

"GÉNTÉCHNOLÓGIA HARMÓNIÁBAN A ZÖLD VILÁGGAL"

Összefoglaló

a

2004. április 6-án megrendezett konferencián
elhangzott előadásokból



MTA Agrártudomány Osztálya
Biotechnológiai Bizottság

Barabás Zoltán Biotechnológiai
Egyesület

Országos Mezőgazdasági Minősítő Intézet

A konferencia előadói

Elnök:

Barnabás Beáta (MTA Agrártudományok Osztálya Biotechnológiai Bizottság elnöke)

Felkért előadók:

Francesca Tencalla (Monsanto UK Ltd.)

A döntéshozatal módja a genetikailag módosított termények forgalmazásával kapcsolatban az Egyesült Királyságban

Milos Nemeč (Ministry of Environment, Prague, Czech Republic)

A genetikailag módosított termények forgalmazásának engedélyezése a Cseh Köztársaságban

Balázs Ervin (Mezőgazdasági Biotechnológiai Központ, Gödöllő)

Az idegen gének nyomon követése

Matók György (Országos Mezőgazdasági Minősítő Intézet, Budapest)

Pollenterjedési vizsgálatok: a kukorica áruféleségek együttélésének szervezése

Graham J. Brookes (Brookes West Company, Kent, UK)

A herbicid-ellenálló növények termesztésének üzemi hatása Spanyolországban és Romániában

Kiss József (Szent István Egyetem, Növényvédelmi Tanszék, Gödöllő)

Transzgénikus Bt kukorica (Mon81, Cry1Ab) hatása nem- célszervezet rovarokra szántóföldön

Jay Pershing (Monsanto Company, St. Louis, USA)

Kukoricabogár elterjedése és az ellene való védekezés az Egyesült Államokban

Achim Gathmann (Aachen University, Aachen, Germany)

A genetikailag módosított növények kereskedelmi forgalomba hozatala az Európai Unió piacán – a környezetkockázat-elemzés tudományos alapjai és szabályozása

Dudits Dénes (Szegei Biológiai Központ, MTA, Szeged)

Szárazság és géntechnológia



ELŐSZÓ

A géntechnológiával nemesített (GM) növények felhasználásával foglalkozó idei konferencia megszervezését többek között az Európai Unió hivatalos állásfoglalásában bekövetkezett változások teszik különösen aktuálissá. Az elhangzó szakmai elemzések világosan jelzik, hogy már európai példák is mutatják a GM növények termesztésének és az ilyen termékek forgalmazásának létjogosultságát. Az európai tagországok közül Spanyolország és Franciaország után Nagy-Britanniában is engedélyezték a géntechnológiával nemesített (GM) haszonnövények kereskedelmi célú termesztését. A magyar mezőgazdaság irányításáért felelős intézmények és szervezetek számára fontos információt jelent az, hogy a Cseh Köztársaságban is engedélyezték az ilyen termények forgalmazását, illetve Romániában a transzgenikus szója termesztése révén jelentősen nőtt országos szinten is a nyereség. Külön figyelmet érdemelnek azok a szakmai elemzések, amelyek rávilágítanak a transzgenikus fajták jelentőségére a Magyarországon is egyre több kárt okozó kukoricabogár (*Diabrotica*) elleni védekezésben. Magyarország, hasonlóan számos Európai Uniói országhoz, már évek óta jelentős gazdasági károkat szenved az aszály okozta termés kiesés folytán. Bár a növények szárazságtűrését és vízhasznosító képességét javító géntechnológiai megoldások még nem jutottak el a fajta-előállítás későbbi fázisaiba, elkerülhetetlen ezeknek a kutatásoknak a kiszélesítése és a növény nemesítők munkájának segítése a genomikai módszerek felhasználásával.

A konferencia anyagát összefoglaló tanulmányok számos példát szolgáltatnak arra, hogy a géntechnológiával nemesített GM növények megbízható alapot nyújthatnak a környezetbarát mezőgazdasági technológiák bevezetéséhez és elterjedéséhez. A hagyományos és a géntechnológiai fajták egymásmellettiése (koegzisztenciája) nemcsak gazdasági, hanem környezetvédelmi előnyökkel is járhat.

Ez a tanulmány és az alapjául szolgáló konferencia akkor éri el a célját, ha nyilvánvalóvá válik mind a döntéshozók, mind a közvélemény számára, hogy a géntechnológiára épülő növény nemesítés a magyar gazdát is segítheti mindennapi munkájában, és javíthatja a magyar mezőgazdaság nemzetközi versenyképességét.

Dudits Dénes

HAT ÉV KEMÉNY MUNKÁJA! AZ EGYESÜLT KIRÁLYSÁG ÁLLÁSPONTJÁNAK KIALAKULÁSA A GENETIKAILAG MÓDOSÍTOTT (GM) TERMÉKEK KERESKEDELMELI FORGALMAZÁSÁT ILLETŐEN

Francesca Tencalla

Monsanto Europe, 270 – 272 Avenue de Tervuren, 1150 Brussels, Belgium

Bevezetés

1996 februárjában néhány szupermarket egy genetikailag módosított paradicsomból készült sűrítmény árusítását kezdte meg szerte az Egyesült Királyságban, mely igen népszerűvé vált a vásárlók körében. Az 1990-es évek végén azonban a GM haszonnövények ügye nagy port vert fel az Egyesült Királyságban csakúgy, mint sok más európai országban. 1999 februárjában egész Nagy-Britanniát megrázta a hír, mely szerint a genetikailag módosított élelmiszerek veszélyesek lehetnek: Pusztai Árpád biokémikus azt állította, hogy a GM burgonya káros hatást fejt ki patkányokon. A média heteken belül a hamarosan „Frankenstein élelmiszerek” néven emlegetett ügy hatása alá került. Úgy tűnt, hogy a szalmonellát, a lisztériát és persze a kergemarhakórt követően, a GM élelmiszerek ügyének menetrendje is az egyéb élelmiszer-hisztériák esetében megszokott módon alakul. Még ugyanazon év júliusában, a biztonságossággal kapcsolatos aggodalmak nyilvánosságra hozatalát követően, a GM paradicsomot kivonták a forgalomból.

A genetikailag manipulált termékekről folyó vita az európai jogi szabályozás jelentős felülvizsgálatához vezetett, mégpedig a genetikailag módosított organizmusok környezetbe történő szándékos kibocsátásával foglalkozó direktíva korszerűsítéséhez, valamint a GM élelmiszerek és takarmányok kockázatfelmérésével, illetve a GM termékek nyomkövethetőségével és jelölésével kapcsolatos rendeletek kiadásához.

Miután Nagy-Britanniának egy a GM haszonnövények termesztésére irányuló moratóriummal kellett szembenéznie, a kormány és az ipar 1999-ben megállapodást kötött egy széleskörű felmérési program (a „Farmgazdasági szintű felmérések) megvalósítására, melynek célja a GM haszonnövények természetre gyakorolt hatásának vizsgálata volt, a farmgazdaságok szintjén. 2002 nyarán a Mezőgazdasági és Környezeti Biotechnológiai Bizottság (AEBC) jövőkutatással foglalkozó al csoportjának tanácsára a brit kormány egy három vonalon zajló konzultációt indított el, mely egy nyilvános vitát (az „Egyesült Királyság mint GM nemzet”

vitát), a tudomány jelenlegi állásának áttekintését, valamint a gazdasági kérdések áttekintését foglalta magába.

A brit kormány a Farmgazdasági szintű felmérések és a háromszálú konzultáció eredményei alapján szándékozott GM haszonnövényeket érintő politikáját kialakítani és eldönteni, hogy tovább menjen-e egy lépéssel és engedélyezze-e, első ízben, GM haszonnövények termesztését az Egyesült Királyságban.

Ez a tanulmány azt az egyedülálló, bizonyítékokra alapozó folyamatot mutatja be, mely az Egyesült Királyságban zajlott az elmúlt hat évben annak érdekében, hogy az ország kialakítsa politikáját és történelmi jelentőségű döntést hozzon a GM haszonnövények kereskedelmi forgalmazását illetően.

Farmgazdasági szintű felmérések (Farm-Scale Evaluations, FSE)

1998-ban három genetikailag módosított herbicid-toleráns haszonnövény (egy olajrepce-, egy kukorica- és egy cukorrépa fajta) már szinte elnyerte a kereskedelmi forgalomba hozatal jogát az Egyesült Királyságban, amikor aggodalmak merültek fel ezen növények termesztésének környezeti hatásait illetően. Természetvédő testületekkel, környezetvédő csoportokkal és az ipar képviselőivel való konzultációt követően a kormány 1999-ben megegyezett a SCIMAC (Ellátási Lánc Kezdeményezés a Módosított Mezőgazdasági Haszonnövényekkel Kapcsolatban) gazdálkodó- és ipartestülettel egy széleskörű szabadföldi kísérlet végrehajtásáról, mely ezen három GM haszonnövény termesztésének a mezőgazdasági művelés alatt álló területek élővilágára gyakorolt szélesebb hatásait szándékozott vizsgálni és azokat a jelenlegi gazdálkodási gyakorlattal összevetni. A kutatók egyetlen kérdésre kerestek választ: van-e bármilyen jelentős eltérés a gyomok, illetve a rovarok mennyiségét és diverzitását illetően GM, illetve nem-GM haszonnövények termesztésekor?

A programot egy Tudományos Irányító Bizottság felügyelte, melyben jelen voltak az English Nature és számos természetvédelmi testület képviselői is. Az ökológiai monitorozást egy független kutatási intézményekben dolgozó tudósokból álló konzorcium irányította, melyet az Ökológiai és Hidrológiai Központ vezetett. Az első kísérletek 1999-ben zajlottak az ökológiai monitorozási rendszer és a tudományos módszerek kipróbálására, finomítására. Ezeket a kezdeti kísérleteket követően a Tudományos Irányító Bizottság meghatározta, hogy

haszonnövényenként 60-75 termőhelyről kell adatot gyűjteni a program teljes három éve alatt (tavaszi vetésű termények esetén 2000-tól 2002-ig). Négyféle herbicid-toleráns GM haszonnövényt vontak be az FSE-be: tavaszi vetésű olajrepcét, takarmánykukoricát, répát (mind cukor-, mind takarmány-változatát) és őszi vetésű olajrepcét.

2003 októberében a tavaszi vetésű terményekre vonatkozó eredmények a Philosophical Transactions of the Royal Society című tudományos folyóiratban jelentek meg, nyolc szakmailag lektorált tanulmány formájában. Az őszi vetésű olajrepcével kapcsolatos további megfigyelések eredményei 2004-ben várhatók.

Közlés után az eredmények a kormány GMO-k kibocsátásával foglalkozó törvényes tanácsadó testülete, a Természetbe Történő Kibocsátás Tanácsadó Bizottság (Advisory Committee on the Release to the Environment, ACRE) elé kerültek. Az ACRE figyelembe vette az érdekeltektől és a szakértőktől érkező egyéb információkat is, majd 2004 januárjában eljuttatta véleményét a kormányhoz a Farm-szintű Felmérések eredményeiről a GM haszonnövények Egyesült Királyságban történő kibocsátására vonatkozóan (<http://www.defra.gov.uk/news/latest/2004/gm-0104.htm>).

Konzultációk az Egyesült Királyságban: a három szál

1999 februárjában a közvéleménynek a GM haszonnövények miatti félelme csúcspontot ért el, a médiában mindennaposak voltak a témával foglalkozó szalagcímek. Válaszként a kormány létrehozta a Mezőgazdasági és Környezeti Biotechnológiai Bizottságot (AEBC) azzal a feladattal, hogy tanulmányozza azokat a biotechnológia fejlődésével összefüggő szociális és etikai kérdéseket, melyek hatással lehetnek a mezőgazdaságra és a környezetre, és hogy stratégiai tanácsokat adjon ezzel a politikailag fontos területtel kapcsolatban.

Az AEBC egyik javaslata az volt, hogy a kormány kezdeményezzen nyilvános konzultációt a GM haszonnövények lehetséges kereskedelmi forgalmazásáról az Egyesült Királyságban. A kormány elfogadta a javaslatot és 2002 augusztusában országos vitát indított a biotechnológiáról, melynek három szála volt:

- egy nyilvános vita (az „Egyesült Királyság mint GM nemzet” vita),
- a GM haszonnövényekkel kapcsolatos tudományos kérdések áttekintése,

- a GM haszonnövények gazdasági költségeinek és hasznának felmérése.

A vita vezetésére egy irányító testületet neveztek ki, melynek élén az AEBC állt, és melyben jelen voltak az NGO közösség, a biotechnológiai ipar, az egészségügy, és a fogyasztói szervezetek képviselői, valamint a tudomány és a gazdaság különböző területein dolgozó kutatók.

Az „Egyesült Királyság mint GM nemzet” vita

A vita részeként nyilvános fórumokat szerveztek szerte az országban, valamint online beszélgetéseket az interneten, melyek eredményei 2003 végén jelentek meg az alábbi címen: http://www.gmpublicdebate.org/ut_09/ut_9_6.htm#download. Válaszként arra a kritikára, hogy a válaszolók „ön-szelekciója” torzítja az eredményeket, kiegészítő felmérés is készült egy kisebb populáción, melynek eredménye szintén nyilvánosságra került.

Tudományos áttekintés

A tudományos áttekintést a kormány főtanácsadója, Sir David King és egy független, különböző szakterületeken és intézményekben dolgozó tudósokból álló testület hajtotta végre. A tudományos testület feladata az volt, hogy áttekintést adjon a GM haszonnövényekre vonatkozó tudományos ismeretekről, különös tekintettel a nyilvánosságot érdeklő kérdésekre és aggodalmakra. A tudományos áttekintő testület két jelentést adott ki, az elsőt 2003 júliusában, a másodikat pedig 2004 januárjában, mely utóbbi már figyelembe vette a közvélemény visszajelzését az első jelentésről. A jelentések teljes anyaga az alábbi címen érhető el: <http://www.gmsciencedebate.org.uk/>.

