

ROVATVEZETŐ:

Dr. Heszky László *akadémikus*

Az előző részben részletesen ismertettük azokat a fajokat, melyekből napjainkig rovarrezisztens GM-fajtákat állítottak elő. Bemutattuk azokat a génkonstrukciókat (event), melyek a jelenleg a világon kereskedelmi forgalomban lévő GM-fajtákban és -hibridekben működnek. Végül utaltunk azokra a rovarrezisztenciát biztosító transz génekre, melyeket tartalmazó kukorica- és gyapotfajták évek óta engedélyezés alatt állnak az EU-ban.

Tanuljunk „géntechnológiául” (40.)

Transzgenikus növényvédelem (VI./9.)

Rovarrezisztens GM-fajták és termesztésük előnyei, kockázatai

Dr. Heszky László

SzIE Mezőgazdaság- és Környezettudományi Kar, Genetika és Biotechnológiai Intézet, Gödöllő

Bevezetés

A *Bt*-baktérium alfajok és törzsek által termelt Cry-fehérjék a legtöbb esetben nem biztosítottak teljes rezisztenciát a célzott kártevővel szemben. Az elmúlt évtizedben végzett fejlesztésekkel (gén-csonkolás, kodonoptimalizálás, szintetikus és fúziós gének előállítás) ez a hátrány kiküszöbölhetővé vált. A valóban génmérnöki módosításokat az előző részben ismertettük (ld. Agrofórum 2013/11, novemberi számában). Ebben a részben példaként keresztül mutatjuk be azokat a konstrukciókat, melyek engedélyezés alatt vannak az EU-ban, utalva 10-15 éves globális termesztésük tapasztalataira, előnyökre és kockázatokra.

Rovarrezisztens GM-kukorica

A kukorica globális termőterületének 35 %-át foglalják el a kukoricamoly- és kukoricabogár-rezisztens GM-hibridek. Azokban az országok-

ban, ahol termesztésük elkezdődött részesedésük jóval magasabb (pl. USA és Argentína 85 %, Kanada 84 %, Dél Afrikai Unió 63 %, Brazília 36 % stb.). A szabadalmaztatott rovarrezisztenciát biztosító génkonstrukciók (eventek) száma 102, amiből jelenleg 45 van kereskedelmi forgalomban (1. ábra).

Kukoricamoly-rezisztens GM-kukorica (1. ábra)

A világon napjainkig 15-féle Cry-gént tartalmazó GM-hibrid került forgalomba (ld. Agrofórum 2013/11, novemberi számában). Ezek közül két génkonstrukciót mutatok be. Az egyik, az EU-ban 2004-óta már termesztendő MON-810, a másik a 2013 végén, az EU-Bizottság döntésére váró TC 1507. Ezek a konstrukciók már számos termesztett hibridben működnek, ezért az engedély megadásakor azok azonnal termesztethetők lesznek az unió tagországaiban.

Génkonstrukció (event) neve: MON 810

Kód: MON-00810-6,

Kereskedelmi elnevezés: YieldGard™, MaizeGard™

Tulajdonos: Monsanto Company (St. Louis, MO, USA)

Géntranszfer: biolisztikus módon génpuskával sejtekbe, szövetekbe

GM-tulajdonság: *Lepidoptera* (kukoricamoly, *Ostrinia nubilalis*) rezisztencia

Felhasználási cél: emberi fogyasztás, takarmányozás

Termesztési és/vagy felhasználási engedély: 16 országban

A *Cry1Ab* transzgén elemei: Promóter: CaMV35S vírus eredetű konstitutív promóter. Intron: kukorica eredetű HSP70. Rezisztenciagén: *Bacillus thuringiensis* subsp. *kurstaki* Cry1Ab delta-endotoxin csonkolt és szintetikus génje. Terminátor: *Agrobacterium tumefaciens* nopalinnal szintáz génből (NOS 3), ami a csonkolt génváltozat integrációja során elveszett. Kópiaszám: 1.

