Nincs vetésváltási szabályozás

A lehetséges cellafrissítések („táblaátmenetek”) valószínűségei:

$$D \rightarrow D: ab \cdot p_D$$

$$R \rightarrow D: a(1 - b) \cdot p_R$$

$$E \rightarrow R: (1 - a) \cdot p_E$$

$$D \rightarrow E: ab \cdot (1 - p_D)$$

$$R \rightarrow E: a(1 - b) \cdot (1 - p_R)$$

$$E \rightarrow E: (1 - a) \cdot (1 - p_E)$$

Mivel a különböző táblák aránya az egymást követő években állandó, és elsőéves kukoricatábla csak olyan tábla lehet, melyen az előző évben nem kukoricát termesztettek (R csak E-ből lehet), tehát:  $(1 - a) \cdot p_E = a(1 - b) \Rightarrow p_E = \frac{a(1-b)}{1-a}$

$$D \text{ pedig csak R-ből és D-ből lehet: } ab \cdot p_D + a(1 - b) \cdot p_R = ab \Rightarrow p_R = \frac{1-p_D}{\frac{1}{b}-1}$$

$$Q\text{-t felhasználva: } Q = \frac{p_R}{p_D} \Rightarrow p_D = \frac{1}{Q(\frac{1}{b}-1)+1}$$

Nem lesz minden  $a, b, Q$  érték az értelmezési tartomány része, mert a  $p_D, p_R$  és  $p_E$  valószínűségeknek a  $[0;1]$  intervallumba kell esniük. Eszerint: 1.  $b \geq 2 - \frac{1}{a}$ ; 2.  $b \leq \frac{Q}{2Q-1}$ , ha  $Q > 0,5$ .

## II. Van vetésváltási szabályozás

$$\text{Az I. esethez hasonlóan: } p_E = \frac{a(1-b)}{1-a}$$

Az egyszerűség kedvéért a 2., 3. ... éve önmaga után vetett kukoricatáblához tartozó  $p_D$  érték azonos volt, kivéve a szabályozás miatti limitnél, azaz:  $p_D = p_{D2} = p_{D3}$ . Egy új változót bevezetve, legyen:  $A = \frac{b}{Q(1-b)}$ . És fölhasználva, hogy a terepen az össze tábla száma egy  $K$  konstans:  $\sum_{i=0}^n N_i = K$  ahol  $n$  3, 4 vagy 5 lehet a szabályozásnak megfelelően. A következő egyenleteket kaptam a három szabályozásra, ahol maximum 3, 4 vagy 5 évig lehet kukoricát termesztetni egy adott táblán:  $p_D^2 + p_D - A = 0$ ;  $p_D^3 + p_D^2 + p_D - A = 0$ ;  $p_D^4 + p_D^3 + p_D^2 + p_D - A = 0$

A fenti egyenleteket a Maxima programmal (v 5.27.0, The Maxima Development Team, 2012; wxMaxima grafikus interfésszel: v12.04.0, Vodopivec, 2012) egzaktul megoldattam. Az I. esethez hasonlóan itt sem lesz mindegyik  $a, b, Q$  érték az értelmezési tartomány része. Az eredményül kapott  $p_D, p_R$  és  $p_E$  valószínűségeknek a  $[0;1]$  intervallumba kell esniük.

### 2.3.3 Az amerikai kukoricabogár populációdinamikája a szimulációs modellben

Normális eloszlású kártevőpopulációt sorsoltam az első év önmaga után vetett kukoricatábláiba (D). Majd az imágópopuláció egy részének diszperzióját modelleztem.

Az imágók táblák közötti mozgását a modellben szétválasztottam két – a valóságban nem különválasztható – folyamatra: az imágók elhagyják az önmaga után vetett kukoricatáblát, és az imágók megérkeznek egy másik kukoricatáblába. Akkor hagyja el a populáció egy része a

kukoricatáblát, ha a hatósugáron belül van másik kukoricatábla (akár önmaga után vetett, akár elsőéves). Tehát ha egy tábla kellően izolált, nincs imágódiszperzió (1. ábra). Az önmaga után vetett kukoricatáblákat elhagyó imágókat elemi mennyiségekre osztottam. Ez határozza meg, hogy mennyi imágó fog az adott, önmaga után vetett kukoricatáblából egy konkrét másik kukoricatáblába repülni. Az imágók mozgását tehát fölbontottam táblapárok közötti mozgások összegére. Az egy szomszédsági körbe tartozó kukoricatáblákra azonos mennyiség jut, a távolsággal viszont az átrepülő imágók mennyisége csökken. Az egy adott kukoricatáblába megérkező imágók mennyisége pedig a hatótávolságon belüli elemi mennyiségek összege (1. ábra).

Az imágódiszperzió után már az év második szakaszába lép a modell, és a kukoricabogár imágósűrűségeket összehasonlítja a küszöbértékkel mindegyik kukoricatáblán (1. ábra).

A következő év első szakaszára már a következő generáció imágói szükségesek. Ezért azokon a táblákon, ahol újra kukoricát termesztene, az előző év második szakaszának populációsűrűségét megszorozom a teljes életről szóló vonatkozó szaporodási rátával (1. ábra), mely tartalmazza az évjárást is. Ez táblánként sorsolt normális eloszlású érték, azaz kukoricatáblánként különböző.

A modellt az R nyelvben kódoltam (R Development Core Team, 2011).