Gazdasági áttekintés

A gazdasági áttekintés, melyet a Miniszterelnöki Hivatal Stratégiai Egysége hajtott végre, átfogó, kiegyensúlyozott elemzést adta a jelenleg létező GM haszonnövényekkel kapcsolatos költségeknek és haszonnak, valamint az elkövetkező 10-15 év lehetséges fejlődésének és felvázolta a jövő lehetséges útjait. A tanulmány a költségek és a jótékony hatások széles körét vette figyelembe, nem csak azokat, melyek értéke pénzben mérhető. Csakúgy, mint a vita másik két szála, ez a tanulmány is megtalálható online, az alábbi címen:

<http://www.pm.gov.uk/output/Page3673.asp>.

2004 március: Az Egyesült Királyság döntése

2004 márciusában került kibocsátásra az Egyesült Királyság régen várt nyilatkozata, mely jelentős mérföldköve volt a kormány e témát érintő politikájának és mely lezárását jelentette az elmúlt hat év során lezajlott, GM-ekkel kapcsolatos egyedülálló kezdeményezés-sorozatnak.

2004. március 9-én Beckett miniszterasszony a Parlamentben bejelentette a kormány azon döntését, hogy támogatja a GM haszonnövények kereskedelmi forgalmazását egy esetről esetre történő elbírálási folyamat alapján, melyet óvatossági, bizonyítékokra alapozó eljárás előz meg, és engedélyezi az FSE-ben vizsgált egyik növény, a herbicid-toleráns kukorica termesztését.

Azáltal, hogy egy GM kukorica variáns kereskedelmi célú termesztését támogatta, így első ízben adva ki engedélyt egy GM haszonnövényre, az angol kormány egy kicsit közelebb vitte Európát ahhoz, hogy a GM haszonnövények és élelmiszerek engedélyezésére vonatkozó, ötéves moratórium véget érjen. Valószínűleg még egy évbe telik, mire ez a kukoricafajta bekerülhet az Egyesült Királyság nemzeti magnilyvántartásába. Nagy-Britannia ezzel még mindig csak a harmadik EU-ország lesz Spanyolország és Franciaország mögött azon országok sorában, melyek egy vagy több genetikailag módosított haszonnövény kereskedelmi célú termesztését teljes mértékben engedélyezik.

A GÉNTECHNOLÓGIAI ÚTON MÓDOSÍTOTT SZERVEZETEK NYOMON KÖVETÉSE

Balázs Ervin

Mezőgazdasági Biotechnológiai Kutatóközpont, Környezetbiotechnológiai Intézet

2100 Gödöllő, Szent-Györgyi Albert u. 4.

balazs@abc.hu

A transzgénikus növények egyre szélesebb körű elterjedésével együtt kidolgozásra került az elővigyázatosság elvének figyelembevételével a beépített idegen gének nyomon követésének módszertana. A molekuláris biológia legkorszerűbb technikáinak felhasználásával mind qualitative, mind quantitative nagyfokú biztonsággal megállapítható egy-egy beépített gén sorsa. A nyomon követés célja többféle lehet, egyrészt a gén természetes életközösségekben való elterjedésének nyomon követése, vagy pedig a táplálékláncban betöltött szerepének feltárása. A nyomon követés két különböző megközelítésben történhet, vagy az örökítő anyagban (DNS-ben) való azonosítás, vagy pedig a beépített gén termékének adott esetben egy-egy fehérjének a kimutatása. Az örökítőanyag szinten használatosak a különböző nukleinsavhibridizációs módszerek Southern, Double-Sandwich Hibridization, folyadékhibridizációs azonosítás, és a polimeráz láncreakció legkülönbözőbb formái. Míg a fehérje esetében, rendelkezésre állnak az ELISA technika legkülönbözőbb variációi, a Western blot és a legújabban egyre inkább elterjedő, rutinszerűen a helyszínen használható membráncsíkra kötött ellenanyag reakción alapuló gyorseszteszt. A genomika és a proteomika irányzatának megfelelően a DNS és fehérje chippek felhasználása is egyes esetekben ma már rutinszerű, de a jövőben a legkorszerűbb azonosítási módszernek tekinthetjük. A módszerek egy része csak qualitative, míg más része quantitative. Ez utóbbi különösen azért fontos, mert az élelmiszerekben vagy élelmiszer felhasználásra kerülő termékek esetében az esetleges GM tartalom mennyiségét is meg kell adni. Közismert az is, hogy ez a határérték a különböző országokban eltérő, így az Európai Uniói országokban ez az érték 0,9%, míg Japánban 5%. Az élelmiszer és takarmány ipar számára kidolgozott technológiák egyrészt költségesek másrészt a különböző módszerek eltérő vizsgálati időt igényelnek. Ez nagyrészt befolyásolja az alkalmazandó/alkalmazott módszer megválasztását is. Itt kell arra is rámutatni, hogy az Egyesült Államok elsősorban a génterméken alapuló azonosításokat tekinti célszerűnek, míg az Európai Közösség országában a kimutatás az örökítő anyag szintjén történik. A módszerek felhasználásával kapcsolatosan még jelenleg is számos kérdés merül fel, így többek között vita tárgyát képezi, vajon szükséges-e ilyen analitikai pontosságú szuper-érzékeny

meghatározás, mert az sok esetben hamis eredményt adhat. A nyomon követésnél és az idegen gén kimutatásánál amúgy is nem az ismert esemény kimutatása az érdekes, hanem az illegális felhasználás, melyről semmilyen adatunk nincs. Kidolgozandó továbbá a mintavétel módszertana, a homogenitás érdekében, hogy az méltán reprezentálja az adott szállítmányt. Célszerűnek látszik a növényvédelemben szokásos karantén mintavételi eljárásokat alkalmazni.

A szabadföldi kibocsátás esetében a nyomon követés minden egyes esetben más és más, hasonlóan egyébként a feldolgozott vagy élelmiszeripari, takarmányipari termék esetében. Az idegen gén más növényre való átjutása hazánkban elsősorban a káposzta félek esetében lehet érdekes, míg a mezőgazdasági kultúrákban csak az azonos nem GM növényekre való keresztbeporzással terjedhet, amennyiben a növény beporzása rovarokkal vagy szél által történik. Itt számos biológiai tényezőt is figyelembe kell venni többek között a pollen életképességét és más kompatibilitási tényezőket. Az idegen gén nyomon követése itt több szinten történhet DNS ill. sejtszinten, fajszinten, nemzetség, vagy az egész növénytársulás illetve az ökoszisztéma bármely szintjén.

Függetlenül attól, hogy a nyomon követés milyen célból történik, azt kell eldönteni, hogy ezt a feladatot ki végzi, milyen módszertannal, azok elfogadását, validálását a nemzetközi standardokkal összhangban kell elvégezni.

POLLENTÉRJEDÉSI VIZSGÁLATOK: A KUKORICA ÁRUFÉLESÉGEK EGYÜTTÉLÉSÉNEK SZERVEZÉSE

Matók György

Országos Mezőgazdasági Minősítő Intézet, 1024 Budapest, Keleti Károly u. 24.

matokgy@ommi.hu

Bevezetés

Befejezéséhez közeledik az első genetikailag módosított hibrid kukorica fajták engedélyeztetési eljárása Magyarországon. 2004. február 19.-i ülésén az Országos Mezőgazdasági Fajtaminősítő Tanács elé 3 db rovar-rezisztens (Bt) hibrid vizsgálati eredményei kerültek. A Tanács álláspontja, illetve a Földművelésügyi és Vidékfejlesztési Minisztérium határozata az állami elismerést illetően még nem ismert.

A határozatot követően az új típusú (GM) hibridek forgalmazását megelőzően még egy adminisztratív lépés szükséges a fajták vetőmagjainak szabad forgalmazásához: a fajták termésének felhasználását a megfelelő ágazati (élelmiszer és/vagy takarmány) törvénynek megfelelően engedélyeztetni kell.

A kukorica áruféleségek együttélésének szervezése

Forgalomba kerülésüket követően a genetikailag módosított fajták hosszabb-rövidebb ideig együtt kell létezzenek a hagyományos növényfajtákkal és termékekkel. A GM technológia általános hatékonysága és a felhasználással nyert termékek olcsósága előidézheti a GM fajták és termékek monopolizálódását adott termékpiacon, vagy a hagyományos fajták és termékek visszaszorulását az organikus gazdálkodás keretei közé. A folyamat jogilag nem szabályozott és nem is szabályozható. Az együttélés stádiumának szabályait az Európai Unió Bizottsága 2003. július 23.-i ajánlása próbálja meg összefoglalni. Fontosabb megállapításait az alábbiakban foglalom össze:

Az együttélés (koegzisztencia) elve

- „A genetikailag módosított szervezetek (GMO) termesztése az Európai Unióban valószínűleg hatással lesz a mezőgazdasági termelés szervezésére.

... A gazdálkodóknak lehetőséget kell adni az általuk választott terméktípusok termesztésére, legyen az GM, hagyományos, vagy organikus növény. Ezen formák egyike sem zárható ki az Európai Unióban."

- "A közösségi jogban meghatározott küszöb feletti véletlen GM tartalom a termék GM termékként való címkézését vonja maga után. Ez bevételkiesést okozhat alacsonyabb ár vagy értékesítési nehézségek miatt." (Hagyományos termék is ronthatja ugyanakkor keveredés által egy különleges GM termék értékét.)

- "Általános alapelvként lehet elfogadni, hogy egy új termelési típusnak a régióba történő bevezetések az új termelési típust bevezető gazdálkodó/szereplő felel a génáramlást minimálisra csökkentő gazdálkodási intézkedések végrehajtásáért.

A gazdálkodók választhatják a számukra kedvező termelési típust, anélkül azonban, hogy a szomszédos gazdaságokat bevezetett termelési szerkezetük megváltoztatására kényszerítenék."

- "A tagállamoknak azokra a már engedélyezett, vagy az engedélyezéshez közelálló fajttal rendelkező GM növényekre kell koncentrálniuk, amelyeket az országban várhatóan jelentős mértékben termesztani fognak."

A GM kukorica bevezetése a hazai piacra

A tolerálható GM tartalom hagyományos kukorica termékben.

A Tanács 1139/98 EC számú, a Tanács 49/2000 EC számú rendeletével módosított rendelete az élelmiszerekre a címkézési küszöböt 0,9 %-ban határozta meg. Ez alkalmazható a nem GM takarmányok tolerálható GM tartalmára is. A GM növények elterjedésének kezdetén különös gondot kell fordítani ezen küszöbérték betartására a lehetséges kukorica (illetve sertés- és baromfihús) export lehetőségének és gazdaságosságának biztosítására. A GMO bekeveredés forrásai kukorica esetében az alábbiak:

A bekeveredés forrásai és valószínű mértéke

| Tényezők | GM % a termés %-ában |
|------------------|-----------------------------|
| vetőmag | 0,3 |
| vetés | 0 |
| termesztés | 0 |
| átporzódás | 0,2 |
| árvakelés | 0 |
| betakarítás | 0,001 |
| szállítás | 0,01 |
| tárolás | 0,05 |
| elérhető érték % | 0,57 |

Számottevő forrása tehát az idegen genetikai anyagnak a vetőmag és az idegenbeporzás. Jellemző értékük, illetve előfordulásuk kimutatására az Országos Mezőgazdasági Minősítő Intézetben 2000 óta végzünk vizsgálatokat. Kukoricában 2001-ben 1 tétel (kb. 60 % GMO) és 2002-ben 4 tétel (kimutathatóság határán GMO) vetőmagban találtak GM magvakat. A 2003. évi gyorseszteszt csíkokkal a "Trait Bt1" (alkalmas Mon 810, B 11 és Bt 176 esemény kimutatására) fajtakísérleti anyagon (31 fajta és vonal) elvégzett vizsgálat nem igazolt GM előfordulást.

Hivatalos mintákon (117 vonal, 100 db SC hibrid, 6 db alapegyszeres és 395 db fajtakísérletbe bejelentett hibrid) Vértes Tímea végzett glifozáttal (3 % Roundup), illetve glufozinát-ammóniummal (Liberty) preparált közegen csíráztatási próbát. Rezisztens, illetve toleráns fenotípusú növényt nem találtak.

Következtetés

A Magyarországon forgalmazott, illetve fajtakísérletbe került vetőmagok valószínűleg nem tartalmaznak GM anyagot. Munkahipotézisként a nem GM vetőmag GM tartalmának biztonságos becslésére elfogadható a 0,3 %-os szint. Organikus termesztés esetén a felhasználandó organikus vetőmagra ennél alacsonyabb határértéket kell majd figyelembe venni.

A pollen terjedése

A kukorica egylaki szélporozta növény. Pollenje a címerben képződik, nővirágzata a középső levelek hónaljában fejlődik. Számítások szerint egy megtermékenyített bibére 9.000-50.000 pollen jut. A virágpor túlnyomó többsége a tábla 5 m-es körzetében ér földet, és 98 %-a 25-50 m-es körzeten belül marad. Így hatékonyan csökkenti a hagyományos termék GM szennyeződését egy legalább 6 m-es határoló sáv külön betakarítása, de csak más intézkedésekkel (izoláció) együtt biztosítja a 0,9 % küszöbérték betartását (JRC, 2002).

Pollenterjedési vizsgálatok

Előzetes eredmények állnak rendelkezésre a kukorica 2003. évi kisparcellás fajtakísérletek herceghalmi és agárdi kísérletéből.

A minták - helyszínenként 30 db - a kísérletek nem GMO parcelláiból és szegélyeiből származó "közeli" minták (70 cm - 30 m).

A GM előfordulás kimutatása kvalitatív PCR módszerrel történt. A keresés a 35 S promoterre és a NOS terminátorra irányult.

Előzetes eredmények

Herceghalom

A 30 db minta mindegyike pozitív a NOS terminátorra. A 35 S promoter jele 8 minta esetében nem volt egyértelmű.