A delta endotoxin mennyisége: A

GM-növényben 3,65-4,65 µg/g (friss súly), a levelében 7,93-10,34 µg/g, a magban 0,19-0,39 µg/g, a pollenben 0,09 µg/g. A Cry-fehérje nem tartalmaz olyan aminosav-szekvenciákat, melyek toxikusak, vagy allergének lennének az ember és az emlősök számára.

A MON 810 konstrukciót tartalmazó GM-kukoricahibridek (16 db) termesztését az EU 2004-ben engedélyezte. Jelenleg is csak ezt a génkonstrukciót tartalmazó GM-hibridek termesztethők az EU-ban. Az EU-Bizottság 2004-óta nem adott engedélyt más GM-fajták, vagy hibridek termesztésére, kivéve az AMFLÓRA optimalizált keményítőtartalmú GM-burgonyafajtát, ami viszont már nincs kereskedelmi forgalomban.

A génkonstrukció (event) neve: TC 1507

Kód: DAS-01507-1,
Kereskedelmi elnevezés: Herculex™ I, Herculex™ CB,
Tulajdonos: Dow AgroSciences, DuPont (Pioneer Hi-Bred International Inc.)

Géntranszfer: Biolisztikus módon génpuskával sejtekbe, szövetekbe

GM-tulajonság: *Lepidoptera* (kukoricamoly *Ostrinia nubilalis*) rezisztencia és glufozinát herbicidtolerancia

Felhasználási cél: emberi fogyasztás, takarmányozás

Termesztési és/vagy felhasználási engedély: 3 országban

A génkonstrukció két transzgénjének (*Cry1Fa2* és *pat*) elemei:

1/ A *Cry1Fa2* transzgén elemei: Promóter és intron: kukoricából származó ubiquitin promóter az első exonnal és intronnal. Rezisztenciagén: *Bacillus thuringiensis* var. *aizawai* Cry1Fa2 delta-endotoxin

csonkolt génje. Terminátor: *Agrobacterium tumefaciens* polyA szignál. Kópiaszám: 1.

2/ A *pat* transzgén elemei: Promóter: CaMV35S vírus eredetű konstitutív promóter. Tolerancia gén: *Streptomyces viridochromogenes* foszfinotricin-N-acetiltranszferáz gén. Terminátor: CAMV35S polyA szignál. Kópiaszám: 1.

A TC 1507 konstrukció engedélyezési eljárása 2013 végén felgyorsult. Ennek oka az Európai Bíróság döntése volt. Az EU-Bizottság mulasztásos törvénysértést követett el, a 2001-ben beadott kérelem elbírálásának halasztása miatt. Döntés várhatóan 2013 decemberében, vagy 2014 januárjában várható. Amennyiben az pozitív lesz, akkor a TC 1507 génkonstrukciót tartalmazó kukoricahibridek 2014-től termesztethők lesznek az unió tagországaiban. Hazánk, az Alkotmánynak megfelelően nagy valószínűséggel védzáradékot fog bejelenteni.

Kukoricabogár-rezisztens GM-kukorica (2. ábra)

Bogárrezisztens hibridek még sohasem voltak termesztethők az EU-ban. Jelenleg azonban 2 db kétgénés és 1 db nyolcgénés GM-hibrid termesztési kérelme évek óta az EU asztalán fekszik (ld. Agrofórum 2013/11, novemberi számában). A 8 génés SmartStax hibridet már bemutattuk az Agrofórum 2011/9 szeptemberi „Többgénés transzgénikus (GM) fajták előállítása” című részben. A kétgénés eventek közül a MON810-zel egy időben az EU-ba bejelentett, de engedélyt nem kapott MON863 bogárrezisztens konstrukció (2. ábra), újabb változatát a MON88017 kódjelű mutatóm be.

Génkonstrukció (event) neve: MON88017

Kód: MON-88017-3,
Kereskedelmi elnevezés: YieldGard™VT™, Rootworm™RR2
Tulajdonos: Monsanto Company (St. Louis, MO, USA)

Géntranszfer: *Agrobacterium tumefaciens* közvetített transzformáció

1. ábra

A Syngenta Bt11 génkonstrukciójába beépített Cry1A(b)-gént és a pat-gént tartalmazó molyrezisztens kukoricaállományának kisparcellás szántóföldi kísérlete

A1-3: a molykártétel különböző formái a hagyományos (érzékeny) fajtában a mesterséges molyfertőzést követően

B1-3: a molykártétel hiánya a Bt11 (rezisztens) állományban, a mesterséges molyfertőzést követően

(Koziel, M.G. et al. 1993. Bio/Technology 11/2, 194-200.)