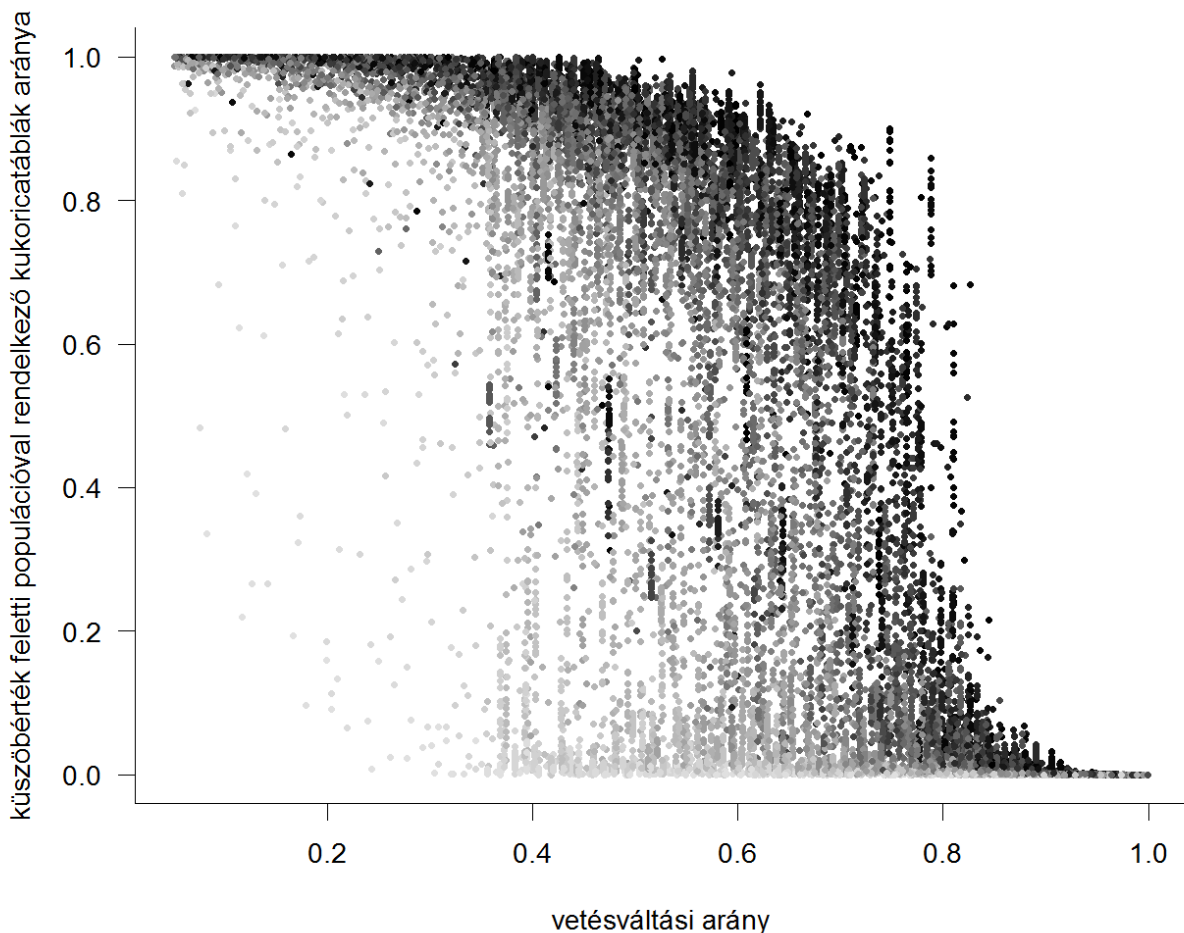
### 3. A modell érzékenységvizsgálata

A modell érzékenységvizsgálatához Saltelli et al. (2008) módszerét választottam, ami a kimenet varianciáját bontja föl a bemeneti változók között. A teljes bemeneti változók terét viszonylag alacsony diszkrepanciájú kvázi-véletlen számokkal fedi le: Szobol-szekvenciát használ. A választott módszernek feltétele, hogy a bemeneti változók egymástól függetlenek legyenek (Saltelli et al., 2008). A kukorica részaránya, a vetésváltási arány, a gazdálkodók preferenciája és az alkalmazott vetésváltási szabályozás nem teljesen függetlenek. Hogy egységesen vizsgálhassam a vetésváltási szabályozás 4 szintjét, azaz ez a paraméter is az érzékenységvizsgálat része lehessen, a vetésváltási arányt szűkebb keretek között vizsgáltam (1. táblázat). Ekkor sincs teljes függetlenség, de olyan kis tartományban függenek egymástól (e négy bemeneti változó által meghatározott tér 3%-ában), hogy bátran használtam a módszert. Két érzékenységvizsgálati indexet határoztam meg mindegyik bemeneti változóra: egy  $S_i$  indexet, ami az  $i$ -edik paramétert önmagában jellemzi, azaz azt mutatja meg, mennyire változik a kimenet, ha az adott paramétert önállóan változtatjuk, és egy  $S_{Ti}$  indexet, ami a paraméter interakcióinak hatását jellemzi (Saltelli et al., 2008). Az érzékenységvizsgálat kódját az optimalizált algoritmus (Saltelli et al., 2010) alapján írtam, a Szobol-szekvenciát a randtoolbox csomaggal (Dutang & Savicky, 2012) számoltattam.

Az 1. táblázatban közölt tartományban, a 20 bemeneti paraméter közül csak kettő befolyásolta jelentősen a kárküzöb feletti populációsűrűségű kukoricatáblák arányát. Ezek a vetésváltási arány és a kártevő szaporodási rátája alacsony populációsűrűségnél. A következő bemeneti paramétereknek volt kis hatása a modell kimenetre: a gazdálkodók vetésváltási preferenciája, a kukoricabogár imágók hatósugara, az átlagos táblaméret és a vetésváltási szabályozás. A következő bemeneti paramétereknek elenyésző hatása volt a modell kimenetre: kezdeti kukoricabogár imágósűrűség, a kukorica részaránya a modellezett agrártájban, azon imágók aránya, amelyek elhagyják azt az önmaga után vetett kukoricatáblát, melynek talajából előjöttek (mind az alacsony,

mind a magas populációsűrűséghez tartozó imágó arány). Az érzékenységvizsgálat alapján a többi bemeneti paraméterek (ez több mint a felük) szinte semmilyen hatása sem volt a kárküszöb feletti populációsűrűségű kukoricatáblák arányára.