A minták GM tartalmának közelítő meghatározása, illetve igen/nem értékelése (0,9 % GM előfordulást feltételezve) a következő feladat.

Agárd

30 mintából 35 S promoterre történt GM keresés kvalitatív PCR alkalmazásával. Kilenc esetben a minták negatívnak bizonyultak. A 9 negatív mintából 8 a kísérlet átlóval behatárolható egyik oldaláról származik, ami magyarázható egy, a virágzás idején előfordult tartós egyirányú széllel. A GM tartalom mennyiségi meghatározása a következő feladat.

Pollenterjedés nagy távolságra

A herceghalmi kísérleti helyszín mellett kb. 800, illetve 850 m-re két árukukorica termőtábla széleiről és a belsejéből vettünk 3-3 helyről mintát oly módon, hogy távolságuk a GM pollen forrástól 800, 900, illetve 1000 m legyen a közelebbi tábla esetén és 850, 1000, illetve 1200 m a távolabbi táblán.

A PCR elemzések mind a hat mintánál negatívak voltak, megerősítve azt a feltételezést, hogy 200 m-en túl a GM pollen előfordulása esetleges, gyakorlati valószínűsége = 0.

A pollenterjedés sűrűségének változása a távolság függvényében

Sóskút kísérleti helyszínen a fajtakísérlet - mint a tanulmányozni kívánt RR - tulajdonság forrása mellett 1,0 ha-on váltakozó Bt, illetve annak kiindulási hagyományos változatából vettünk mintát és elemeztük glifozáttal preparált szűrőpapíron való csíráztatással. A 30 mintából mindössze kettőben volt kimutatható RR tulajdonság jelenléte (1, illetve 7 szem az 50-ből). A 12 sor pollencsapda okozhatta, hogy a többi minta mentes maradt az RR tulajdonságtól. A mennyiségi adatok azonban ellentmondanak a távolsággal együtt következetesen történő csökkenésnek (a 7 szemes minta a lehetséges forrásból távolabb eső volt).

A GM NÖVÉNYEK FARMGAZDASÁGI SZINTŰ HATÁSA EURÓPÁBAN: A BT KUKORICA SPANYOLORSZÁGI ÉS A ROUNDUP READY SZÓJA ROMÁNIAI ESETTANULMÁNYA

Graham J. Brookes

Brookes West, Canterbury Rd, Elham, Canterbury, Kent, CT4 6UE UK

graham.brookes@btinternet.com

Bevezetés:

Ez a cikk összefoglalja Romániában a Roundup Ready szója, Spanyolországban pedig a Bt kukorica farmgazdasági szintű hatásait vizsgáló kutatások eredményeit. A kutatásokat 2002 nyarán (Bt kukorica) és 2003 nyarán (Roundup Ready szója) végeztük.

Jelenleg ez az egyetlen tanulmány, amely az Európában kereskedelmi célból termesztett GM növények hatásainak részleges vizsgálatával foglalkozik.

Roundup Ready szója Romániában

A szója helyzete Romániában

Európában Románia rendelkezik a harmadik legnagyobb szójatermelő területtel (2003-ban 75 000 ha), Olaszország és Szerbia-Montenegro mögött; ez a terület a franciaországgal közel megegyező méretű. A fő szójatermelő területek az ország déli harmadában találhatók.

Kereskedelmi célokra 1999 óta termelnek Roundup Ready (RR) szóját. Az összes elvetett szójából az RR magok aránya 2003-ra 55-60%-ra emelkedett (beleértve a saját betakarítású vetőmagot is).

Gyomok és hagyományos növényvédelmi eljárások

A romániai mezőgazdaságban komoly problémát okoznak a gyomok, jelentős termés kiesést és terményminőség-romlást eredményezve. A gyomproblémát az éghajlati és talajviszonyok és az 1990 óta lecsökkent herbicidfelhasználás együttesen okozza. A gyomirtószerek csökkent alkalmazása (amit lényegében a régi szocialista gazdasági rendszer összeomlása és a piacgazdaságra való áttérés okozott) következtében jelentősen felszaporodott a gyommagállomány. Továbbá jelen vannak bizonyos problémás gyomok, mint pl. a

fenyércirok, amelyet, ha egyszer megtelepedett, a legtöbb gyomirtó szerrel rendkívül nehéz visszaszorítani. A teljes, ajánlott kezelés a szója elfogadható mértékben gyommentesen tartására 3 vagy 4, négyszeres permetezés különböző gyomirtó szerekkel. Ezeket az eljárásokat csak korlátozott számú gazda követi (ennek fő okai a pénzügyi háttér hiánya és az alacsony jövedelmezőség).

Az RR szója felhasználói

A szójatermelő gazdaságok átlagos mérete 400 ha, az RR szóját termelő gazdaságoké pedig körülbelül 500 ha (azonban nincs összefüggés a gazdaság mérete és a technika átvétele között). A legtöbb, RR szóját termelő gazdaság kizárólag, vagy elsősorban RR szóját termel – másképp megfogalmazva, ha termelnek is hagyományos szóját, ez az ültetvénynek csak egy kis hányadát teszi ki, és ez elsősorban az öntözővízhez, vagy az RR vetőmaghoz való korlátozott hozzáférést tükrözi (az utóbbi 2003-ban megbeszélés tárgyát képezi).

A technológia költsége

RR szóját Romániában Roundup gyomirtó szerrel együtt, kapcsoltan árusítják. Az eredeti ár 1990-ben 160 USD/ha-nak felelt meg, de ez 2003-ra körülbelül 130 USD/ha-ra esett. A gazdák által fizetett ár ugyanakkor a vásárlás helyétől és a kialakult kedvezményektől (nagy felhasználók) függően változik.

A technológia bevezetése óta a gyomirtó szerek átlag árfolyama nagyjából stabil maradt, bár az elmúlt 2-3 évben a Roundup ára körülbelül egyharmadával csökkent (követve a Romániában nemrég megjelent generikus glifozát-helyettesítő szerek csökkenő árát).

Hatás a hozamra

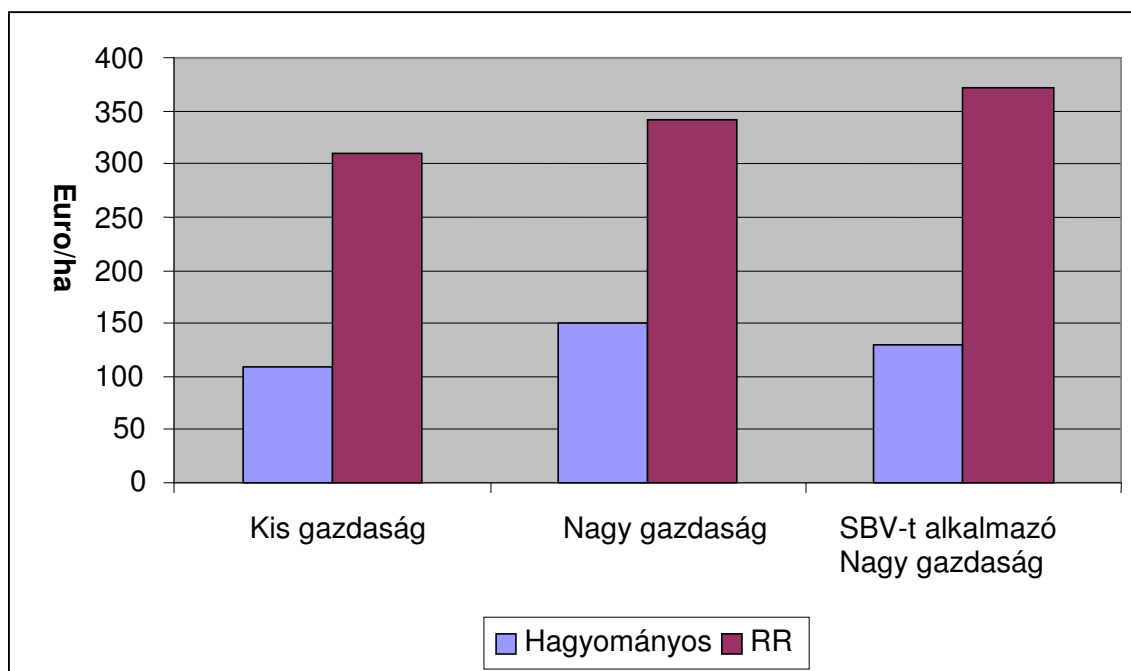
A hozamra gyakorolt hatás átlagosan +31% volt, +16% és +50% szélsőértékekkel (2-2,5 tonna/ha alaphozamra számítva). Ez a jelentős hozamnövekedés a javuló gyomirtásnak, különösen a megtelepedett „nehezen visszaszorítható” gyomok, pl. a *fenyércirok* visszaszorításának köszönhető. Ez a hozamnövekedés összevethető más országokban, például Argentínában, az Amerikai Egyesült Államokban és Kanadában - ahol a gyomok sokkal kisebb problémát jelentenek, mint Romániában – kimutatott, többnyire hozam-semleges hatásokkal.

A legtöbb gazda hasznát tovább növelte a szójatermésük eladási árának a megemelkedett terménymínőség miatti 2-3%-os emelkedése (kevesebb gyomszennyezés).

Hatás a költségekre és árreésekre

A román gazdák átlagosan jelentős költségmegtakarítást és bruttó árresemelkedést értek el. Az átlagos bruttó árresemelkedés fémzárolt vetőmagot felhasználó kis gazdaságoknál, fémzárolt vetőmagot felhasználó nagy gazdaságoknál, illetve saját betakarítású vetőmagot felhasználó nagy gazdaságoknál rendre +184%, +127% és +185% volt (1. ábra). Az RR szóját termeszto gazdák jelezték, hogy ez a termés (RR szója) a jelenleg legnagyobb hasznot hozó szántóföldi termés Romániában. Ez a haszon a megemelkedett hozam és a vetőmag jobb minősége (lásd fentebb), valamint az alacsonyabb termelési költség (megtakarítás a gyomirtó szerek és alkalmazásuk költségein) együttes eredménye.

A technológiának ez az átlagosan pozitív hatása sokkal nagyobb, mint más RR szóját termelő országokban – a gyomirtás jelentős javulásából fakadóan.



1. ábra: RR szója alkalmazásának hatása a bruttó árreésre Romániában 2002-03 között.

Megjegyzés: SBV = saját betakarítású vetőmag, kis gazdaság = 5000 ha-nál kisebb, nagy gazdaság = 5000 ha-nál nagyobb

Egyéb hatások/viták pontok az RR szója alkalmazásával kapcsolatban

- a) Egyes gazdák számára előnyt jelentett a nagyobb kényelem és flexibilisebb gondozás, elsősorban a permetezésre rendelkezésre álló hosszabb időszak.
- b) A romániai gazdák mostanáig nem vezettek be vagy látták bármilyen előnyét a minimális talajművelési rendszereknek, amely a technológia bevezetésének fő hatása volt más országokban, mint például az Amerikai Egyesült Államokban vagy Argentínában. A bevezetés azért nem valósult meg Romániában, mert egyrészt a különleges felszerelés/gépesítés beszerzésére fordítható pénzügyi források korlátozottak voltak, másrészt gyakoriak az agyagos talajok, ami megnehezíti a minimális talajművelési rendszerek alkalmazását.
- c) Egyes gazdák jelezték, hogy kis megtakarítást értek el az aratás költségein (rövidebb ideig tartó aratás).
- d) Jelentős haszon jelentkezett sok gazda számára a másodveteményeken. Különösen a másodvetésű kukoricánál volt kedvező a hatékonyabb gyomirtás és ebből eredően a kevesebb gyomirtó szer használata.
- e) Az összes RR szóját a szokásos piaci csatornákon keresztül értékesítették/értékesítik, anélkül, hogy elválasztanák a nem GM szójától.

Környezeti hatások

A gazdasági váltásnak és átrendeződésnek a mezőgazdasági szektorra gyakorolt hatása (bevetett területek nagyságának ingadozása és ellentmondásos információ) miatt nehéz tendenciákat kimutatni a gyomirtó szerek alkalmazásánál szóján és/vagy következtetéseket levonni azok alkalmazásáról. Az egyedüli következetesen megfigyelhető tapasztalat a glifozát elterjedtebb alkalmazása és a magasabb toxicitási profilt mutató gyomirtó szerek glifozáttal való felváltása. Ez a megfigyelés egybeesik a más országokban, például az Amerikai Egyesült Államokban és Argentínában tapasztaltakkal.

Országos szintű hatás

Összegezve a farmgazdaság szintjén a szójatermelésre és az árresekre gyakorolt hatást, az RR szója bevezetése 2002-03-ban körülbelül 8,23-8,62 millió euróval emelte a romániai szójatermelés értékét. A termeléstekintetében ez körülbelül +14 - +19%-nak felel meg.

Bt kukorica Spanyolországban

Spanyol kukoricatermesztés, kukoricamoly/problémák és hagyományos növényvédelmi eljárások

2003-ban Spanyolországban 470 000 hektár szemes kukoricát ültettek (az összes EU ültetvények 11%-a). Ennek több mint 90%-a öntözött. 1998-2002 között évenként 20 000-25 000 hektárra vetettek Bt kukoricát (további terjeszkedés nem történt a magot szállító Syngentával történt önkéntes megállapodás eredményeképp). 2003-ban a beültetett terület 32 000 hektárra nőtt, miután 2003 márciusában további öt, Bt-t hordozó változatot engedélyeztek kereskedelmi célú felhasználásra. A Bt kukoricát fő termőterületei Huesca, Zaragoza és Lleida tartományok (Aragon és Catalunya területei).

Az összes főbb termőterület, ahol Bt kukoricát termesztenek, éves átlagban magas vagy közepes fertőzöttségű – a kukorica spanyolországi termőterületének összesen körülbelül a negyede valószínűleg kukoricamollyal erősen fertőzött, további 40%-a pedig közepes veszélyeztetettségű területen.