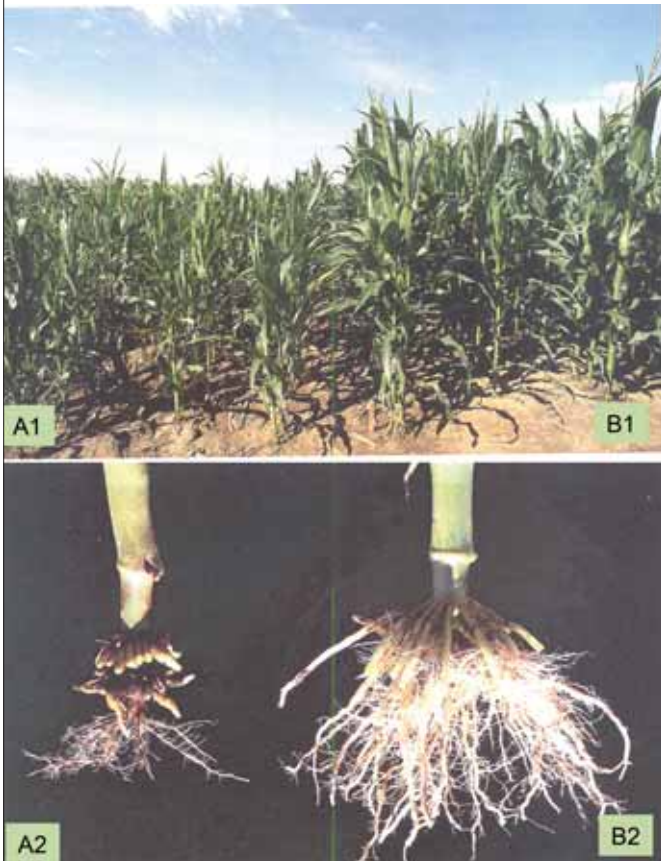
2. ábra

A Monsanto MON863 génkonstrukciójába épített Cry3Bb1-gént és a pat-gént tartalmazó bogárrezisztens kukoricaállományának szántóföldi kísérlete

A1-2: a bogár lárvájának kártétele a hagyományos hibrid gyökerén és következménye a növényállományban

B1-2: a bogár kártétel hiánya a rezisztens növényállományban és a gyökéren

(Vaughn, Ty et al: 2005, Crop Science, 45/5-6, 931-938)



GM-tulajdonság: *Coleoptera* (kukoricabogár *Diabrotica* spp.) rezisztencia és glifozát gyomirtószer-tolerancia

Felhasználási cél: emberi fogyasztás, takarmányozás

Termesztési és/vagy felhasználási engedély: 12 országban

A konstrukció két transzgénjének (*CP4epsps* és *cry3Bb1*) elemei:

A *cry3Bb1* transzgén elemei: Promóter: CaMV35S vírus eredetű konstitutív promóter. Segítő régió: búza klorofill a/b kötő fehérje enhancer régiójának 5' UTR szakasza. Intron: rizs *actin* génjének első intronja. Rezisztencia gén: a *Bacillus thuringiensis* subsp. *kumamotoensis* EG4691-es vonala Cry3Bb1 delta endotoxin szintetikus génje. Terminátor: a búza hősokk fehérjének 3' UTR szakasza. Kópiaszám:1.

A *CP4 epsps* transzgén elemei: Promóter: rizs *actin* gén promótere intron szekvenciákkal. Célba juttató szekvencia: *Arabidopsis thaliana* kloroplasztisz tranzit peptidje (*cpt2*). Rezisztencia gén: *Agrobacterium tumefaciens* mutáns 5-enolpiruvil sikimát-3-foszfát szintáz génje. Terminátor: *Agrobacterium tumefaciens*

nopalin szintáz (*nos*) 3' nem átíródo szakasza. Kópiaszám: 1.