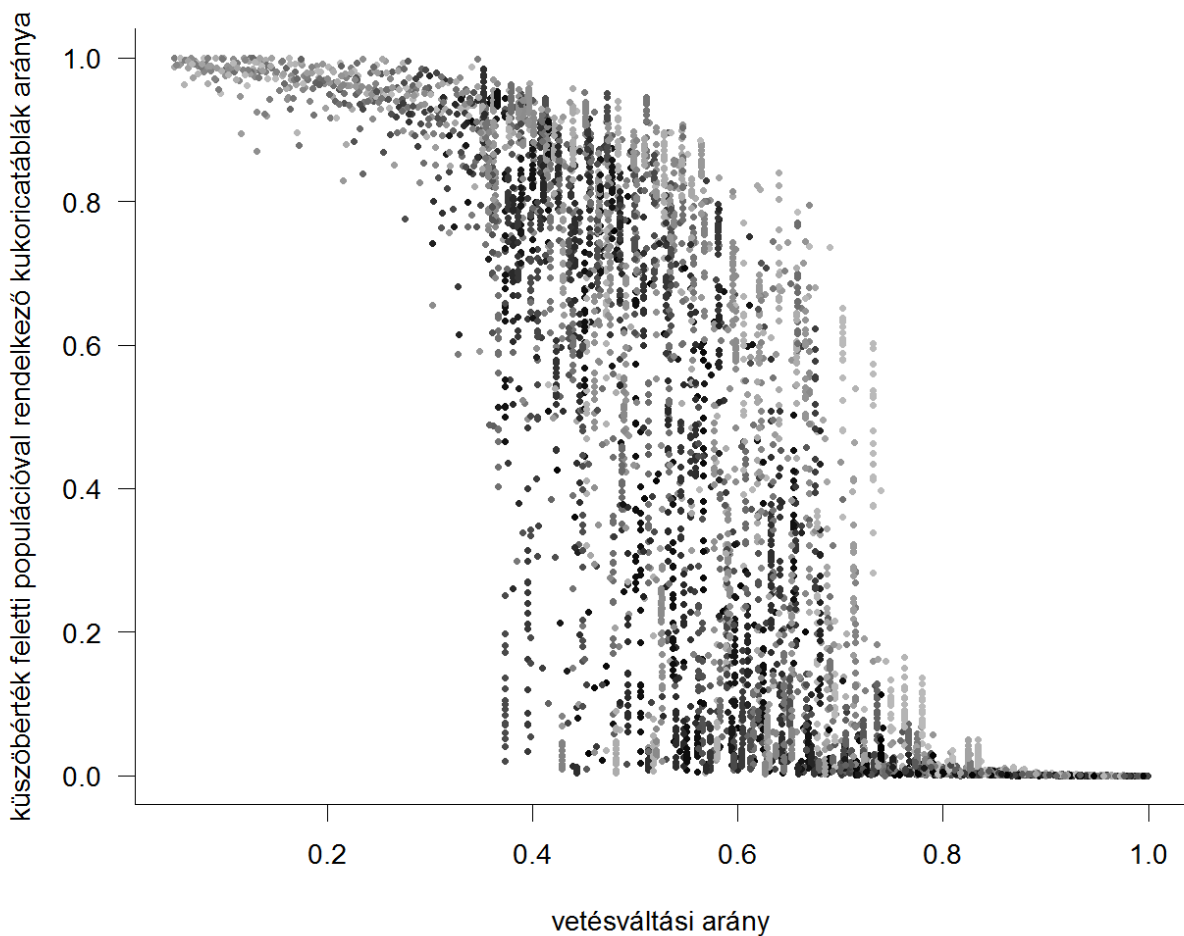
#### 4. Futtatási eredmények



**2. ábra** A vetésváltási arány és az alacsony populációsűrűséghez tartozó szaporodási ráta hatása a kárküszöb feletti kukoricatáblák részarányára az összes futtatás alapján. Az ábrázolt pontok árnyalata a szaporodási ráta értékét jelzi alacsony populációsűrűség esetén: a sötétebb szín nagyobb (max.: 10), a világosabb alacsonyabb értéket (min.: 1,1) jelöl.

A modell kimenete – a kárküszöb feletti populációsűrűséggel rendelkező kukoricatáblák aránya – 0% és 100% között változott a bemeneti paraméterek függvényében. Általánosságban elmondható, hogy a vetésváltási arány növelésével logisztikusan csökkent a kárküszöb feletti kukoricatáblák aránya (2-4. ábrák). Amikor a vetésváltási arány 0% és 40% között volt és a többi bemeneti paraméter a legvalószínűbb értéket vette föl (2. táblázat), szinte mindegyik kukoricatáblában a kárküszöb felett volt a kártevő populációsűrűsége (4. d ábra). Amikor viszont a vetésváltási arány 80% fölött volt, gyakorlatilag nem volt kárküszöb feletti populációsűrűség. A 40% és 80% közötti tartományban a modell kimenete meredeken csökkent, ahogy nőtt a vetésváltási arány, és nagyon

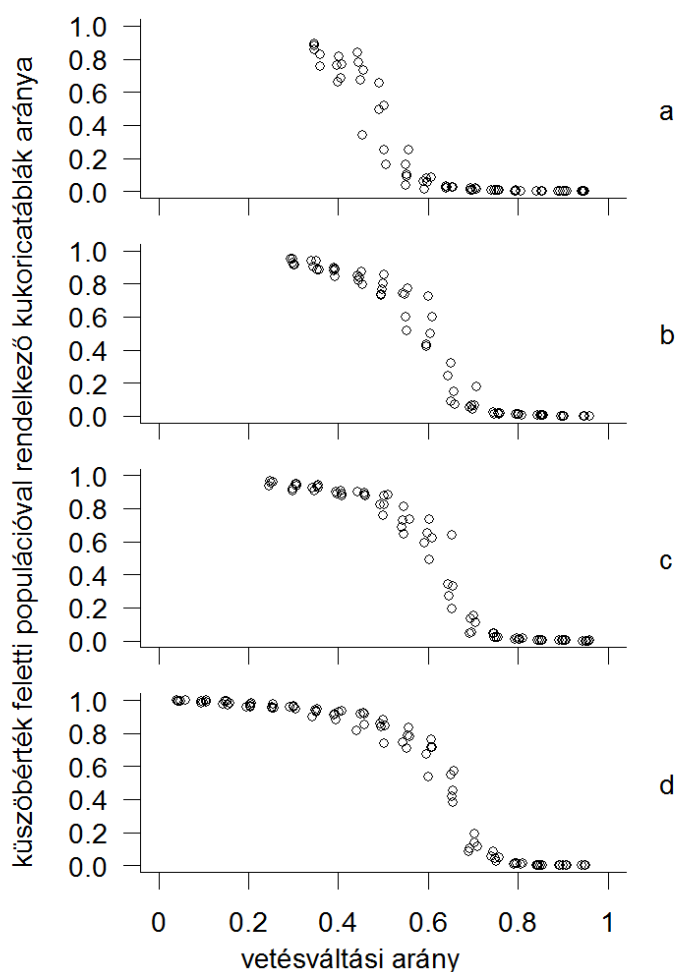
változékony volt. A kukoricabogár szaporodási rátája jelentősen el tudta tolni ezt a mintázatot (2. ábra): ha az alacsony populációsűrűséghez tartozó szaporodási ráta értéke magasabb volt, akkor nőtt a kárküszöb feletti populációsűrűséggel rendelkező kukoricatáblák részaránya. Extrém alacsony értékeknél (2 alatt) alacsony vetésváltási aránynál is alig van kárküszöb feletti kukoricatábla (2. ábra). Ha a gazdálkodók egy adott vetésváltási arány mellett gyakrabban váltják az elsőéves kukoricatáblákat, azaz gyakrabban fordul elő a tájban olyan tábla, melyen már hosszabb ideje önmaga után termesztik a kukoricát, és így igen magas populációsűrűséggel rendelkezhet, akkor az összes kukoricatáblák arányában is nő a küszöbérték feletti táblák aránya (3. ábra). Ez mindegyik vetésváltási szabályozás esetén így van, de a gazdálkodók vetésváltási preferenciájának hatása akkor a legerősebb, amikor nincs vetésváltási szabályozás.