A kukorica spanyolországi termőterületének körülbelül 6-20%-án alkalmaznak rovarirtó-kezelést a kukoricamoly elleni védekezésre. A kezelés vagy az öntözővízzel (csak klórpirifosz esetén), vagy légi (repülőgépi) permetezéssel történik. A kezelés átlagos költsége öntözővízes kezelés esetén 18-24 EUR/ha, légi permetezés esetén pedig 36-42 EUR/ha.

A spanyol kukoricaföldek többségén (35-45% a közepes/magas fertőzöttségű területek közül, ahol nem termelnek Bt kukoricát, továbbá 25% az alacsony fertőzöttségű területek közül) nem alkalmaznak semmilyen aktív védekezést a kukoricamoly ellen. Ennek oka elsősorban a kártevő támadásának évenként és helyenként változó jellege; a permetezés nagyon pontos időzítésének követelménye (a peték kikelése utáni 2-3 napos időszak) és ezt nem könnyű megoldani; az a tény, hogy a peték három hetes időszak alatt kelnek ki, viszont a rovarirtó szer mindössze néhány napig hatásos; a kezelés alacsony hatékonysága a szárba már behatolt molyok ellen; a kár mértékének korlátozott megítélhetősége, és a kezelés magasnak ítélt költsége.

A kukoricamoly egyes, éves átlagban erősen fertőzött területeken, ahol nem alkalmaznak rovarirtó szereket, a becslések szerint átlagosan 15% terméskiesést okoz, és átlagosan 10%

terméskiesést még olyan területeken is, ahol alkalmaznak ugyan rovarirtó szereket, de az optimálistól eltérő időszakokban. Országosan az átlagos terméskiesés feltehetően kevesebb, de 5-7%-on belül esik.¹

Bt kukorica alkalmazásának hatása

A Bt kukorica vetőmag ára az összehasonlítható alternatívákhoz képest 18-31 EUR/hektár, bár a felhasználók többsége számára, akik szövetkezeteken keresztül szerzik be a vetőmagot, ennek a tartománynak az alsó határa a tipikusabb.

Mivel a kukoricamoly által okozott terméskiesés helytől, évtől, éghajlati viszonyoktól, vetési időtől, rovarirtó szerek alkalmazásától és az alkalmazás idejétől függően változik, a Bt kukorica ültetésének pozitív hatása a hozamra változó. Huesca tartományban, ahol a magas fertőzöttség a tipikus, a hozamemelkedés 10% (1 tonna/hektár 10 tonna/hektár alaptermelésre számolva) ott, ahol korábban alkalmaztak rovarirtó szert és 15% ott, ahol nem. Más kutatások több területen, de csak 1997-re átlagosan 6,3% hozamnövekedést írtak le (2,9% és 12,9% között), míg egyes alacsony/közepes fertőzöttségű területeken az elmúlt négy év alatt az átlagos hozamnövekedés körülbelül 1% volt.

A Bt kukorica alkalmazásának hatása a költségekre: kb. +18,5 EUR/hektár a Bt vetőmagért, és -24-től -102 EUR/hektár megtakarítás is keletkezik a kukoricamoly és bizonyos esetekben a pókatka elleni permetezés megszüntetésével (egyes gazdák megfigyelték, hogy az ECB (European corn borer, kukoricamoly) ellen alkalmazott rovarirtó szerek hasznos rovarokat is elpusztítanak). Ahol a hagyományos terményt nem kezelték rovarirtó szerekkel, ott a költségnek ennek az elemére kifejtett hatás nulla. További marginális megtakarítás keletkezik a munka/gondozási idővel kapcsolatban, a földek bejárásával és/vagy egyes rovarirtó szereknek az öntözővízzel való kijuttatásával összefüggésben.

A Bt kukorica hatásai a jövedelmezőségre Spanyolország Huesca tartományának gazdaságaiban a következők:

- Sarinena területen (éves átlagban magas ECB-fertőzöttségű terület) az árrekek pozitív mérlege a Bt kukorica használatából eredően +67 EUR/ha - +329,5 EUR/ha (átlagosan +146,5 EUR/ha). Ezen a területen termelt kukorica bruttó árérére számolva, ez +5,5 -

¹Nyilvánvaló, hogy az optimális időben alkalmazott rovarirtószer-kezelés a terméskiesést 70 - 90%-kal csökkentheti, de amint írtuk, ez ritkán lehetséges, praktikus vagy költséghatékony.

+32,4%-os (átlagosan +12,9%) növekedésnek felel meg. A jövedelmezőség e növekedése jelentősen ellensúlyozná az Európai Bizottság félidei felülvizsgálati javaslataiból (Mid Term Review Proposals) eredő potenciálisan kedvezőtlen hatás ellensúlyozását.

- Barbastro területen (éves átlagban alacsonytól közepesig terjedő ECB fertőzöttségű terület), a Bt kukorica alkalmazásának nettó hatása nullszaldós volt költség- és jövedelemváltozások szempontjából (azaz négy év alatt nem volt nettó változás).
- a nullszaldót tekintve, a sarinena területi gazdáknak a Bt technológia alkalmazásának költsége több mint megtérül a rovarirtó szer költségek megtakarításával. ECB ellen általában nem permetező gazdák számára a bevezetés nullszaldós követelménye (a 2001. évi aratás 123 EUR/tonna aratási árával számolva) 0,15 tonna/ha hozamnövekedés (1,5% hozamnövekedés a 2001-es spanyolországi átlaghoz képest).

Egyéb hatások és vitás pontok

- hozzájárulás a termelési kockázatkezeléshez: egyes gazdák számára a Bt kukorica alkalmazásának egy fontos indoka a biztosítás – nem kell jelentős mértékű ECB kár miatt aggódni;
- kényelmes, hogy csökken a földek bejárására és/vagy rovarirtó szeres kezelésre fordított idő;
- terményminőség-növekedés: a Bt kukoricában alacsonyabbak a mikotoxin-szintek, mint a hagyományos kukoricában;
- humán egészségügyi szempontból (gazda és dolgozó) kedvező hatás: csökken a rovarirtó szerek alkalmazásával kapcsolatos balesetek, kiömlés és érintkezés veszélye;
- egyes rovarirtó szerek (lásd alább) alkalmazásának megszűnéséből feltételezhetően származó környezeti előnyök;
- a technológia alkalmazásának nincs korlátja – kis és nagy gazdaságok is alkalmazzák a technológiát (a Bt-t alkalmazó gazdaság átlagos területe 50 hektár volt, vagy ennél kevesebb (50 hektár az átlagos terület nagysága Huesca tartományban, bár Zaragossa tartományban a 20 hektár alatti átlagméretek is gyakoriak);
- minden GM kukoricát a normál piaci csatornákon keresztül értékesítenek az állati takarmányozási szektornak. A GM kukoricát nem kell különválasztani a nem GM kukoricától.

Spanyolország felvevőképessége Bt kukoricára

Ha a Bt technológia kereskedelmileg hozzáférhető lenne minden piacvezető fajtánál a vetőmagkínálat korlátozása nélkül, becslésünk szerint Spanyolországban az összes kukoricaültetvénynek majdnem 36%-a Bt kukorica lenne (173 000 hektár).

A hagyományos kukoricához képest 5-7% termésnövekedést feltételezve, ilyen szintű elterjedés esetén a potenciális hatás a spanyol kukoricatermelés 88 000 - 123 000 tonnával emelkedne (1,8 - 2,5% növekedés). Értékben (farmgazdasági szinten) ez 10,82-15,22 millió EUR plusz jövedelmet jelentene.

Környezeti hatás

A spanyolországi Huesca tartomány gazdái tanúsága szerint, hogy ti. a kukoricamoly ellen jelenleg alkalmazott két rovarirtó szert szinte kizárólag az ECB megfékezésére alkalmazzák, amennyiben a Bt kukorica a fentiekben vázolt szinten, széles körben elterjedne, ezt a két rovarirtó szert többé valószínűleg nem alkalmaznák a spanyolországi kukoricaföldeken. Ez a permetezett terület nettó 59 000-98 000 hektáros csökkenéséhez és a kiszórt hatóanyag mennyiségének 35 000-54 000 kg-os csökkenéséhez vezetne. A spanyolországi kukoricaföldeken alkalmazott összes rovarirtó szer mennyiségéhez képest (beleértve a talajkezelő rovarirtó szereket) ez a teljes permetezett terület 27-45%-os csökkenését és a kiszórt hatóanyag mennyiségének 26-35%-os csökkenését jelentené.

Kereskedelmi megfigyelésekre alapozva, miszerint ezeket a rovarirtó szereket időnként más rovarok, pl. a *Heliothis* fajok vagy a bagolypillék hernyói irtására is alkalmazzák, a megtakarítás a rovarirtó szereken akár kétharmadával is kevesebb lehet, (azaz a permetezett terület 15 000-32 000 hektárral és az kiszórt hatóanyag mennyisége 12 000-19 000 kg-mal csökkenne).

TRANSZGÉNIKUS Bt-KUKORICA (Mon 810, Cry1Ab) HATÁSA NEM-CÉLSZERVEZET ROVAROKRA SZÁNTÓFÖLDÖN

Kiss József¹, Szentkirályi Ferenc², Tóth Ferenc¹, Szénási Ágnes¹, Kádár Ferenc², Árpás Krisztina¹, Szekeres Dóra¹, C. R. Edwards³

¹Szent István Egyetem, Mezőgazdaság- és Környezettudományi Kar, Növényvédelemtani Tanszék, Gödöllő, jkiss@gikk.gau.hu

²MTA Növényvédelmi Kutatóintézete, Budapest

³Department of Entomology, Purdue University, W. Lafayette, Indiana 47907-2089, USA

A növényvédelmi célú transzgenikus kukorica hibridek között, a herbicid tolerancia után - jelenleg - a kukoricamoly (*Ostrinia nubilalis* Hbn.) lárvája elleni rezisztenciát szolgáló módosítás a leggyakoribb. Ez esetben a növénybe a *Bacillus thuringiensis* subsp. *kurstaki* baktérium faj *cry1Ab* génjét építik be, amely gén a Lepidoptera lárvák, így kukoricában a célszervezet kukoricamoly lárvája ellen hatékony Cry1Ab delta-endotoxint termel. A toxin a növény valamennyi részében (eltérő koncentrációban) termelődik.

A Cry1Ab toxinnak eddigi ismereteink szerint nincs direkt toxikus hatása a nem-célszervezetekre. Ugyanakkor a Cry1Ab delta-endotoxin direkt hatásvizsgálata nem elegendő. Az EU-5 K+F keretprogramja „Bt-transzgenek mechanizmusa és hatása nem-célszervezet rovarok biodiverzitására: beporzók, növényevők és természetes ellenségeik” című projektje részeként Magyarországon három vegetációs időszakban (2001-2003) vizsgáltuk a címben szereplő Bt-kukorica hatását nem-célszervezetekre. A felvételezéseket és az adatelemzést a kultúrnövény állományára kiterjesztve végeztük az alábbi táplálkozási kapcsolatok mentén:

- kultúrnövény,
- növényevő (herbivor) ízeltlábúak,
- ragadozó (predátor) ízeltlábúak

A kísérleti területen a parcellák 6 ismétlésben, véletlen blokk elrendezésben lettek kialakítva. Egy-egy parcellát transzgenikus (DK 440 BTY, MON 810), illetve izogénes (DK 440) hibridekkel vetettünk be (köpenyvetés mellett).

A transzgenikus kukorica állományában lévő ízeltlábúakra a növény hatással lehet az elfogyasztott növényi résszel bejutó toxinnal, vagy megváltozott anyagcseretermékekkel (herbivorok), illetve a növényen táplálkozó ízeltlábúak elfogyasztásával (predátorok), vagy a herbivorok, predátorok és parazitoidok elfogyasztásával (kiválasztott pókfaj). A herbivor

ízeltlábúak szervezetébe a toxin táplálkozási módtól függően eltérő mértékben juthat be, ezért a kukorica állományában lévő ízeltlábúak gyűjtését az alábbi rendszerben végeztük:

Herbivorok:

- célszervezet Lepidoptera: kukoricamoly, *O. nubilalis*,
- egyéb Lepidoptera: gyapottok-bagolylepke: *Helicoverpa armigera* (Noctuidae),
- rágó szájszervű rovarok: földibolhák (*Coleoptera*, *Chrysomelidae*, *Alticinae*),
- szívó szájszervű rovarok: *Thysanoptera* (*Thripidae*, *Phlaeothripidae*), *Homoptera* (*Aphididae*, *Cixiidae*, *Delphacidae*, *Cicadellidae*).

Predátorok:

- *Coleoptera* (*Coccinellidae*, *Carabidae*, *Staphilinidae*),
- *Heteroptera* (*Nabidae*, *Anthocoridae*),
- *Thysanoptera* (*Aeolothripidae*),
- *Neuroptera* (*Chrysopidae*, *Hemerobiidae*),
- *Diptera* (*Syrphidae*).

Kiválasztott nem-célszervezet ragadozó ízeltlábú:

- Kóró-törpepók (*Theridion impressum* L. Koch)

Fontosabb eredményeink, megállapításaink

A vizsgálatnak nem volt célja a célszervezet *O. nubilalis* által okozott szárfertőzöttség felvételezése. Ugyanakkor indokoltnak tartottuk ezt elvégezni, többek között az engedélyezési hatóság informálása céljából is. Az izogénes kukorica parcellákban alacsony (2-13%) kukoricamoly fertőzést állapítottunk meg. A Bt parcellák növényeiben az alkalmazott mintavételezéssel (100 növény/parcella) nem tudtunk kimutatni kukoricamoly fertőzést. (Ez nem tette lehetővé a kukoricamoly tojásrakásának, parazitáltsági százalékanak összehasonlítását a Bt és izogénes parcellák között).