Ti-plazmid határszekvenciái: A két transzgén az *A. tumefaciens* Ti-plazmidja két határszekvenciája közé építették be. A baloldali az octopin Ti-plazmidból, a jobboldali a nopalin Ti-plazmidból származik.

Az MON88017 eventet (transzgén) tartalmazó GM-kukoricahibridek 2009-ben, az EU-ban (import) engedélyt kaptak élelmiszerként és takarmányként való felhasználásra.

Rovarrezisztens GM-gyapot

A GM gyapotfajták kukoricánál is gyorsabb területű növekedést mutattak. A globális területi részesedésük meghaladja a 81 %-ot. Néhány gyapotot termelő országban ez az arány még magasabb (pl. Dél Afrikai Unió 98 %, Argentína és Ausztrália 95 %, USA 88 %, India 76 %, Kína 60 % stb.). A szabadalmaztatott génkonstrukciók száma 49, amiből jelenleg 21 van kereskedelmi forgalomban. Rovarrezisztens GM-gyapotfajták még nem kaptak termesztési és/vagy felhasználási engedélyt Európában. Jelenleg két Monsanto GM-fajta engedélyezése van folyamatban, az egyik molyrezisztens, a másik a molyrezisztencia mellett még glifozát gyomirtószer-toleráns is. Ezek közül az előbbit a MON531-es konstrukciót mutatom be.

Génkonstrukció (event) neve: MON 531

Kód: MON-00531-6,

Kereskedelmi elnevezés: Bollgard™Cotton, Ingard™

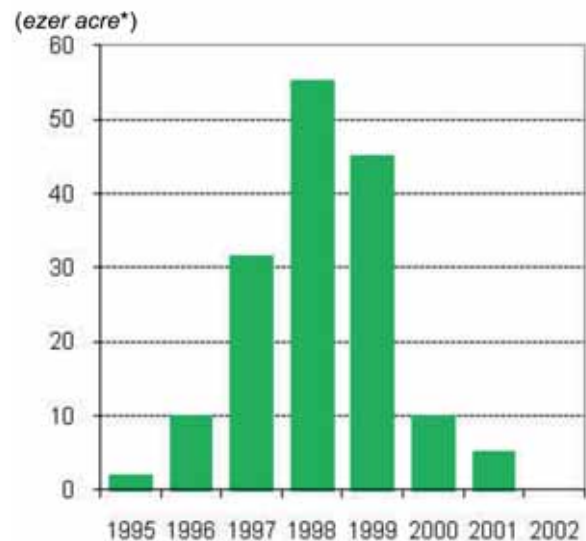
Tulajdonos: Monsanto Company (St. Louis, MO, USA)

3. ábra

A burgonyabogár-rezisztens GM-burgonyafajták termőterületének alakulása Észak-Amerikában (1995-2002)

A termőterület az első évet követően meredeken emelkedett, ami 1999-ben elkezdett csökkenni és azt követő években óriásit zuhant, majd 2002-ben a termesztés megszűnt

(National Potato Council Yearbooks, 1995-2002)



* acre: angol hold = 0,405 ha

Géntranszfer: *Agrobacterium tumefaciens* közvetített transzformáció

GM- tulajonság: *Lepidoptera* rezisztencia

Felhasználási cél: emberi fogyasztás, takarmányozás

Termesztési és/vagy felhasználási engedély: 16 országban

A konstrukció transzgénjeinek (*Cry1Ac*, *nptII*, *aad*) elemei:

1/ A *Cry1Ac* transzgén elemei: Promóter: CaMV35S vírus eredetű konstitutív promóter. Rezisztencia gén: a *Bacillus thuringiensis* subsp. *kurstaki* *Cry1Ac* delta-endotoxin csontolt génje. Terminátor: a szója beta-konglycinin gén alfa-alegységének poly-A terminátora. Kópiaszám: 1.

2/ Az *nptII* transzgén elemei: Promóter: *Agrobacterium tumefaciens* nopalín szintáz promótere. Marker gén: *Escherichia coli* neomycin foszfortranszferáz II. Terminátor: *A. tumefaciens* nopalín szintáz terminátor. Kópiaszám: 1.