**3. ábra** A gazdálkodók vetésváltási preferenciájának hatása a kárküszöb feletti kukoricatáblák részarányára. Az ábra átláthatósága miatt csak olyan futtatásból származó adatokat ábrázoltam, ahol az alacsony populációsűrűséghez tartozó szaporodási ráta 2,5 és 5,5 közé esett. A pontok árnyalata a gazdálkodók vetésváltási preferenciájának értékét jelzik: a sötétebb szín nagyobb (max.: 2), a világosabb alacsonyabb értéket (min.: 0,5) jelöl

A vetésváltási szabályozás hatása abban nyilvánul meg, hogy meg tudja növelni azt a tartományt, ahol már csak néhány kukoricatáblán van küszöbérték feletti kártevőpopuláció. Minél szigorúbb a

szabályozás, annál nagyobb ez a növekedés, azaz annál kisebb vetésváltási aránynál kezdődik ez a tartomány (4. ábra): a legszigorúbb („maximum 3 év kukorica”) szabályozás esetén 60%-nál. A legenyhébb vizsgált szabályozás nem különbözik lényegesen a szabályozás nélküli esettől (4. ábra).



**4. ábra** A vetésváltási szabályozás hatása a kárküszöb feletti kukoricatáblák részarányára. Egy adott táblán maximum 3 (a), 4 (b), vagy 5 évig (c) lehet kukoricát termeszteni, illetve nincs ilyen szabályozás a modellezett területen (d). A többi bemeneti paraméter – a vetésváltási arányon kívül – a legvalószínűbb értékén rögzített (1. táblázat).

## 5. Metamodellek

A közölt modell esetében felmerülhet az igény, hogy az eredeti kód parametrizálása és futtatása helyett egy egyszerűbb eszközzel lehessen „kipróbálni” a modellt. Ezért itt megadok két metamodelt, amelyekkel bárki adaptálhatja a modellt más kukoricatermesztési gyakorlathoz vagy más környezeti feltételekhez, melyek befolyásolják a kukoricabogár biológiáját. Ehhez lineáris modelleket illesztettem az eredeti modell kimenetek logit transzformáltjára olyan magyarázó változókkal, melyek az érzékenységvizsgálat szerint jelentős, vagy legalább kis hatása volt a kimenetre. Két változót – az átlagos táblaméretet és az imágók hatósugarát – együtt vizsgáltam. A rácson az a paraméter számít, hogy a táblamérethez viszonyítva mekkora az a terület, ahova az

imágók eljuthatnak, így bevezettem egy új változót:  $R_C = \frac{R^2}{10000 \cdot T}$ , ahol  $R$ : az imágók hatósugara méterben;  $T$ : az átlagos táblaméret hektárban.

**Metamodell 1.** Amikor nincs vetésváltási szabályozás (korrigált  $R^2$ : 0,90):

$$\text{logit}(Y + 10^{-5}) = -3,03 - 1,94 \cdot \text{logit}(v) + 0,73 \cdot r - 0,49 \cdot Q + 0,003647 \cdot R_C - 0,06 \cdot \text{logit}(v) \cdot r - 0,51 \cdot \text{logit}(v) \cdot Q$$

**Metamodell 2.** Vetésváltási szabályozással: amikor egy adott táblán nem lehet 3, 4 vagy 5 évnél tovább folyamatosan kukoricát termesztetni (korrigált  $R^2$ : 0,88):

$$\text{logit}(Y + 10^{-5}) = -6,26 - 1,16 \cdot \text{logit}(v) + 0,94 \cdot r - 0,97 \cdot Q + 0,53 \cdot S + 0,0059435 \cdot R_C - 0,18 \cdot \text{logit}(v) \cdot r - 0,13 \cdot \text{logit}(v) \cdot S - 0,0054379 \cdot \text{logit}(v) \cdot R_C$$

$Y$ : a modell kimenete, a küszöbérték feletti kukoricatáblák aránya

$v$ : vetésváltási arány

$r$ : a kukoricabogár szaporodási rátája alacsony populációsűrűségnél

$Q$ : a gazdálkodók vetésváltási preferenciája

$R_C$ : a módosított imágó hatósugár

$S$ : az alkalmazott vetésváltási szabályozás, értéke: 3, 4 vagy 5

## 6. Megvitatás

Megalkottam egy szimulációs modellt, amely az amerikai kukoricabogár populációdinamikáját térség szinten képes követni. A modellezett térség minden kukoricatábláján külön számítja a populációsűrűségét, így meghatározható azon kukoricatáblák aránya, ahol egy előre definiált küszöbértéknél magasabb a populációsűrűség. A futtatások során leginkább a különböző vetésváltási stratégiákat elemeztem, de a modellbe beilleszthetők más növényvédelmi beavatkozások is. Meghatároztam még két metamodellt is, amellyel más is egyszerűen felhasználhatja az eredményeimet.

A kukoricabogár magyarországi megtelepedése és jelentős kártétele után sok kukoricatermesztő területen csökkent az önmaga után vetett kukorica aránya: a korábbi 40%-50%-ról (Vörös, 2002) visszaesett 20% alá, vagy annak közelébe (pl. Békés, Csongrád, Baranya és Somogy megyékben). Ezzel párhuzamosan egyre kisebb gondot okoz ez a kártevő, valószínűleg a kukoricabogár népessége alacsonyabb szinten kezdett stabilizálódni (Kiss, 2005; Ripka, 2008). Bár ezeken a területeken nem a vetésváltás a kizárólagos védekezési módszer a kukoricabogár ellen, ez a megfigyelés összhangban van azzal az eredménnyel, hogy a 80% körüli vetésváltás esetén, térség szinten kontrollálható a kukoricabogár a vetésváltásra alapozva. A futtatások alapján nem szükséges a 100%-os vetésváltás alkalmazása, hogy ezt a célt elérjük. Azokon a területeken tehát, ahol a kártevő megtelepedett, az integrált növényvédelem részeként a nagyarányú ( $\geq 80\%$ ) vetésváltás megfelelő választás lehet.

Európa több országában azonban nem ez a deklarált cél, hanem a megjelent kártevő felszámolása (eradication), vagy a fertőzött területek elszigetelése, azaz a kukoricabogár további terjedésének megakadályozása (containment measures) (European Commission, 2003, 2006a, b). Az utóbbi



szituáció vizsgálható a modellemmel. Ekkor a bemeneti paraméterek közül a kezdőpopuláció és a kárküszöb biztosan a vizsgált tartományon (1. táblázat) kívül esne, így a futtatási eredményeim alapján illesztett metamodellek helyett az egész modell futtatása alacsonyabb kezdőpopulációval és alacsonyabb kárküszöbvel lenne kívánatos. Más védekezési módszerek is vizsgálhatók a modellel. A vetőmagcsávázás, talajinszekticid, entomopatogén fonálférgek és -gombák alkalmazása a lárvák ellen, az imágók elleni vegyszeres védelem a védekezés hatékonyságának megfelelő, alacsonyabb teljes életciklusra vonatkozó szaporodási ráta értéként vehető figyelembe.