A nem-célszervezet kártevő Lepidoptera fajok közül a *H. armigera* jelentős károsítója a kukoricának. Károsítása, illetve a rágás nyomán a csöveken kialakuló *Fusarium* fertőzés (esetleg ebből következő mycotoxin termelés) jelentős mennyiségi és minőségi veszteséget okoz. A Bt kukoricában az izogénes állományhoz képest szignifikánsan kisebb lárvafertőzést találtunk. A célszervezet (*O. nubilalis*) ellen hatékony Cry1Ab toxin a kukoricánövényt fogyasztó más Lepidoptera fajok lárvái ellen is hatékony lehet. Esetünkben a kártevő *H.*

armigera lárváira fejtett ki toxikus hatást. Ha a fenti kukorica nagyobb területen termesztésbe kerül, indokolt lehet erre a fajra az IRM (insect resistance management plan) kidolgozása. (A kukoricaszemek belső fertőzöttségének és toxintartalmának vizsgálata Bt és izogénes összehasonlításban jelenleg folyamatban van).

A levéltetvek, mint nem célszervezetek, mind a Bt, mind az izogénes kukoricán jelen voltak. Összesen 11 levéltetű fajt identifikáltunk 2001-2002-ben. Egyik évben sem volt szignifikáns különbség a Bt és izogénes kukoricán élő levéltetvek egyedszáma között. A két kezelés levéltetű-együtteseinek diverzitásában sem találtunk különbséget.

A fitofág rovarok közül jelentős számban fordultak elő tripszfajok (Thysanoptera) is. Hat tripszfajt gyűjtöttünk 2001-ben a vizsgált növényekről. Ezek egyedszámát tekintve sem volt szignifikáns különbség a Bt és izogénes növények között.

Fajgazdag kabóca-együttest találtunk a kukoricaállományban: 79 kabócafajt határoztunk meg 2002-ben. Nem volt szignifikáns eltérés a Bt és izogénes parcellákon előforduló kabócák egyedszáma között. Ugyancsak nem volt különbség a kabóca-együttesek diverzitásában sem a két kezelést illetően.

Jelentős fitofág csoportként (22 faj) észleltük a földibolhákat. Az egyedszám tekintetében itt sem találunk szignifikáns eltérést a Bt és izogénes parcellák között. Nem volt különbség a két kezelés földibolha-együttesének diverzitásában.

A 3 év során összesen 35 predátor fajt mutattunk ki a kukoricánövényeken.

Mind a Bt, mind az izogénes parcellákon ugyanazon fajok fordultak elő leggyakrabban. Az afidofág guild 18 többé-kevésbé obligát levéltetű predátorból állt. 8 Heteroptera, 1 Thysanoptera, 7 Neuroptera, 2 Syrphida, 3 Staphilinida, 11 Coccinellida, 1 Forficulida és 2 Carabida fajt határoztunk meg a kukoricánövények állományában. 56 futóbogár faj fordult elő a talajcsapdákból. Egyik predátor taxon esetében sem találtunk szignifikáns különbséget az egyedszámban a Bt és izogénes parcellák között. Az első két évben a Bt és izogénes növények predátor rovarközösségének fajdiverzitása nem különbözött egymástól. 2003-ban ugyanakkor a Bt-növények rovarközössége alacsonyabb fajdiverzitású volt, mint az izogénes növényeké.

A kóró-törpepók (*T. impressum*) hálóiiban minden olyan ízeltlábú taxon (rend, család, alcsalád) egyedei előfordultak, amelyek jelenlétét az egyedi növényvizsgálattal kimutattuk. A hálóban leggyakrabban levéltetvek, kabócák és bogarak fordultak elő. Habár az izogénes kukorica parcellák hálómintái egyedszámok tekintetében az első két évben (2001, 2002) és szinte minden rovarrend esetében következetesen felülmúlták a Bt parcellák mintáit, egy-egy

esettől eltekintve (Sternorrhyncha, 2001; Neuroptera, 2002) a különbség nem volt szignifikáns.

Összegezve, a DK 440 BTY (Mon 810, Cry1Ab) kukorica állományában, DK 440 izogénes hibriddel összevetve nem mutattuk ki a transzgénikus növény negatív hatását (kártévő Lepidoptera fajon kívül) a mintázott herbivor- és predátor együttesekre, illetve pókfajra.

Ugyanakkor, véleményünk szerint a genetikailag módosított növény egészének környezeti hatásvizsgálatát (direkt és indirekt hatás) időben (növényfenológia, vetésforgó) és térben (a növény táblája, szűkebb és tágabb környezete) elhelyezve és elemezve lehet és kell elvégezni.

A DIABROTICA KÁRTEVŐ HELYZETE ÉS KEZELÉSE AZ USA KUKORICATERMESZTÉSÉBEN

Jay C. Pershing

Monsanto Company 800 N. Lindbergh Blvd., St. Louis, Missouri 63167, USA

jay.c.pershing@monsanto.com

BEVEZETÉS

Az Amerikai Egyesült Államokban (USA) 32 millió hektáron folyt kukoricatermesztés, amely 229 millió tonna termést hozott 21,2 milliárd USD nettó értékben (NGCA, 2003). A kukorica évszázadok óta az emberiség egyik alapélelmiszere. A szemes kukoricát és feldolgozott részeit számtalan élelmiszer és takarmány részeként fogyasztják. A hibridkukorica rendkívül nagy hozamú termény, amely az USA-ban 2002-ben hektáronként átlagosan 8,16 tonna termést hozott. A magas terméshozam révén a kukorica a takarmányozásban az egyik leggazdaságosabb energiaforrás, az ipar és az élelmiszergyártás számára pedig az egyik leggazdaságosabb keményítő- és cukorforrás. A learatott kukorica nagy része állati takarmányként kerül felhasználásra.

A kukorica terméshozamát számos rovarkártevő csökkenti. Az USA kukoricaövezetében az egyik legveszélyesebb ilyen kártevő a kukoricabogár. A kukoricabogár lárvája a kukorica gyökerét rágja, ezzel rontja a növény víz- és tápanyagfelszívó képességét, az okozott szárdőlés pedig megnehezíti az aratást. A vegyszeres rovarirtó-felhasználás szempontjából a kukoricabogár a középnyugati kukoricatermelők számára a legsúlyosabb gondot jelentő rovarkártevő. Az USA-ban évente hozzávetőlegesen 5,7 millió hektárnyi kukoricát kezelnek szerves foszfát, karbamát, piretroid és fenilpirazol típusú rovarirtó szerekkel e kártevő megfékezésére (Doane, 2001). A hagyományos, talajkezelő rovarölő szerek alkalmazásával és a rovarkár okozta termés kieséssel kapcsolatos költségek alapján a kukoricabogarat „milliárd dolláros kártevőnek” nevezték (Metcalf, 1986; ARS, 2002). A kukorica gyökérzetének tökéletlen védelme lárvaölő szerekkel, a kifejlett rovar elleni rovarirtókkal szemben kialakult rezisztencia és a kukoricabogárnak a vetésforgóhoz való biológiai alkalmazkodása lecsökkentette a jelenleg alkalmazható növényvédelmi módszerek hatásosságát. A kukoricabogár elleni védekezésben a jövőben többek között szerepelni fog a genetikailag feljavított kukorica vetése, amelynek gyökere ellenálló a lárva okozta gyökérvédelemmel szemben és amely magas terméshozamot biztosít.

Ebben a dolgozatban a kukoricabogár ellen az USA-ban jelenleg használatos védekezési módszereket és ezek korlátait tekintjük át, ezenkívül megtárgyaljuk, milyen előnyökkel jár a kártevővel szembeni védekezés a Monsanto Company által kifejlesztett, genetikailag feljavított kukorica termesztésével.

A KUKORICABOGARAK

A kukoricabogár-fajcsoport (*Diabrotica* spp.) tagjai az északi kukoricabogár (*D. barberi*, Smith és Lawrence), a nyugati kukoricabogár (*D. virgifera virgifera*, LeConte) és a mexikói kukoricabogár (*D. virgifera zea*, Krysan és Smith).

A kukoricabogár-fajok az USA valamennyi kukoricatermesztő vidékén széles körben elterjedtek. A kártevő Kanadában és Mexikóban is jelen van. A nyugati kukoricabogár Európában is megtalálható: 1992-ben bukkant fel Szerbiában és Montenegróban. Alig több mint egy évtized alatt a kukoricabogár 15 európai országban terjedt el: Ausztriában, Bosznia-Hercegovinában, Bulgáriában, Horvátországban, a Cseh Köztársaságban, Franciaországban, Magyarországon, Olaszországban, Romániában, Szlovákiában, Svájcban, Ukrajnában, Hollandiában és Nagy-Britanniában. 2002-re Európában mintegy 284 503 négyzetkilométernyi terület vált kukoricabogárral fertőzötté (EPPO, 2003).

A kukoricabogárnak évente egyetlen nemzedéke fejlődik, amely csak kukoricával és néhány fűfélével táplálkozik. Az imágók a nyár közepén/végén kezdenek petét rakni; a petéket a talajba rakják, a kukoricánövények töve közelébe. A peték a talajban áttelelnék és itt kelnek ki május közepétől június elejéig. Kikelés után a lárvák a kukorica gyökerét rágják. A kifejlett lárvák június közepétől július elejéig bebábozódnak. Az imágók július elején kezdenek kikelni a talajból, és ezzel újraindul az életsiklusuk.

A lárvák gyökérrágása okozza a legnagyobb gazdasági kárt. A gyökérrágás fiziológiai stresszt okoz, amely késlelteti a növény növekedését és szárdőléshez vezethet. Az imágók a kukorica levelét, bajuszát, pollenét és éretlen csöveit rágják.

A természsökkenés a lárvakár mértékétől, valamint a növények érettségétől, a talaj termékenységétől és nedvességtartalmától a kártétel tetőzése idején, továbbá a hibrid gyökérregeneráló képességétől. A szárazságstressz fokozza a gyökérrágás hatását.

Terméskiesést okozhat a gyökerek megcsonkítása és furkálása, ami megszakítja a gyökérszövetből kiinduló tápanyag- és vízszállítást (Riedell, 1990; Spike és Tollefson, 1991). A gyökértámasz hiánya szárdőléshez vezethet, ami megnehezíti az aratást. A kukoricabogár okozta kártétel első jelei június végén vagy július elején jelentkezhettek, amikor erős szél vagy nagy eső után a növények kidőlnek. A gyökérrágás másik következményeként a növényi szövetekbe másodlagos kártevők, pl. baktériumok vagy gombák törhetnek be, ami megnöveli a különféle gyökérrothadások gyakoriságát. A kukoricabogár rágása okozta terméskiesés becsült értéke 0 és 15% közé esik, de leírtak 50%-os értéket is (Gianessi és mtsi., 2002a).

A JELENLEGI INTÉZKEDÉSI LEHETŐSÉGEK ÉS EZEK KORLÁTAI

A kukoricabogár-fertőzés okozta gazdasági kár korlátozására irányuló intézkedési gyakorlat a vetésforgón, valamint a hagyományos vegyszeres rovarirtáson alapszik. A múltban a kukorica és a szójabab vetésforgója igen hatékony védelmet nyújtott a kukoricabogár kártétele ellen sok mezőgazdasági szituációban, mivel ez a vetésforgó megszakítja a kártevő életciklusát. Ma azonban már több tényező is korlátozza ennek az eljárási módnak a hatékonyságát. Egyrészt sok termelő a folyamatos (azaz vetésforgó nélküli) kukoricatermesztést választja, még akkor is, ha ez a gyakorlat a talajtermékenység fenntartása és a rovarkártevők elleni védelem érdekében fokozott vegyszerbevitelt követel meg. Másrészt a kutatók megerősítették az északi kukoricabogár egy új változatának megjelenését Iowa, Minnesota, Nebraska és Dél-Dakota államokban, amelynek diapauzája elnyújtott. E változat petéi képesek túlélni a kukorica-szójabab vetésforgó kukoricamentes évét, és olyan lárvák kelnek ki belőlük, amelyek az első évből visszamaradt kukoricagyökereken élnek (Ostlie, 1987; Tollefson, 1988; Gray és mtsi., 1998). Harmadrészt, és ez kritikus fontosságú: Illinois állam keleti részének közepén és Indiana állam nyugati vidékén a vetésforgó már nem hatásos termesztéstechnikai ellenszere a kukoricabogár kártételének, mivel gyorsan terjed a nyugati kukoricabogárnak egy olyan új törzse, amely - a korábbi populációkkal ellentétben - a szójaföldeken rakja le a petéit (Onstad és Joselyn, 1999; O'Neal és mtsi., 1999; Levine és mtsi., 2002). Ez a nyugati kukoricabogár a szójaföldeken petézik és a peték a következő évben, a kukoricaföldön kelnek ki. A variáns populáció első, Illinois állambeli felbukkanása óta megfigyelhető gyors terjedése alapján várhatóan az USA teljes kukoricaövezetében el fog terjedni.

A kukoricabogár elleni védekezés más módzatai, mint pl. a biológiai vagy a feromonos védekezés és a fertilitás befolyásolása a mezőgazdasági nagyüzemek többségénél nem

bizonyultak hatásosnak (Metcalfé és Lampman, 1997; Jackson, 1996). Kukoricabogár elleni rezisztenciára való hagyományos nemesítéssel a lárvarágással szemben csak mérsékelten rezisztens csíraplazmát sikerült előállítani (Knutson és mtsi., 1999).

A fenti tényezők mindegyike a termesztőket abban az irányban befolyásolta, hogy egyre inkább a hagyományos kémiai rovarirtó szerekkel védekezzenek a kukoricabogár ellen. A rovarirtók leggyakoribb alkalmazási módja granulált talajkezelő rovarirtó szer alkalmazása az ültetéssel egy időben, barázdában, vagy sávosan. Olyan vidékeken, ahol folyamatosan kukoricát termesztnek, ez a leggyakrabban alkalmazott rendszer. 1990 előtt azokon a földeken, ahol vetésforgóban termesztették a kukoricát, csak ritkán végeztek vegyszeres rovarirtást. A két, vetésforgóra rezisztens kukoricabogár-változat elterjedése óta megemelkedett azoknak a kukoricatermő területeknek a nagysága, amelyeken vegyszeres rovarirtásra van szükség. 2000-re a kukoricaövezet 5 államában megkérdezett termesztők kb. 20%-a alkalmazott rovarirtó szert a kukoricabogár lárvája irtására vetésforgóban termesztett kukoricában (M.E.Rice, 2003, közöletlen eredmények).