3/ Az *aad* transzgén elemei: Promóter: bakteriális, ami növényben nem működik. Markergén: 3'(9)-0-aminoglikozid-adeniltranszferáz. Terminátor: bakteriális.

Ti-plazmid határszekvenciái: *A. tumefaciens* nopalín Ti-plazmid jobb oldali határszekvenciája.

A GM növényben 0,44 µg/g (friss súly), a levelében, 1,56 µg/g, a magban 0,86 µg/g. A *Cry*-fehérje nem tartalmaz olyan aminosav-szekvenciákat, melyek toxikusak, vagy allergének lennének az ember és az emlősök számára.

Rovarrezisztens GM-burgonya

A burgonya esetében a fentiekben bemutatott fajokhoz képest más a helyzet. Termesztése az USA-ban 1995-ben kezdődött, hároméves fel-futás után, a burgonyabogár-rezisztens GM-fajták termesztése 2002-ben teljesen leállt (3. ábra), először az amerikai gyorsétermek, majd a chipsgyártók elutasító álláspontja miatt. Az utóbbi kiváltó oka a japán importőrök által bejelentett bojkott volt az amerikai GM-burgonyából készült chips-szel szemben. A szabadalmaztatott génkonstrukciók

(eventek) száma 31, amiből elvileg 30 van jelenleg kereskedelmi forgalomban.

Rovarrezisztens GM-fajták termesztésének fontosabb előnyei és kockázatai (4-5. ábra)

❖ **Előny:** A rovarrezisztens fajták növényei maguk termelik meg azt a toxint, ami a célzott kártevő elpusztításához szükséges. Természetesen ennek logikus következménye, hogy nincs szükség vegyszeres vé-

dekezésre (6. ábra). **Hátrány:** A GM-fajták *Cry*-génjei előtt általában folyamatosan működő (konstitutív) promóter van. Ez azt jelenti, hogy a GM-növényállomány föld feletti és föld alatti szerveinek, szöveteinek sejtjei, az egész tenyészidőszakban folyamatosan termelik a toxint. A GM-növények által 1 hektáron termelt toxin mennyisége ezért nagyságrendekkel haladja meg a biopeszticidként használt DIPEL kezeléssel kijuttatott *Cry*-toxin mennyiségét. Tehát a

4. ábra

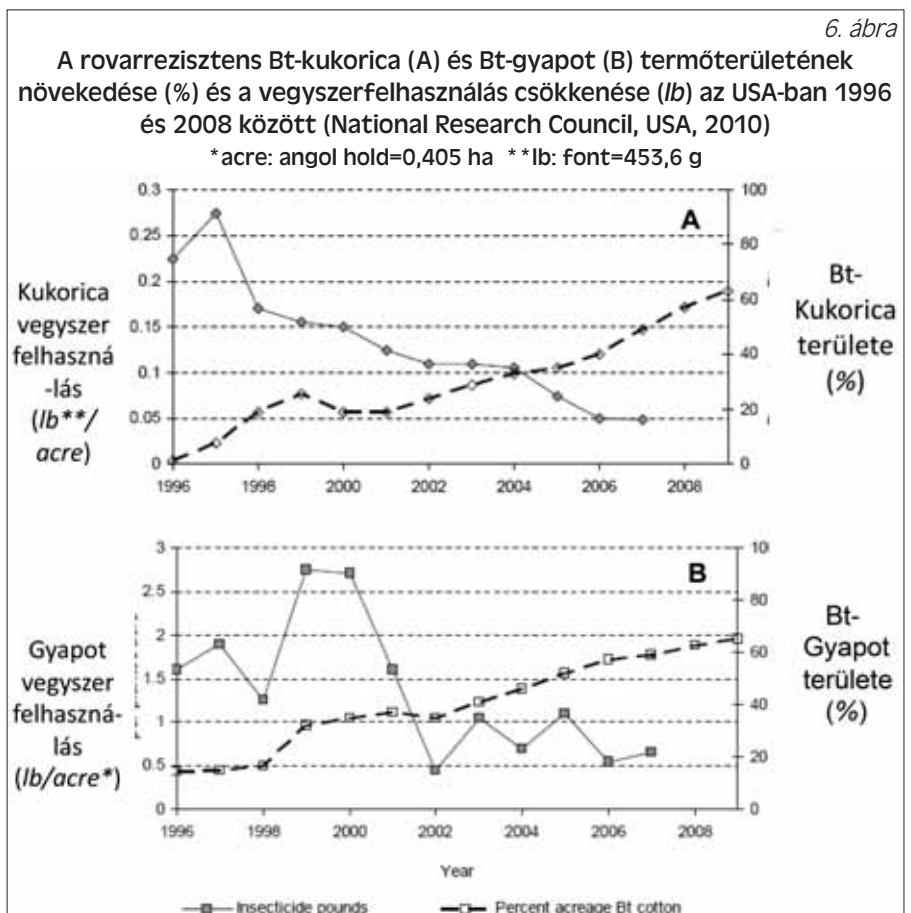
Rovarrezisztens GM-kukorica termesztés fontosabb előnyei