A vetésváltási arány változtatásával kirajzolódó logisztikus mintázat megegyezik a várakozással. Az extrém értékeknél hozzásimul a várt értékekhez: a 0%-hoz közeli vetésváltáskor annyira felszaporodik a kártevő, hogy szinte mindegyik kukoricatáblán minden évben küszöbérték feletti a populációsűrűség; míg a teljes (100%-os) vetésváltáshoz közeli értékeknél gyakorlatilag nincs küszöbérték feletti populációval rendelkező kukoricatábla, mert legtöbbször kipusztul a kukoricabogár populáció. Ez összhangban van a vetésváltás hatásosságát bizonyító vizsgálatokkal (Kiss et al., 2005). Az alacsony populációsűrűséghez tartozó szaporodási ráta magasabb értékei nagyobb arányban eredményeztek küszöbérték feletti populációsűrűségű kukoricatáblákat. Ez is megfelel a várakozásaimnak, mert jellemzően a nagy szaporodási rátával rendelkező kártevők lesznek jelentősek a mezőgazdaságban (Knipling, 1979). A nagyobb szaporodási ráta itt a kukoricabogár gyorsabb fölszaporodását jelenti az önmaga után vetett kukoricatáblákon. Az érzékenységvizsgálat alapján ez egy jelentős paraméter, a szaporodási rátához tartozó többi változó sokkal kevésbé befolyásolta a modell kimenetét. Az alkalmazott egyszerű sűrűségfüggés befolyásolhatta ezeket az eredményeket. Viszont a szabadföldi körülmények között tapasztalható sűrűségfüggésről kevés az információ (Szalai et al., 2011b). Ennek a paraméternek a pontosabb megismerése eredményeim szerint jelentősen növelhetné a modellem – és más, a kukoricabogár populációdinamikáját vizsgáló, modellek – pontosságát.

A gazdálkodók vetésváltási preferenciájának ( $Q$ ) vizsgálata azt mutatja, hogy kevésbé veszélyes, ha sok táblán 3 (esetleg 4) évig kukoricát termesztünk, mint ha az elsőéves táblák váltása mellett komoly fertőzési forrást jelentő „öreg” táblák vannak, azaz ha az önmaga után vetett kukoricára „felhasználható” arány koncentrálódik. Tehát nem mindegy, hogy egy adott vetésváltási arány esetén milyen is a táblák „koreloszlása”. Ez a bemeneti változó egységesen vonatkozik az egész szimulált területre, viszont a gazdálkodók különböző stratégiákat követnek a kukoricabogár elleni védekezésben (Cullen et al., 2008). A modell készítésekor nem rendelkezttem hiteles információkkal arról, hogy hogyan döntenek a gazdálkodók a kukoricabogár fertőzés különböző szintjeinél, így a gazdálkodók megkülönböztetése kimaradt a modelleből.

A vetésváltási szabályozás (hogy egy adott táblán maximum 3, 4 vagy 5 évig lehet az egymás utáni években kukoricát termesztetni) jelentősen képes hozzájárulni a vetésváltás azon hatásához, hogy térség szinten kívánatos szinten tarthassuk a kukoricabogár populációt. Minél szigorúbb ez a szabályozás annál erősebb a hatása. Amikor a szabályozás határa a maximum 5 év, akkor nagyon hasonlóak az eredmények a szabályozás nélküli esethez, ezért ez vagy ennél enyhébb, mindenkire vonatkozó szabályozás értelmetlen.

A futtatások során még a legnagyobb vetésváltási arány alkalmazásakor is előfordult egy-egy olyan kukoricatábla, amelyben a küszöbérték feletti volt a populációsűrűség. Ez is mutatja, hogy ez a modell nem helyettesítheti a táblaszintű kockázatbecslést, nem dönthet a gazdálkodók helyett.

## 7. Következtetések és javaslatok

Az amerikai kukoricabogár egy jól repülő rovar, a kukoricatermesztő területeken a kukoricatáblák közötti távolságok nem jelentenek izolációs távolságot az imágók számára. Ezért a védekezési módszerek – így a vetésváltás is – térség szinten tanulmányozhatók. Mivel táji léptékben kísérlet nem állítható be, ezért szimulációs modellekkel vizsgálhatók a növényvédelmi beavatkozások. Európában, ahol a kukoricabogárnak nincs jelentős specialista természetes ellensége, egy szimulációs modell megalkotásakor a következő egyszerűsítő feltételekkel lehet élni: a kukoricabogár egynemzedékes, diszkrét generációkkal; nagyon szorosan kötődik a tápnövényéhez, a kukoricához; nem szükséges más fajok populációdinamikáját figyelembe venni a modellben. Ezért javaslom sejtautomata szerű – térben és időben diszkrét – rácsmodell használatát a kukoricabogár populációdinamikájának leírására. Ilyen modellekkel a vizsgálhatók az integrált növényvédelmi módszerek, a vetésváltási stratégiák. Jó választás lehet az a modellszerkezet, amelyet a dolgozatomban közöltem.

Közép-Európára vonatkozó populációdinamikai modelleknél javaslom az itt eredményül kapott szaporodási ráta használatát. Fontos lenne ennek a biológiai paraméternek a további vizsgálata, a vetésváltásra alapozott integrált növényvédelemben elengedhetetlen ismerni a kukoricatáblákban újra megjelenő kukoricabogár populációk felszaporodási sebességét, a szaporodási ráta sűrűségfüggését, itt térülhet meg legjobban a kártevő biológiájának kutatása. A védekezési módszerek hatékonyságának vizsgálatakor is érdemes a populációsűrűségtől való függést vizsgálni, és ily módon modellezni később ezek hatását.

Ahol az amerikai kukoricabogár már megtelepedett, azaz nem a kártevő helyi populációjának felszámolása, hanem annak szabályozása, egy szint alatt tartása a cél, nem javaslom a teljes (100%-os) vetésváltás mindenkire kötelező előírását. Alacsonyabb vetésváltási arány (~80%) alkalmazása is megfelelő lehet. Az olyan vetésváltási szabályozás bevezetése, amikor maximáljuk az egymást követő évek számát, amíg egy adott táblán kukoricát lehet termesztetni, jelentősen képes hozzájárulni a vetésváltás azon hatásához, hogy térség szinten kívánatos szinten tarthassuk a kukoricabogár populációt. Nem javaslom 5 vagy több évben meghatározni ezt a határt, mert az ilyen szabályozás hatástalan.

A modell futtatási eredményei nagy táblánkénti változékonyságot jeleztek, így a táblaszintű növényvédelmi döntésekhez továbbra is szükséges a kukoricabogár monitorozása az adott táblán, és az imágók diszperziója miatt javasolható a közvetlen környezetében lévő kukoricatáblákon is.