Bizonyos mezőgazdasági helyzetekben az imágók irtására kelés utáni rovarirtóval permeteznek. Nebraska állam kivételével ez a gyakorlat viszonylag ritka. Ennek a megközelítési módnak az a célja, hogy a tenyésztő végén lerakott peték számát csökkentse, hogy a következő évben a lárva populáció nagysága a gazdasági károkozás határa alatt maradjon. Ez a módszer munkaigényes és kivitelezése bonyolultabb, mivel a vegyszeres rovarirtó alkalmazásának időzítése kritikus és gyakran többszöri alkalmazásra van szükség. Ráadásul bizonyíték van arra is, hogy az imágók elleni permetezés eredményeképp a kukoricabogár számos, levélre permetezett rovarirtó szerre rezisztenssé vált, ami csökkent védelemhez és a kiszórt vegyszermennyiség növeléséhez vezetett (Wright és mtsi., 1999).

2000-ben a Doane Marketing Research által végzett nagyszabású piacfelmérésben a termesztők arról számoltak be, hogy 5 745 530 hektár kukoricát kezeltek rovarirtó szerrel a kukoricabogár megfékezésére (Doane, 2001). A termesztők szerint ennek a területnek körülbelül a felén (2 815 772 hektáron) a kukoricabogár volt az egyetlen célkártevő, a fennmaradó területen pedig nagyszámú célkártevő egyike volt. A rovarirtóval kezelt, kukoricabogárral fertőzött terület az USA kontinentális területén összesen kukoricával bevetett terület 17%-a volt, a 2000-ben bármilyen rovarirtóval kezelt összes területnek pedig az 59%-a. A bevetett terület rovarirtóval kezelt hányada a folyamatos kukoricatermelő

vidéken a legmagasabb, valamint azon a vidéken, ahol a nyugati kukoricabogár szójababon is megélő változata van túlsúlyban. Ezekre a területekre összesen 3554 tonna rovarirtó szert (aktív hatóanyagot) szórtak ki, 172 millió USD értékben. Ez a mennyiség messze meghaladja bármilyen más kártevő irtására, bármilyen más terményre kiszórt hagyományos rovarirtó mennyiségét.

A kukoricabogár lárvája és imágója elleni védekezésre számos hagyományos, granulált és folyékony rovarirtó szer használata engedélyezett. E termékek hatóanyagai az organikus foszfátok, a karbamátok, a szintetikus piretroidok és a fenil-pirazolok csoportjába tartoznak. Mindegyik széles spektrumú aktivitást mutat és neurotoxinként működik. Ezek a termékek toxicitásuk miatt mind veszélyesek a felhasználóra, a madarakra, a vízi élőlényekre és a kiirtani nem szándékozott rovarfajokra. A felsorolt termékek többségét biztonsági okokból az USA Környezetvédelmi Hivatala „korlátozott felhasználású” kategóriába sorolta. E termékeket csak hiteles felhasználói engedéllyel rendelkező személy vásárolhatja és alkalmazhatja. A felhasználáshoz különleges egyéni védőfelszerelés is szükséges, és a felhasználás ideje, helye és gyakorisága más megszorítások alá is eshet.

A hagyományos rovarirtókkal kapcsolatos korlátozások közé tartoznak a használatukra vonatkozó, fent tárgyalt megszorítások, valamint a változó hatékonyság. Az USA kukoricaövezetének több pontján gyűjtött adatok értékelése azt mutatta, hogy egyetlen hagyományos rovarirtó szer sem védte meg a kukoricát következetes módon a gazdasági kárt okozó szintű kártételtől (Rice és Oleson, 2001; Gray, 2002). A kései ültetés, a szárazság, a túl bőséges csapadék és a súlyos kukoricabogár-fertőzés mind olyan tényezők, amelyek csökkenthetik a hagyományos rovarölő szerek hatásosságát.

A vetésforgónak ellenálló kukoricabogár-változatok gyors elterjedése, a természetes rezisztencia hiánya a kereskedelmi forgalomban kapható hibridekben, a rovarölő szerekkel szembeni rezisztencia kialakulása, valamint az a tény, hogy a lárva elleni rovarirtó szerek csak tökéletlenül védik meg a gyökérzetet, új megközelítések kidolgozását tette szükségessé a kukoricabogár elleni védekezésben. A molekuláris biológia terén bekövetkezett haladás olyan termények kifejlesztését tette lehetővé, amelyeket genetikai feljavítással rovarokkal és betegségekkel szemben ellenállóvá, valamint herbicidek iránt toleránssá tettek. E genetikailag feljavított haszonnövények bevezetése nagyban növelte a mezőgazdaság termelékenységét és az új technológia alkalmazása mellett döntő természetők gazdasági hasznát. Gianessi és mtsi.

(2002b) becslése szerint nyolc, jelenleg kapható genetikailag feljavított kultúrváltozat bevezetése eredményeképp csak az USA-ban évenként 21 000 tonnával csökkent a hagyományos peszticidek használata. E változatoknak a termesztők általi bevezetése évenként 2 millió tonnával növelte a termés hozamokat és évenként 1,5 milliárd USD nettó gazdasági hasznot hozott.

Az olyan genetikailag feljavított termények sikere, amelyeknél maga a növény tartalmazza különféle rovarok, pl. a kukoricamoly és a gyapottok-bagolylepke ellenszerét, hasonló megoldásra irányuló kutatást indított el a kukoricabogár elleni védekezés ilyen megoldására.

YIELDGARD ROOTWORM: GENETIKAI MEGOLDÁS A KUKORICABOGÁR ELLENI VÉDEKEZÉSRE

A Monsanto Company modern molekuláris módszerek segítségével kifejlesztette a vad típusú cry3Bb1 gén egy új változatát a *Bt kumamotoensis* alfajából, amely fokozott rovarölő aktivitással rendelkező fehérjét kódol (English és mtsi., 2000). Az így kapott Cry3Bb1 variáns nyolcszor károsabb hatású a kukoricabogár lárvájára, mint a vad típusú fehérje. A cry3Bb1 gént hordozó DNS-vektort egy konstitutív, növényben kifejeződő promoterhez kapcsolták és génbelövéses transzformációval embrionális kukoricasejtekbe juttatták. A transzformált kalluszsövetből egymástól független transzformációs eseményekből származó növényeket regeneráltak. A MON 863 elnevezésű eseményt több száz független transzformációs esemény közül választották ki. Ez az esemény nagyszámú elit hibridben kifejeztetve kiváló védelmet nyújtott a kukoricabogár ellen, és YieldGard® Rootworm kukorica néven fejlesztették kereskedelmi terméké.

A YieldGard Rootworm kukorica élelmiszer- és takarmányfelhasználási, valamint környezeti biztonságossága

A YieldGard Rootworm kukorica és az általa termelt Cry3Bb1 fehérje biztonságosságának felmérésekor számos tényezőt vettek figyelembe: 1) a szemes termény és a zöldtakarmány összetétele elemzésének eredményeit, 2) a Bt fehérje biológiai hatásmechanizmusát, 3) Bt fehérjékkel végzett széleskörű állati toxikológiai vizsgálatok eredményét és e fehérjék

biztonságos alkalmazásának számos ismert példáját, 4) a Cry3Bb1 fehérjével végzett toxikológiai vizsgálatok eredményét, és 5) a Cry3Bb1 aminosav-sorrendjének összehasonlítását ismert toxinokéval és allergénekével. Alapos ekvivalencia-analízis segítségével e vizsgálatok átfogó összehasonlító felmérést adnak a YieldGard Rootworm kukorica biztonságosságáról a hagyományos kukoricával összehasonlítva.

Elvégezték a YieldGard Rootworm kukorica szemtermése és zöldtakarmánya összetételének analízisét. Összesen 51 komponenst értékelték. A YieldGard Rootworm kukorica eredményeit referenciaként használt kereskedelmi fajtákhoz hasonlították. A vizsgálat eredménye azt mutatta, hogy a YieldGard Rootworm kukoricában mind az 51 mért komponens értéke a kísérleti helyszínen nevelt kontroll kereskedelmi kukoricafajtákban meghatározott tartományon belül volt.

A Bt fehérjék hatásmechanizmusa korábbi vizsgálatokból már jól ismert. A Bt fehérjék hatásmechanizmusának kritikai fontosságú lépése a receptorhoz való kötődés. E fehérjék irreverzibilis kötődése a bél középső szakaszának receptoraihoz korrelációban áll a rovarnak a toxin iránti érzékenységgel. Ez a megfigyelés nagy fontossággal bír a Cry fehérjéknek emberi fogyasztásra való biztonságosságának felmérésében, mivel az emlősök bélsejtjein mindaddig nem azonosítottak e fehérjék kötődésére képes receptorokat. Ez részben megmagyarázná, hogy miért nincs a Bt fehérjét tartalmazó termékeknek kimutatható kedvezőtlen hatása emberre. A Bt-alapú rovarölő szerek igen alacsony toxicitását emlősöknél már számos biztonságossági vizsgálatban bizonyították, mivel Bt-készítmények az USA-ban már 1958 óta kereskedelmi forgalomban vannak mikrobiális eredetű, rovarölő hatású termékek gyártása céljára.

Az emberi étrend jelentős részét sokféle méretű és funkciójú fehérje alkotja. E több tízezer féle fehérje közül csak ritkán akad olyan, amelyik fogyasztáskor allergiás reakciót vált ki (Taylor, 1992). A Cry3Bb1 fehérje szerkezetének összehasonlítása ismert allergénekével, toxinokéval és farmakológiai aktivitással rendelkező fehérjékével alapul szolgálhat annak előrejelzésére, hogy a YieldGard Rootworm kukorica fogyasztása ártalmas reakciót váltana-e ki embereknél. Az aminosav-sorrendek összehasonlítása azt mutatja, hogy a YieldGard Rootworm kukoricában termelődő Cry3Bb1 fehérje nem mutat szerkezeti hasonlóságot az állati vagy emberi egészség szempontjából fontossággal bíró semmilyen allergénhez, toxinhoz vagy más, farmakológiai aktivitással rendelkező fehérjéhez. Ezenkívül 40 évi használat során

a mikrobiális eredetű Bt-termékek felhasználói között Cry fehérjével szembeni allergia előfordulásának egyetlen megerősített példája sem fordult elő (McClintock és mtsi., 1995).

YieldGard Rootworm szemes kukoricát tartalmazó takarmánnyal számos fajjal végeztek takarmányozási kísérleteket, többek között broilercsirkével, tejelő szarvasmarhával, hízó marhával és sertéssel. Ezek a vizsgálatok nem mutattak ki sem növekedési teljesítménybeli, sem testméretbeli különbséget a YieldGard Rootworm kukorica, a hagyományos szülői vonal és a hagyományos kereskedelmi kontrollfajták termését tartalmazó takarmánnyal etetett jóságok között.

Az adatokból információs adatbázis épült, amelynek alapján megállapítható, hogy a YieldGard Rootworm kukorica nem jelent a környezet számára nagyobb veszélyt, mint a hagyományos kukoricafajták. Többször megismételt szabadföldi kísérletekben a fenotipikus jellemzők mérése és a kártevők iránti fogékonyság megfigyelése megerősíti, hogy a genetikailag feljavított kukorica fiziológiai és mezőgazdasági szempontból megegyezik a hagyományos kukoricával, kivéve a kukoricabogár-lárva kártételével szembeni toleranciát. Tisztított Cry3Bb1 fehérjével és YieldGard Rootworm kukorica szövetmintákkal végzett laboratóriumi és szabadföldi vizsgálatok alapján megállapították, hogy a célfajtól eltérő élőlények számára ezek minimális kockázatot jelentenek. A Cry3Bb1 fehérjének a várható maximális környezeti koncentrációt meghaladó szintjének kitett, a célfajtól eltérő, nagyszámú fajnál semmilyen káros hatást nem volt megfigyelhető. Ezenkívül a fehérje sorsát a környezetben követő vizsgálatok tanúsága szerint a fehérje egy sor különböző talajtípusban gyorsan lebomlik.

A YieldGard Rootworm élelmiszerekben és takarmányokban való felhasználásának és a környezetbe való bevezetésének biztonságosságát a felügyeleti hatóságok a világ minden táján, többek között az USA-ban, Kanadában és Japánban is jóváhagyták. Ezek az értékelések megtalálhatók a Monsanto honlapján, a

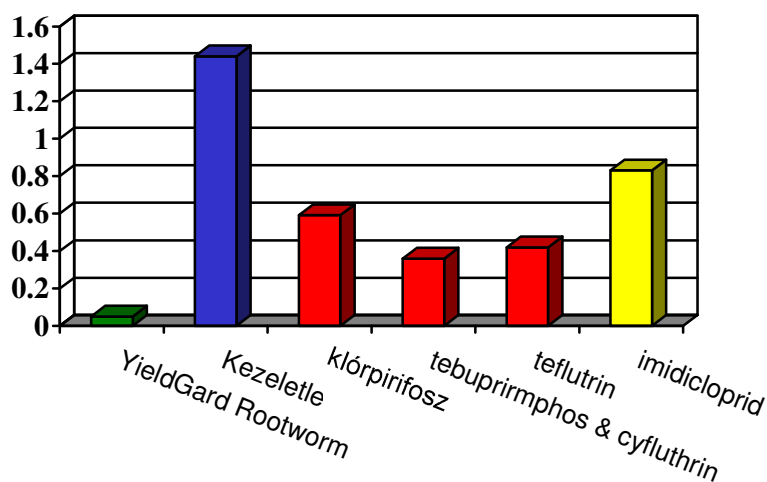
<http://www.monsanto.com/monsanto/content/our_pledge/pss_yieldgardrootwormcorn.pdf> webhelyen. Ezen engedélyek birtokában a Monsanto 2003-ban forgalomba hozta a YieldGard Rootworm kukoricafajtát az USA-ban és Kanadában.