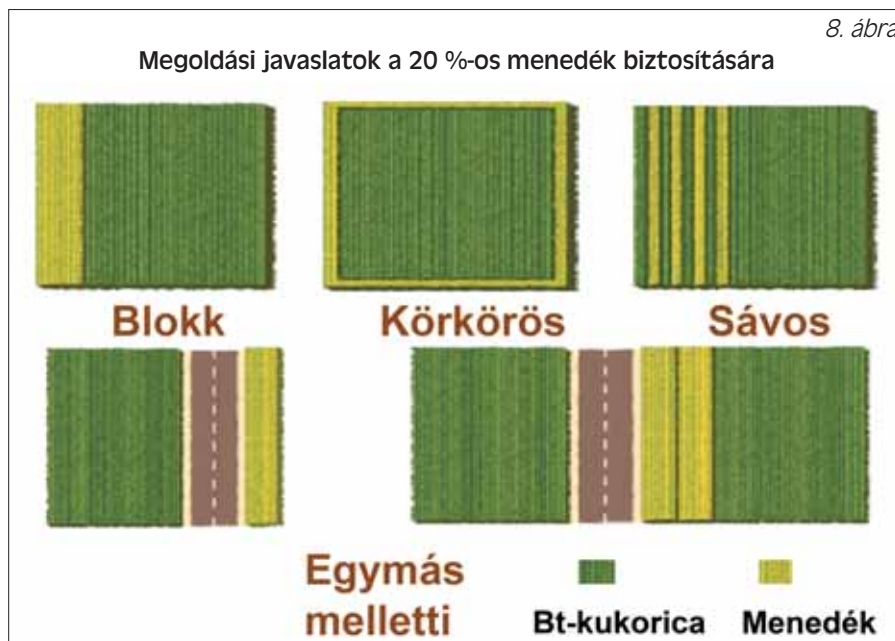
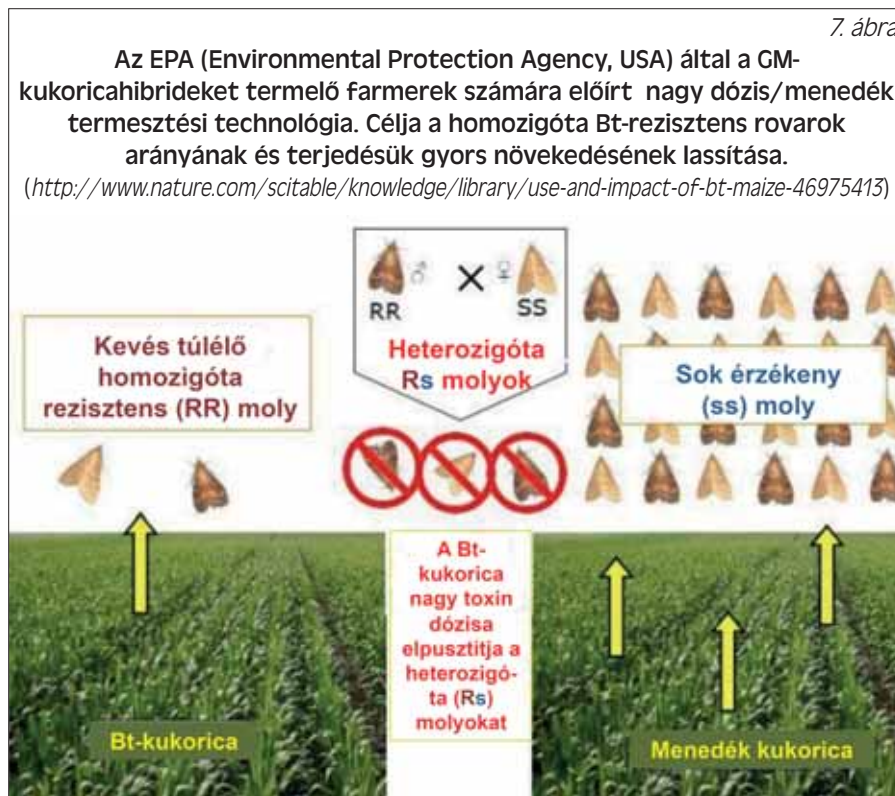
- ❖ **nő a termés**, ahol a rovarkártétel nagy volt és addig nem védekeztek
- ❖ **a vegyszerfelhasználás csökken**, ahol a rovarkártétel nagy volt és addig nem védekeztek
- ❖ biztosítja a **kukorica monokultúrában** való termesztetőségét