## 8. Új tudományos eredmények

1. Egy dél-magyarországi (szegedi) és egy kelet-horvátországi izolált kukoricatáblán végzett 4, illetve 3 éves felvételezés eredményeiből kiszámítottam, hogy az amerikai kukoricabogár teljes életciklusra vonatkozó átlagos szaporodási rátája Közép-Európában 4 körüli érték.
2. Az általam meghatározott átlagos szaporodási ráta alapján az amerikai kukoricabogár első európai behurcolása valószínűleg 1979 és 1984 között történt (5-10 évvel korábban az

- eddigyi becslésekhez képest), azaz 8-13 évvel azelőtt, hogy egy Belgrád melletti kukoricatáblában 1992-ben először észlelték a lárvakártételét és az imágókat.
3. Imágó felvételezéseim alapján (Dalmand környéke, 2008-2010) megállapítottam, hogy a közvetlenül határos önmaga után vetett kukoricatáblákból érkezik az elsőéves kukoricatáblákba a kukoricabogár imágók meghatározó többsége, és ehhez képest jóval kisebb jelentőségű a távolabbról érkező imágók hatása. A térség szintű átlagos fertőzöttségi szint tehát kevéssé befolyásolja a betelepülést.
  4. Megalkottam egy szimulációs modellt, mely az amerikai kukoricabogár populációját térség szinten képes követni, így felhasználható az integrált növényvédelemben a vetésváltási stratégiák vizsgálatához. A futtatási eredmények alapján a következő megállapításokat tettem:
    - i. Azokon a kukoricatermesztő területeken, ahol az amerikai kukoricabogár megtelepedett, térség szinten két tényező befolyásolja jelentősen a gazdasági kárküszöb fölötti populációval rendelkező kukoricatáblák arányát, ha védekezési eszközként csak a vetésváltást vesszük számításba: a kukorica vetésváltási aránya és a kártevő alacsony populációsűrűséghez tartozó szaporodási rátája.
    - ii. Nem szükséges a 100%-os vetésváltás ahhoz, hogy más védekezési mód nélkül a kukoricabogár populációsűrűséget térség szinten kárküszöb érték alatt tartsuk.
    - iii. A vetésváltási szabályozás bevezetésével – ha maximáljuk az egymást követő évek számát, amíg kukoricát lehet termeszteni egy adott táblán – tovább csökkenthető az a vetésváltási arány, ami ahhoz szükséges, hogy küszöbérték alatti populáció legyen a kukoricatáblák legalább 95%-ában. Annál kisebb vetésváltási aránynál kezdődik ez a tartomány, minél szigorúbb a szabályozás, azaz minél kevesebb egymás utáni évig engedélyezett a kukorica termesztése egy adott táblán. Ha a szabályozás határa 5 év vagy több, akkor nem különbözik érdemben a szabályozás nélküli helyzettől.
    - iv. Az alacsony populációsűrűségnél – a vetésváltás utáni felszaporodás időszakában – érvényes szaporodási ráta nagyobb értékeinél több kukoricatábla lesz küszöbérték felett.
  5. A futtatási eredményekre metamodelleket illesztettem, hogy az eredményeimet más is egyszerűen, kevesebb számítástechnikai erőforrással is felhasználhassa. Az itt használt magyarázó változókat az érzékenységvizsgálat alapján válogattam ki:

Vetésváltási szabályozás nélkül:

$$\text{logit}(Y + 10^{-5}) = -3,03 - 1,94 \cdot \text{logit}(v) + 0,73 \cdot r - 0,49 \cdot Q + 0,003647 \cdot R_C - 0,06 \cdot \text{logit}(v) \cdot r - 0,51 \cdot \text{logit}(v) \cdot Q$$

Vetésváltási szabályozással:

$$\text{logit}(Y + 10^{-5}) = 6,26 - 1,16 \cdot \text{logit}(v) + 0,94 \cdot r - 0,97 \cdot Q + 0,53 \cdot S + 0,0059435 \cdot R_C - 0,18 \cdot \text{logit}(v) \cdot r - 0,13 \cdot \text{logit}(v) \cdot S - 0,0054379 \cdot \text{logit}(v) \cdot R_C$$

$Y$ : a modell kimenete, a küszöbérték feletti kukoricatáblák aránya

$v$ : vetésváltási arány

$r$ : a kukoricabogár szaporodási rátája alacsony populációsűrűségnél

$Q$ : a gazdálkodók vetésváltási preferenciája

$R_C$ : a módosított imágó hatósugár

$S$ : az alkalmazott vetésváltási szabályozás (egész szám: 3, 4 vagy 5)

## 9. Irodalomjegyzék

- Aragon, P., Baselga, A., & Lobo, J.M. (2010) Global estimation of invasion risk zones for the western corn rootworm *Diabrotica virgifera virgifera*: integrating distribution models and physiological thresholds to assess climatic favourability. *Journal of Applied Ecology*, **47**, 1026-1035.
- Aragon, P. & Lobo, J.M. (2012) Predicted effect of climate change on the invasibility and distribution of the Western corn root-worm. *Agricultural and Forest Entomology*, **14**, 13-18.
- Baufeld, P. & Enzian, S. (2001) Simulation model spreading scenarios of Western Corn Rootworm (*Diabrotica virgifera virgifera*) in case of Germany. In Proceedings of 21<sup>st</sup> IWGO Conference (ed. by G. Carollo), pp. 63-67, Legnaro, Italia.
- Carrasco, L.R., Cook, D., Baker, R., MacLeod, A., Knight, J.D., & Mumford, J.D. (2012) Towards the integration of spread and economic impacts of biological invasions in a landscape of learning and imitating agents. *Ecological Economics*, **76**, 95-103.
- Carrasco, L.R., Harwood, T.D., Toepfer, S., MacLeod, A., Levay, N., Kiss, J., Baker, R.H.A., Mumford, J.D., & Knight, J.D. (2010a) 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**, 63-77.
- Carrasco, L.R., Mumford, J.D., MacLeod, A., Harwood, T., Grabenweger, G., Leach, A.W., Knight, J.D., & Baker, R.H.A. (2010b) Unveiling human-assisted dispersal mechanisms in invasive alien insects: Integration of spatial stochastic simulation and phenology models. *Ecological Modelling*, **221**, 2068-2075.
- Carrasco, L.R., Mumford, J.D., MacLeod, A., Knight, J.D., & Baker, R.H.A. (2010c) Comprehensive bioeconomic modelling of multiple harmful non-indigenous species. *Ecological Economics*, **69**, 1303-1312.
- Chiang, H.C. (1973) Bionomics of the northern and western corn rootworms. *Annual Review of Entomology*, **18**, 47-72.
- Coats, S.A., Tollefson, J.J., & Mutchmor, J.A. (1986) Study of migratory flight in the western corn rootworm (Coleoptera: Chrysomelidae). *Environmental Entomology*, **15**, 620-625.
- Crowder, D.W. & Onstad, D.W. (2005) Using a generational time-step model to simulate dynamics of adaptation to transgenic corn and crop rotation by western corn rootworm (Coleoptera: Chrysomelidae). *Journal of Economic Entomology*, **98**, 518-533.
- Crowder, D.W., Onstad, D.W., Gray, M.E., Pierce, C.M.F., Hager, A.G., Ratcliffe, S.T., & Steffey, K.L. (2005) Analysis of the dynamics of adaptation to transgenic corn and crop rotation by western corn rootworm (Coleoptera: Chrysomelidae) using a daily time-step model. *Journal of Economic Entomology*, **98**, 534-551.
- Cullen, E.M., Stute, J.K., Raymond, K.L., & Boyd, H.H. (2008) Farmers' Perspectives on IPM Field Scouting During a Period of Insect Pest Range Expansion: A Case Study of Variant Western Corn Rootworm (Coleoptera: Chrysomelidae) in Wisconsin. *American Entomologist*, **54**, 170-178.
- Czárán, T. (1998). Populáció- és társulásdinamika térben és időben: Tömeg- és objektum-kölcsönhatási modellek. In A közösség-ökológia frontvonalai (ed. by G. Fekete), pp. 35-58. Akadémiai Kiadó, Budapest.
- Durrett, R. & Levin, S. (1994) The Importance of Being Discrete (and Spatial). *Theoretical Population Biology*, **46**, 363-394.
- Dutang, C. & Savicky, P. (2012) randtoolbox: Generating and Testing Random Numbers. In R package.
- Edwards, C.R., Igrc Barcic, J., Berger, H.K., Festic, H., Kiss, J., Princzinger, G., Schulten, G.G.M., & Vonica, I. (1998) Overview of the FAO western corn rootworm management program for central Europe. *Pflanzenschutzberichte*, **57**, 3-14.
- Elliott, N.C. & Hein, G.L. (1991) Population-Dynamics of the Western Corn-Rootworm - Formulation, Validation, and Analysis of a Simulation-Model. *Ecological Modelling*, **59**, 93-122.
- European Commission (2003) Commission Decision 2003/766/EC of 24 October 2003 on Emergency Measures to Prevent the Spread within the Community Of *Diabrotica virgifera* Le Conte. *Official Journal of the European Union*, **2003/766/EC**.
- European Commission (2006a) Commission Decision 2006/564/EC amending Decision 2003/766/EC of 17 August 2006 on emergency measures to prevent the spread within the Community of *Diabrotica virgifera*. *Official Journal of the European Union*, **2006/564/EC**.