A YIELDGARD ROOTWORM KUKORICA TELJESÍTMÉNYE

Kiváló hatékonyság

Több éves, mind a Monsanto által végzett, mind egyetemi szabadföldi kísérletekben egyértelműen bebizonyosodott, hogy a kukoricabogár-lárva rágása okozta gyökérvárosodás a YieldGard Rootworm kukoricában hatékonyan korlátozódik. A hatékonyságot több helyszínen végzett replikált, véletlen-blokk elrendezésű kísérletekben vizsgálták; a kukoricabogár-lárva okozta gyökérvárosítás szintjét YieldGard Rootworm hibridekben, kezeletlen kontroll hibridekben, valamint piacvezető talaj- és magkezelő rovarirtó szerekkel kezelt hibridekben értékelték. Mindegyik kezelésre kiszámították a közepes gyökérvárosodási értéket (root damage rating, RDR), a 0-tól 3-ig terjedő nóduszkárosodási skálán (Node Injury Scale, NIS) (Oleson és Tollefson, 2001). A hatékonysági vizsgálatok 2001 és 2002 során gyűjtött adatait az 1. ábra foglalja össze.

1. Ábra. Kukoricabogár elleni védelem összehasonlítása: a YieldGard Rootworm kukorica, valamint a piacvezető inszekticidek közül három talajkezelő és egy magkezelő szerrel kezelt kukoricaállomány átlagos gyökérvárosodási értéke (NIS=0-3). Az oszlopok magassága 35



kísérletben (kezelésenként 650 gyökér) meghatározott átlagos gyökérvárosodási értékkel arányos. A kísérleteket egyetemi kutatók végezték 2001 és 2002 során.

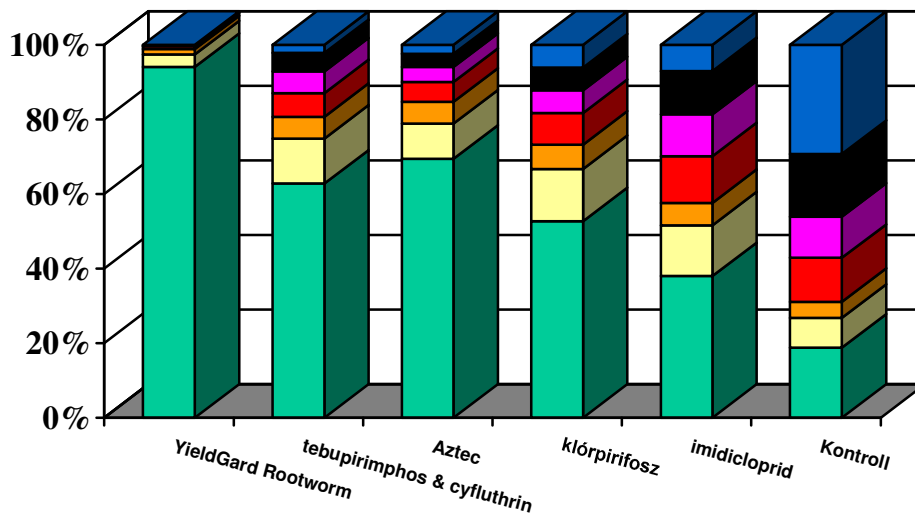
E szabadföldi hatékonysági kísérletek eredményei azt mutatják, hogy a YieldGard Rootworm kukoricahibrideken a lárva rágása okozta kár következetes módon, szignifikáns mértékben a gazdasági küszöb alatti értékekre korlátozódik. A gazdasági küszöb, ahol a

lárvák okozta termés kiesés egyenlő vagy nagyobb, mint a kártevő elleni védekezés költsége, 0,25 és 1,0 között változhat (Drees és mtsi., 1999). A YieldGard Rootworm kukoricafajták következetesen jobb teljesítményt nyújtottak a kereskedelmi fogalomban levő rovarirtó szereknél. A talajban alkalmazott inszekticidek aktiválásához esőre vagy öntözésre van szükség és teljesítményüket nagyban befolyásolhatja az alkalmazás időzítése. Ha az időjárás engedi, a kukorica korai vetése általában magasabb hozamot eredményez. Ha azonban a talajkezelő inszekticideket a kukoricabogár kikelése előtt túl hosszú idővel alkalmazzák, a károkozás idejére már túl alacsony lehet a koncentrációjuk ahhoz, hogy hatékony védelmet nyújthassanak. A túl sok talajnedvesség vagy eső szintén csökkentheti a rovarölő szerek hatékonyságát. E korlátok egyike sem vonatkozik a YieldGard Rootworm kukoricafajtákra. A Cry3Bb1 inszekticid a gyökérben van jelen, így nem igényel aktiválást.

Az egyetemi kutatók egy magkezelő rovarölő szert, az imidaclopridet is bevették a hatékonysági vizsgálatokba (1. ábra). Ez a vetőmag-kezelés a kezeletlen kontrollokhoz képest valamelyes védelmet nyújtott, de teljesítménye észrevehetően gyengébb volt mind valamennyi vizsgált talajkezelő termékénél, mind pedig a YieldGard Rootworm kukoricáénál.

Az egyes növények gyökérvárosodási értékeinek eloszlása a rovarölő szer teljesítménye konzisztenciájáról segít fogalmat alkotni. Bár a közepes RDR-érték egy adott rovarirtó-kezelésnél a gazdasági küszöb alatt lehet, egy szántóföldön belül a rovarrágás okozta gyökérvárosodás mértékében jelentős variabilitás mutatkozhat. Egy vagy több gyökér megcsonkítása, ami $RDR \geq 0,25$ értéknek felel meg, elegendő kárt okoz ahhoz, hogy az egyedi növénynél termés csökkenést okozzon. Bármely növényt, amelynek a gyökérvárosodása $RDR \geq 1$ szintű, szárdőlés veszélye fenyeget. A növények szárdőlése jelentősen megnöveli a tábla learatásának időtartamát és bonyolultságát. A YieldGard Rootworm hibridek teljesítményének konzisztenciáját úgy hasonlították össze a piacvezető, talaj- és magkezelő rovarirtó szerrel kezelt növényekével, valamint a kezeletlen kontrolléval, hogy megvizsgálták a gyökérvárosodási értékek eloszlását. Az egyes növények értékeit nagyság szerint csoportosították (pl. $<0,25$, $0,25-0,5$ stb.) és az összes értékelt gyökér százalékában fejezték ki, kezelésként. A 2. ábra a 2001. és 2002. évi egyetemi hatékonysági vizsgálatokban rögzített egyedi gyökérvárosodási értékek eloszlását mutatja.

2. Ábra. A YieldGard Rootworm kukorica teljesítményének konzisztenciája piacvezető talaj- és magkezelő rovarirtókéhoz hasonlítva. Az egyes növények gyökérvárosodási értékeit nagyság szerint csoportosították és kezelésként az összes értékelt gyökér százalékában fejezték ki.



Minden kezelésnél összesen 650 gyökérzetet értékelték. A YieldGard Rootworm növények csupán 5%-ának az RDR-értéke volt 0,25-nél magasabb. Ezzel szemben a klórpírifosz (Lorsban® 15G granulált inszekticid formájában)⁴ esetében, amely a kukoricabogár ellen széles körben alkalmazott rovarirtó szer, a növények 49%-ának RDR-értéke $\geq 0,25$ volt. A teljesítmény konzisztenciája az imidicloprid vetőmagkezelésnél volt a leggyengébb, ahol a növények 62%-a 0,25 fölötti RDR-értéket mutatott. Ez az elemzés azt bizonyítja, hogy a YieldGard Rootworm teljesítményének konzisztenciája különbözik mind a talaj-, mind a magkezelő rovarirtó szerekénél.

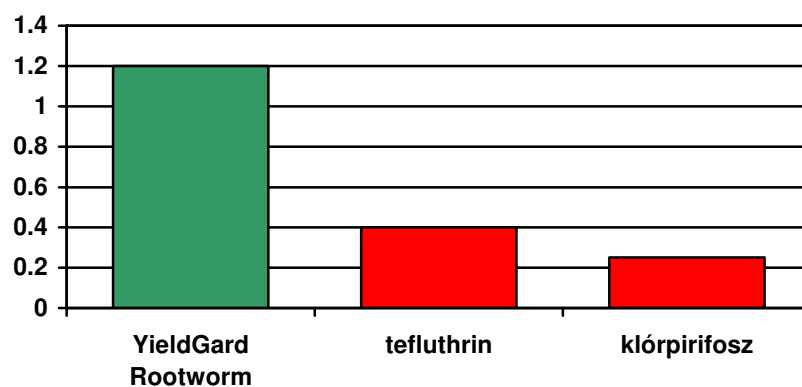
Magasabb hozam

Egy többéves vizsgálatban, amelyben a kukoricabogár-lárva gyökérrágásának a hagyományos kukorica terméshozamára gyakorolt hatását tanulmányozták, Gray és Steffey (1998)

regresszióanalízissel megállapította, hogy a gyökérvérvettségnek már kis mértékű csökkentése is termés hozam-növekedéssel jár.

A Monsanto 2001-ben 11 helyszínen, 2002-ben pedig 13 helyszínen többféle hibriddel folytatott kisparcellás kísérleteinek adatai szerint a YieldGard Rootworm kukoricának a talajkezelő rovarölő szerekhez képest nagyobb hatásossága szignifikáns termésnövekedést eredményezett. Ezek a vizsgálatok bizonyították, hogy gazdaságilag jelentős kukoricabogár-fertőzöttség mellett (azaz $RDR \geq 0,25$ értéknél) a YieldGard Rootworm hibridek termesztése a kezeletlen hagyományos kukoricához képest hektáronként átlagosan 1,2 tonna, a két piacvezető granuláris inszekticid, a teflutrin és a klórpírifosz használatához képest pedig 0,8 ill. 0,96 tonna többletermést hozott (3. ábra).

3. Ábra. A kezeletlen kontrollén felüli átlagos terméshozam (tonna/ha) replikált kisparcellás kísérletekben. A YieldGard Rootworm kukorica és a két piacvezető rovarirtó szerrel kezelt hibridek értékeit hasonlították össze kezeletlen hagyományos hibridek termésértékeivel. Az ábra a kezeletlen hagyományos hibridekhez képesti termésnövekedést mutatja. A kezeletlen hagyományos hibridek átlagos terméshozama hektáronként 10,04 tonna volt.



ÖSSZEFOGLALÁS

A kukoricabogár-fajcsoport kártétele a kukoricatermelő rendszerek gazdaságosságát fenyegeti az USA-ban és lehetséges módon Európában is. A kukoricatermesztők mindeddig vetésforgó alkalmazásával és hagyományos vegyszeres rovarirtással védekeztek. A rovarirtó szerek nyújtotta védelem tökéletlensége, a rovarirtó szerek elleni rezisztencia kialakulása és a kukoricabogárnak a vetésforgóhoz való biológiai alkalmazkodása azonban lecsökkentette e

védekezési módszerek hatékonyságát. A kukoricabogár elleni védekezés genetikai technológiájának beépítése a kukoricatermesztő rendszerekbe potenciális környezeti, társadalmi és gazdasági előnyökkel járna. Ilyen előny többek között a gyökérzet jobb védelme, a rovarirtószer-felhasználás csökkenése, a nagyobb terméshozam, a mezőgazdasági dolgozók egészségének kisebb veszélyeztetettsége, a környezeti kockázatok csökkenése, a forrásmegőrzés, a fokozott termelési hatékonyság és a nagyobb gazdasági haszon. A genetikailag feljavított kukoricafajták alkalmazása már elindította a kukoricatermesztő rendszerek rovar- és gyomirtó tevékenységének alapvető átalakítását. A kukoricabogárral szemben védett kukoricafajták nemrég megtörtént piacra bocsátása tovább gyorsítja majd ezt az átalakulási folyamatot.

Irodalmi hivatkozások

- ARS (2002) Areawide pest management of corn rootworm in maize production systems. 2002 Annual Report. United States Department of Agriculture, Agricultural Research Service, Washington, DC, 8pp.
<http://www.ars.usda.gov/research/projects/projects.htm?ACCN_NO=403818>. Accessed 2003 Oct 10.
- Doane (2001) The AgroTrak Study - 2000. A syndicated study conducted by Doane Marketing Research, Inc. St. Louis, Missouri.
- Drees, B. M., E. Levine, J. W. Stewart, G. R. Sutter and J. J. Tollefson (1999). Management of corn rootworms. In: Steffy, K. L., Rice, M.E., All, J., Andow, D.A., Gray, M.E. and Van Duyn, J.W. (eds.). *Handbook of Corn Insects*. Entomological Society of America, Lanham, Maryland, pp. 66-68.
- English, L.H., Brussock, S.M., Malvar, T.M., Bryson, J.W., Kulesza, C.A., Walters, F.S., Slatin, S.L., Von Tersch, M.A. and Romano, C. (2000) Insect-resistant transgenic plants. United States Patent 6,023,013 B1.
- EPPO (2003) *Diabrotica virgifera*. European and Mediterranean Plant Protection Organization, 7pp.
<http://www.eppo.org/QUARANTINE/Diabrotica_virgifera/diabrotica_virgifera.html>. Accessed 2003 Oct 10.
- Gianessi, L.P., Silvers, C.S., Sankula, S. and Carpenter, J.E. (2002a) Plant biotechnology: Current and potential impact for improving pest management in U.S. agriculture. An analysis of 40 case studies. Insect Resistant Field Corn (3). National Center for Food & Agricultural Policy, Washington, DC, 30pp.
<<http://www.ncfap.org/40CaseStudies/CaseStudies/FieldCornIR3.pdf>>. Accessed 2003 Oct 10.
- Gianessi, L.P., Silvers, C.S., Sankula, S. and Carpenter, J.E. (2002b) Plant biotechnology: Current and potential impact for improving pest management in U.S. agriculture. An analysis of 40 case studies. National Center for Food & Agricultural Policy, Washington, DC, 75pp.
<<http://www.ncfap.org/40CaseStudies.htm>>. Accessed 2003 Oct 10.