5. ábra

Rovarrezisztens GM-kukorica termesztés fontosabb kockázatai

- ❖ **Rezisztens rovarpopulációk alakulnak ki**
- ❖ **A GM-növény minden sejtében folyamatosan termelődő „kapszulázott toxin” miatt:**
 - » élelmiszer- és takarmánybiztonsági kockázatok
 - » a terület vegyszerterhelése nő
- ❖ **Génáramlás és génmegszökés:**
 - » vadflóra irányába (biodiverzitás probléma)
 - » kultúrflóra irányába (koegzisztencia probléma)





terület vegyszerterhelése nem csökken, hanem nő. **Hátrány:** Kínában a vegyszeres védekezés hiánya miatt néhány év alatt úgy felszaporodott a mezeipoloska-populáció, ami a 3 millió ha GM-gyapot körül teljesen letarolta a zöldség- és gyümölcskerteket. A gyapottok-moly kipusztulása és a vegyszeres permetezés elmaradása miatt egy ökológiai rés keletkezett (niche), amit a mezeipoloska azonnal kitöltött. Tehát az ökoszisztémát egységes

egésként kell a jövőben kezelni. Jelenleg 25 millió hektáron folyamatosan monitorozzák a mezeipoloska-állományt és gradáció esetén permetezni kell (<http://www.scidev.net/global/biotechnology/news/bt-cotton-linked-with-surge-in-crop-pest.html>).

❖ **Előny:** azokban az esetekben, amikor a kártétel nagy, és ennek ellenére a gazdák nem védekeznek, a GM-fajták használatával a kártétel minimálisra csökken,

tehát a betakarítható termés nő. **Hátrány:** sokkal olcsóbb hagyományos technológiák is vannak, melyekkel a kártétel jelentősen csökkenthető, pl. a kukoricabogár esetében a vetéscserzés, a kukoricamoly esetében pedig a kukoricaszár megsemmisítése étetéssel.

❖ **Előny:** Biztosítja a kukorica termeszthetőségét monokultúrában. **Hátrány:** a monokultúra kedvez a Cry-toxinokra rezisztens rovarok, rovarpopulációk kialakulásának. Ezek elterjedése esetén a GM-hibridek rovarölő hatása jelentősen csökken (7-8. ábra)