- European Commission (2006b) Commission Recommendation 2006/565/EC of 11 August 2006 on containment programmes to limit the further spread of *Diabrotica virgifera* Le Conte in Community areas where its presence is confirmed. *Official Journal of the European Union*, **2006/565/EC**.
- Fall, E.H. & Wessler, 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* ).
- Hein, G.L. & Tollefson, J.J. (1987) Model of the biotic potential of western corn rootworm (Coleoptera: Chrysomelidae) adult populations, and its use in studying population dynamics. *Environmental Entomology*, **16**, 446-452.
- Hemerik, L., Busstra, C., & Mols, P. (2004) Predicting the temperature-dependent natural population expansion of the western corn rootworm, *Diabrotica virgifera*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, **111**, 59-69.
- Kiss, J. (2005). WCR risk estimation for developing IPM in maize.
- 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 Western corn rootworm: ecology and management (ed. by S. Vidal, U. Kuhlmann & C.R. Edwards), pp. 189-220.
- Knipling, E.F. (1979) The Basic Principles of Insect Population Suppression and Management United States Department of Agriculture, Washington DC, USA.
- Krügener, S., Baufeld, P., & Unger, J.-G. (2011) Modelling of population dynamics of the Western Corn Rootworm (*Diabrotica virgifera virgifera*) – examination of various containment measures. *Journal für Kulturpflanzen*, **63**, 69-76.
- Levay, N., Toepfer, S., Kiss, J., & Terpo, I. (2008) Colonization of first year maize fields with *Diabrotica v. virgifera* adults from infested continuous maize fields. In International DiabrAct symposium on: “Western Corn Rootworm management in Europe: Future research and action needs” 25 - 29 May 2008 (ed. by S. Vidal), Göttingen, Germany.
- Miller, N., Estoup, A., Toepfer, S., Bourguet, D., Lapchin, L., Derridj, S., Kim, K.S., Reynaud, P., Furlan, L., & Guillemaud, T. (2005) Multiple transatlantic introductions of the western corn rootworm. *Science (Washington)*, **310**, 992.
- Mooney, E. & Turpin, F.T. (1976) ROWSIM:a GASP IV based rootworm simulator. In Research Bulletin 938, Purdue Agriculture Experiment Station West Lafayette, IN.
- O'Rourke, M.E. & Jones, L.E. (2011) Analysis of landscape-scale insect pest dynamics and pesticide use: an empirical and modeling study. *Ecological Applications*, **21**, 3199-3210.
- Onstad, D.W., Guse, C.A., Spencer, J.L., Levine, E., & Gray, M.E. (2001a) Modeling the dynamics of adaptation to transgenic corn by western corn rootworm (Coleoptera: Chrysomelidae). *Journal of Economic Entomology*, **94**, 529-540.
- Onstad, D.W., Joselyn, M.G., Isard, S.A., Levine, E., Spencer, J.L., Bledsoe, L.W., Edwards, C.R., Di Fonzo, C.D., & Willson, H. (1999) Modeling the spread of western corn rootworm (Coleoptera : Chrysomelidae) populations adapting to soybean-corn rotation. *Environmental Entomology*, **28**, 188-194.
- Onstad, D.W. & Meinke, L.J. (2010) Modeling Evolution of *Diabrotica virgifera virgifera* (Coleoptera: Chrysomelidae) to Transgenic Corn With Two Insecticidal Traits. *Journal of Economic Entomology*, **103**, 849-860.
- Onstad, D.W., Spencer, J.L., Guse, C.A., Levine, E., & Isard, S.A. (2001b) Modeling evolution of behavioral resistance by an insect to crop rotation. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, **100**, 195-201.
- Pan, Z.Q., Onstad, D.W., Nowatzki, T.M., Stanley, B.H., Meinke, L.J., & Flexner, J.L. (2011) Western Corn Rootworm (Coleoptera: Chrysomelidae) Dispersal and Adaptation to Single-Toxin Transgenic Corn Deployed With Block or Blended Refuge. *Environmental Entomology*, **40**, 964-978.
- R Development Core Team. (2011) *R: A language and environment for statistical computing.*, Version 2.14.1. R Foundation for Statistical Computing, Vienna. URL: [www.r-project.org](http://www.r-project.org)
- Ripka, G. (2008) Egy állandósult, de nem megoldhatatlan növényvédelmi gond: az amerikai kukoricabogár. *Gyakorlati agrofórum*, 64-66.
- Saltelli, A., Annoni, P., Azzini, I., Campolongo, F., Ratto, M., & Tarantola, S. (2010) Variance based sensitivity analysis of model output. Design and estimator for the total sensitivity index. *Computer Physics Communications*, **181**, 259-270.
- Saltelli, A., Ratto, M., Andres, T., Campolongo, F., Cariboni, J., Gatelli, D., Saisana, M., & Taratola, S. (2008) Global Sensitivity Analysis. The Primer John Wiley & Sons Ltd, Chichester, West Sussex PO19 8SQ, UK.

- Storer, N.P. (2003) A spatially explicit model simulating western corn rootworm (Coleoptera: Chrysomelidae) adaptation to insect-resistant maize. *Journal of Economic Entomology*, **96**, 1530-1547.
- Szalai, M., Koeszegi, J., Toepfer, S., & Kiss, J. (2011a) Colonisation of First-year Maize Fields by Western Corn Rootworm (*Diabrotica virgifera virgifera* LeConte) from Adjacent Infested Maize Fields. *Acta Phytopathologica et Entomologica Hungarica*, **46**, 213-223.
- Szalai, M., Komaromi, J.P., Bazok, R., Barcic, J.I., Kiss, J., & Toepfer, S. (2011b) Generational growth rate estimates of *Diabrotica virgifera virgifera* populations (Coleoptera: Chrysomelidae). *Journal of Pest Science*, **84**, 133-142.
- The Maxima Development Team. (2012) *Maxima, a Computer Algebra System*, Version 5.27.0.
- Vodopivec, A. (2012) *wxMaxima*, Version 12.04.0.
- Vörös, G. (2002) Six years' history of western corn rootworm in county Tolna. *Növényvédelem*, **38**, 547-550.

## 10. Az értekezés témaköréhez kapcsolódó publikációk

### Lektorált tudományos közlemények:

- M. Szalai**, J. Kiss, Sz. Kövér, S. Toepfer (2012): Simulating crop rotation strategies with a spatiotemporal lattice model to improve the management of the maize pest *Diabrotica virgifera virgifera*. *Ecological Modelling*, benyújtva.
- M. Szalai**, J. Papp Komáromi, R. Bažok, J. Igrc Barčić, J. Kiss, S. Toepfer (2011): Generational growth rate estimates of *Diabrotica virgifera virgifera* populations (Coleoptera: Chrysomelidae). *Journal of Pest Science*, 84(1) 133-142, DOI: 10.1007/s10340-010-0336-z. (IF: 1,509, 2011)
- M. Szalai**, J. Kőszegi, S. Toepfer, J. Kiss (2011): Colonisation of First-year Maize Fields by Western Corn Rootworm (*Diabrotica virgifera virgifera* LeConte) from Adjacent Infested Maize Fields. *Acta Phytopathologica et Entomologica Hungarica*, 46(2) 213-223, DOI: 10.1556/APhyt.46.2011.2.5.
- Szalai M.**, Lévay N., Papp Komáromi J., S. Toepfer, Kiss J. (2010): Az amerikai kukoricabogár populációjának térség szintű szabályozása: egy sejtautomata modell és szimuláció. *Növényvédelem*, 46(9) 417-424.

### Konferencia absztraktok:

- M. Szalai**, S. Toepfer, Sz. Kövér & J. Kiss (2012): Simulation of rotation strategies to improve management of Western Corn Rootworm in Europe. *6th Annual Workshop of International Pest Risk Mapping Workgroup (Advancing risk assessment models for invasive alien species in the food chain: contending with climate change, economics and uncertainty)*, Tromsø, Norway 23 – 26 July, 2012
- M. Szalai**, Sz. Kövér, J. Kiss & S. Toepfer (2011): Simulating maize rotation strategies to develop IPM for *Diabrotica v. virgifera* in Europe. *24th IWGO Conference & 3rd International Conference of Diabrotica Genetics*, Freiburg, Germany, 24 – 26 October, 2011
- M. Szalai**, S. Toepfer, Sz. Kövér & J. Kiss (2011): Simulating crop rotation at landscape level to improve management of Western Corn Rootworm. *7th European Conference on Ecological Modelling*, Riva del Garda, Italy, 30 May – 2 June, 2011

- Szalai M.**, S. Toepfer, Kövér Sz. & Kiss J. (2011): A vetésváltás térség szintű vizsgálata szimulációs modellel az amerikai kukoricabogár elleni védekezésben. *KÖSzi 2011 4. Kvantitatív Ökológiai Szimpózium, Szeged, 2011. április 7–8*
- J. Kiss, **M. Szalai** & S. Toepfer (2011): Developing IPM for WCR in a spatial and temporal context. „*Leben mit dem Maiswurzelbohrer*“ *Workshop, Klagenfurt, 1-2 March, 2011*
- M. Szalai**, J. Papp Komáromi, J. Kiss & S. Toepfer (2010): A discrete spatiotemporal population model for management of western corn rootworm (*Diabrotica virgifera virgifera* LeConte; Coleoptera: Chrysomelidae) at landscape level. *9<sup>th</sup> European Congress of Entomology Conference, Budapest, Hungary, 22–27 August, 2010*
- M. Szalai**, N. Levay, S. Toepfer & J. Kiss (2009): How to develop discrete spatiotemporal population models for the western corn rootworm at landscape level. *23<sup>rd</sup> IWGO Conference, Munich, Germany, 5–8 April, 2009*
- Szalai M.**, Lévay N., S. Toepfer & Kiss J.: Szimulációs modell kidolgozása az amerikai kukoricabogár térségi szintű kezelésére. *55. Növényvédelmi Tudományos Napok, Budapest, 2009. február 24–25*
- Szalai M.**, Papp Komáromi J., R. Bažok, S. Toepfer & Kiss J.: Az amerikai kukoricabogár populációbecslése: egy relatív módszer szolgáltathat annyi információt, mint egy abszolút? *55. Növényvédelmi Tudományos Napok, Budapest, 2009. február 24–25*
- Szalai M.**, Lévay N., Papp Komáromi J., Juhász M. & Kiss J.: Az amerikai kukoricabogár szaporodási rátájának, mint a populációdinamikai modellalkotás egyik sarokpontjának meghatározása. *KÖSzi 2008 3. Kvantitatív Ökológiai Szimpózium „Életre keltett adatok”, Budapest, 2008. március 18–19*
- M. Szalai**, N. Levay, J. P. Komaromi, M. Juhász & J. Kiss (2008): Defining the growth rate of WCR (*Diabrotica virgifera virgifera* LeConte): An important factor for modelling its population dynamics. "*Harmonise the strategies for fighting Diabrotica virgifera virgifera*" *Diabr-Act Symposium Göttingen, Germany, 25-29 May, 2008*
- B. Pai, **M. Szalai** & J. P. Komaromi (2008): Diel flight activity of male western corn rootworm (*Diabrotica virgifera virgifera* LeConte) adults "*Harmonise the strategies for fighting Diabrotica virgifera virgifera*" *Diabr-Act Symposium Göttingen, Germany, 25-29 May, 2008*