❖ **A konstitutív promóter okozta további kockázatok:** A konstitutív promóter miatt a GM-növényállomány minden sejtje termeli a toxint, ami számos felesleges probléma és veszély (termesztésbiztonsági, élelmiszer-biztonsági és környezetbiztonsági kockázatok) forrása (9. ábra). A pollen nemcsak tartalmazza a transzgént, hanem az működik is, tehát a pollenben is termelődik a toxin, ami a méhek közvetítésével a mézbe is bekerül. A csemege- és takarmánykukorica csöveinek szemeiben is termelődik a toxin, felesleges félelmet és ellenállást váltva ki a fogyasztókban. **Megoldást** az jelentené, ha a jelenlegi konstitutív promótereket szövet- vagy szervspecifikusra cserélnék ki a fajtatulajdonosok. A kukoricabogár esetében ugyanis elég lenne, ha a toxint csak a gyökér sejtjei, a kukoricamoly esetében pedig csak a szár sejtjei, a gyapottok-molynál csak a tok szövetének sejtjei, a burgonya esetében pedig csak a zöld növényi részek, pl. a levelek sejtjei termelnék. Ennek előnyös következménye az, hogy azok a növényi részek melyek fogyasztásra, vagy ipari feldolgozásra (pl. élelmiszeripar) kerülnek, nem tartalmazzák a toxint.

❖ **A génáramlás és génmegszökés veszélyei:** A génáramlás (biológiai, fizikai) és a génmegszökés miatt a hagyományos és biotermesztők nem érezhetik

9. ábra

A jelenleg köztermesztésben lévő rovarrezisztens kukoricahibridekben a toxint a GM-növény minden szerve, szövete és sejtje termeli, ami élelmiszer-, környezet- és termesztésbiztonsági kockázatok forrása



magukat biztonságban. Az elmúlt évtizedben ugyanis bebizonyosodott, hogy maguk a GM-fajtatulajdonosok, a nagy globális cégek sem tudják biztosítani a hagyományos hibridekben és fajtaikban a GMO-mentességet! Egy országot pedig kiválóan és gyorsan el lehet fertőzni GMO-kal, abban az esetben, ha a hagyományos fajta vetőmagjai 0,1 %-ban tartalmaznak GMO-szemeket (ld Agrofórum 2013/12, decemberi számában). Az USA-ban ez azért nem jelentett problémát az elmúlt 17 évben, mert ott nem volt és jelenleg sincs jelölési kö-

telezettség, tehát nem tesznek különbséget GMO és hagyományos, vagy biotermék között.

*

A következő részekben a transzgenikus kórokozó (vírus, baktérium, gomba) rezisztencia kialakításának géntechnológiai stratégiáival és eredményeivel foglalkozunk.

Kutató Kari Kiválóság Támogatás – Research Centre of Excellence – 17586-4/2013/TUDPOL

Felhasznált források:

📖 Bruce, E.T., Thierry, B, Yves, C.:

2013. Field-evolved Resistance to Bt Cotton with Reduced Efficacy Reported. *Nature Biotechnology* 3, 510-521

📖 Edward, J.G., David, S.D.: 2008. The Present and Future Role of Insect-Resistant Genetically Modified Potato Cultivars in IPM. in: Romeis, A.M. Shelton, G.G. Kennedy (eds.) *Integration of Insect-Resistant 195 Genetically Modified Crops within IPM Programs*. Chapter 7, 195-222. Springer Science + Business Media B.V.

📖 Heszky L.: 2013. A GM növényekről tárgyilagosan. *Agrofórum* 24/12, 62-67.

📖 Koziel, M.G. et al.: 1993. Field Performance of Elite Transgenic Maize Plants Expressing an Insecticidal Protein Derived from *Bacillus thuringiensis*. *Bio/Technology* 11/2, 194-200.

📖 National Research Council: 2010, *The Impact of Genetically Engineered Crops on Farm Sustainability in the United States*. Washington, DC: The National Academies Press.

📖 Vaughn, Ty. et al.: 2005. A Method of Controlling Corn Rootworm Feeding Using *Bacillus thuringiensis* Protein Expressed in Transgenic Maize. *Crop Science* 45/5-6, 931-938

Az event (génkostrukció)

leírások forrásai:

📖 http://cera-gmc.org/index.php?action=gm_crop_databas

📖 <http://www.gmo-compass.org/eng/gmo/db/>

📖 <http://www.isaaa.org/gmapprovaldatabase/commercialtraitlist/default.asp>

SZINES