- Gray, M.E. (2002) Preliminary root rating results from insecticide efficacy trials available. Pest Management & Crop Development Bulletin. No. 22. University of Illinois Extension, Champaign-Urbana, Illinois, 2pp.
<<http://www.ag.uiuc.edu/cespubs/pest/articles/v200222.html>>. Accessed 2003 Oct 10.
- Gray, M.E., Levine, E. and Oloumi-Sadeghi, H. (1998) Adaptation to crop rotation: western and northern corn rootworms respond uniquely to cultural practice. *Recent Research Developments in Entomology* 2, 19-31.
- Gray, M.E. and Steffey, K.L. (1998) Corn rootworm (Coleoptera: Chrysomelidae) larval injury and root compensation of 12 maize hybrids: an assessment of the economic injury index. *Journal of Economic Entomology* 91, 723-740.
- Knutson, R. J., Hibbard, B.E., Barry, B.D., Smith, V.A. and Darrah, L.L. (1999) Comparison of screening techniques for western corn rootworm (Coleoptera: Chrysomelidae) host-plant resistance. *Journal of Economic Entomology* 92, 714-722.
- Levine, E., Spencer, J.L., Isard, S.A., Onstad, D.W. and Gray, M.E. (2002) Adaptation of the western corn rootworm to crop rotation: Evolution of a new strain in response to a management practice. *American Entomologist* 48, 94-107.
- McClintock, J.T., Schaffer, C.R. and Sjoblad, R.D. (1995) A comparative review of the mammalian toxicity of *Bacillus thuringiensis*-based pesticides. *Pesticide Science* 45, 95-105.
- Metcalf, R.L. (1986) Foreword. In: Krysan, J.L. and Miller, T.A. (eds.). *Methods for the study of pest Diabrotica*. Springer-Verlag, New York, New York, pp. vii-xv.
- Metcalf, R.L. and Lampman, R.L. (1997) Plant kairomones and kairomone mimetics in basic and applied research with diabroticite rootworms. *Trends in Entomology* 1, 49-62.
- NCGA (2003) The world of corn. National Corn Growers Association, Washington, DC, 21pp.
<<http://www.ncga.org.html>>. Accessed 2003 Oct 10.
- Oleson, J. and J. Tollefson (2001). Interactive Node-Injury Scale. Iowa State Entomology internet site. Downloaded on February 24, 2003:
<http://www.ent.iastate.edu/pest/rootworm/nodeinjury/nodeinjury.html>
- O'Neal, M.E., Gray, M.E. and Smyth, C.A. (1999) Population characteristics of a western corn rootworm (coleoptera: chrysomelidae) strain in east-central Illinois corn and soybean fields. *Journal of Economic Entomology* 92(6), 1301-1310.
- Onstad, D.W. and Joselyn, M.G. (1999) Modeling the spread of western corn rootworm (coleoptera: chrysomelidae) populations adapting to soybean corn rotation. *Environmental Entomology* 28(2), 188-194.
- Ostlie, K.R. (1987) Extended diapause northern corn rootworm adapts to crop rotation. *Crops Soils Magazine* 39, 23-25.
- Rice, M.E. and Oleson, J. (2001) Rootworm insecticide performance. Integrated Crop Management Newsletter IC-486(24):196-198, Iowa State University, Ames, Iowa, 4pp.
<<http://www.ipm.iastate.edu/ipm/icm/2001/11-19-2001/performance.html>>. Accessed 2003 Oct 10.
- Riedell, W.E. (1990) Rootworm and mechanical damage effects on root morphology and water relations in maize. *Crop Science* 30, 628-631.

- Spike, B.P. and Tollefson, J.J. (1991) Yield response of corn subjected to western corn rootworm (Coleoptera: Chrysomelidae) infestation and lodging. *Journal of Economic Entomology* 84, 1585-1590.
- Tollefson, J.J. (1988) A pest insect adapts to the cultural control of crop rotation. In: *Brighton Crop Protection Conference. Pests and Diseases - 1988*. British Crop Protection Council, Thornton Heath, United Kingdom, pp 1029-1033.
- Wright, R., Meinke, L. and Siegfried, B. (1999) Adult western corn rootworm insecticide resistance in Nebraska. NebFacts, Nebraska Cooperative Extension NF99-367. Lincoln, Nebraska, 5pp. <<http://www.ianr.unl.edu/pubs/insects/nf367.htm>>. Accessed 2003 Oct 10.

A GENETIKAILAG MÓDOSÍTOTT NÖVÉNYEK KERESKEDELMI FORGALOMBA HOZATALA AZ EURÓPAI UNIÓ PIACÁN – A KÖRNYEZETIKOCKÁZAT-ELEMZÉS TUDOMÁNYOS ALAPJAI ÉS SZABÁLYOZÁSA

Detlef Bartsch¹ és Achim Gathmann²

¹Robert Koch-Institute – Center for Gene Technology – Berlin (Bartsch@rki.de)

²University of Technology, Biology V (Ecology, Exotoxicology, Ecochemistry) – Aachen (Gathmann@bio5.rwth-aachen.de)

Bevezetés

Az Európai Unióban a genetikailag módosított organizmusok (GMO) piacra kerülése korlátozás alatt áll. Bár a jogi szabályozás mind nemzeti, mind EU szinten lehetővé teszi GMO élelmiszerek és takarmányok szabadföldi kibocsátását, termesztését és behozatalát, 2003-ig mindössze 10 növény/esemény került regisztrálásra: 3 kukorica (Bt 176, Mon810, Bt11), 3 szegfű, 2 olajrepce, 1 dohány és 1 katáng fajta. Ezek közül mindössze két kukorica változat/esemény-kombinációt (Bt176 és Mon810) ismertek el legális változatként Spanyolországban, ahol ma már több mint 32 000 hektár területen folyik a termesztésük (Brookes, 2002). Az összes eddigi regisztráció jóváhagyása 1997 előtt történt. Célunk képet nyújtani a GMO-kat érintő új EU jogi szabályozás kereteiről, azon belül is elsősorban az élelmiszerekről és takarmányokról szóló új 1829/2003/EC rendelet követelményeiről. Az EU emellett rendkívül széles körű biobiztonsági kutatásokat is finanszírozott. Bemutatunk néhányat a cukorrépa biobiztonsági kérdéseivel foglalkozó főbb projektek közül. Végül ismertetjük a GM növények piacra vitelét követően a környezeti hatások megfigyelésére tett első kísérleteket.

Közösségi szabályozás az EU-ban a kockázatfelmérés és a kockázatkezelés elkülönítésére

Az Európai Unióban az 1990-es évek eleje óta létezik a GMO-kat érintő közösségi szabályozás, amely az évtized folyamán tovább bővült és finomodott. A legfontosabb új lépések a következők:

- A 2001. március 12-án elfogadott 2001/18/EC direktíva a genetikailag módosított organizmusok szándékos kibocsátásáról
- A 2003. szeptember 22-án elfogadott, a genetikailag módosított élelmiszerekről és takarmányokról szóló 1829/2003 (EC) rendelet

- A 2003. szeptember 22-án elfogadott 1830/2003 (EC) rendelet, mely a genetikailag módosított organizmusok nyomon követhetőségével és jelölésével, valamint az ezekből készült élelmiszerek és takarmányok nyomon követhetőségével foglalkozik.

Korábban a tizenöt EU tagállam közül hat (Franciaország, Olaszország, Dánia, Luxemburg, Ausztria és Görögország) blokkoló kisebbségként fellépve megakadályozta bármilyen új GMO termék engedélyezését az EU-ban. Manapság újabb kísérletek történnek a moratórium feloldására. A herbicid-toleráns NK603 kukorica lesz valószínűleg az első új GM esemény, mely engedélyt kap a piacra, de csak behozatalra. Az új Európai Élelmiszerbiztonsági Hivatal (EFSA)², mely a végső kockázatfelmérésért felelős, már pozitívan nyilatkozott (EFSA 2003a, b). Az EFSA elsődleges feladata az lesz, hogy független tudományos szakvéleményt adjon minden olyan ügyben, melynek közvetlen vagy közvetett hatása lehet az élelmiszerbiztonságra (1. ábra), akár genetikailag módosított organizmusokról van szó, akár nem. Az Élelmiszerbiztonsági Hivatal széles hatáskörrel rendelkezik, hogy az élelmiszertermelés és -ellátás minden lépését lefedhesse, az elsődleges termeléstől az állati takarmányokat érintő biztonsági kérdéseken át, egészen a fogyasztók élelmiszerrel történő ellátásáig. Bár az EFSA elsődleges „ügyfele” az Európai Bizottság lesz, a hivatal készen áll majd az Európai Parlamenttől, illetve a tagállamoktól érkező kérdések megválaszolására is, sőt saját részéről is kezdeményezheti kockázatfelmérési eljárás elindítását. Az EFSA felméri majd a táplálékláncot érintő kockázatokat, és tudományos értékelést készíthet valójában bármilyen ügyben, melynek közvetlen vagy közvetett hatása lehet az élelmiszerellátás biztonságára, beleértve az állategészségügyi, állatjóléti és növény-egészségügyi kérdéseket. Az EFSA tudományos szakvéleményt ad majd olyan GMO-k esetén is, melyek nem tartoznak az élelmiszerek, illetve a takarmányok körébe, valamint az uniós jogi szabályozás táplálkozást érintő kérdéseiben is. Az EFSA végső kockázatfelmérését követi majd az Európai Bizottság és a tagállamok intézkedései révén megvalósuló kockázatkezelés.

Kockázatfelmérés és biobiztonsági kutatások

Tudományos egyetértés áll fenn a tekintetben, hogy a kockázatfelmérésnek ki kell terjednie mind a kockázatnak való kitettségre (pl. a transz gének és expressziós termékeik gyakoriságára), mind pedig az új technológiával kapcsolatos specifikus hatásokra (Saeglitz és Bartsch, 2002). Annak ellenére, hogy a biobiztonsági kutatásoknak a kockázat mindkét

² <http://www.efsa.eu.int/>

elemével foglalkozniuk kell, a közelmúltban folytatott kutatások inkább csak a kockázatnak való kitettséget vizsgálták.

Egy 15 éves időtartamra visszatekintve (1985-2000), az EU 81 nemzetközi biobiztonsági programhoz nyújtott támogatást, melyekben több mint 400, számos különböző tudományterületen dolgozó csoportvett részt, és mintegy 70 millió eurós uniós össz hozzájárulást jelentettek. Az e projektekről szóló összefoglalók az alábbi címen találhatóak meg: <http://europa.eu.int/comm/research/quality-of-life/gmo/index.html>. Ezen időszak alatt az egyes nemzeti programok (pl. Németországban³) jelentősen hozzájárultak a GMO-k környezeti hatásaira vonatkozó ismereteinkhez. A biobiztonsági adatbázisokban⁴ fellelhető adatok alapján nincs arra bizonyíték, hogy a GMO-k használata önmagában ellentmondana a fenntartható mezőgazdaság és természetmegőrzés elvének (Bartsch és Schuphan, 2002). A GMO-k piacra - és a környezetbe – történő bevezetése lépésről lépésre, esetről esetre zajló folyamat mely állandó tudományos megfigyelést követel. A vírus-rezisztens cukorrépa biobiztonsági tanulmányozása két kiemelkedően fontos területet foglal magába: a vad típusú rokon fajokba történő génáramlást és a transz gének biodiverzitásra gyakorolt lehetséges hatásait.

A vírusrezisztens cukorrépa biobiztonsága a génáramlás és a biodiverzitás tekintetében

Definíció szerint a génáramlás a géneknek magok, pollen vagy klónozott növényi részek révén a környezetben történő aktív vagy passzív elterjedését jelenti. A biodiverzitás fogalma az ökoszisztémában lévő különböző élőlények sokaságát és biológiai kapcsolataikat foglalja magába. A biodiverzitás a biológiai szerveződés különböző szintjein látható és vizsgálható: a gének, a fajok, a populációk és a biocönózisok szintjén. A génáramlás a biodiverzitást mind a fajon belüli (intraspecifikusan), mind a fajok közötti szinten (interspecifikusan) érintheti.

Az ivaros szaporodás során lezajló kereszteződésért és génáramlásért két növényi rész felelős: anyai részről a magkezdemény, apai részről a pollen. Csak a pollen és a képződő magok játszanak fontos szerepet a természetes módon, nagy távolságra történő szétszóródásban, de a vetőmagtermelő cégek akaratlanul is hozzájárulhatnak genetikailag módosított növények (GMP) országhatárokon keresztül történő elterjesztéséhez, ha a szállítmányukba tudtukon kívül ilyen mag kerül. Mivel a magok jelentik a legfőbb terjesztési módot, mindegy, hogy az

³ <http://www.biosicherheit.de>

⁴ <http://www.icgeb.trieste.it/~bsafesrv/>

anya vagy az apa a genetikailag módosított növény. A kereszteződés következtében a haszonnövényből a gyomba irányuló génáramlásnak jelentős gyakorlati és gazdasági következményei vannak, mivel a folyamat elősegíti az agresszívabb gyomok kialakulását (Ellstrand és Schierenbeck, 2000). Így a GMP-k bevezetése fontos kérdéseket vetett fel a génáramlásra, illetve a biodiverzitásra gyakorolt hatásait illetően (Tiedje és mtsi., 1989; Gepts és Papa, 2003). Mindeztáig kevés tanulmány készült a haszonnövények és gyomok közötti kereszteződés eredményeképp kialakuló fitnessz-növekedésről (olajrepe: Stewart és mtsi., 1997; napraforgó: Snow és mtsi., 2003). Mivel kereszteződő fajok esetében valószínű a haszonnövényből a vad vagy gyomnövények irányába történő génáramlás előfordulása, összefoglaljuk annak lehetséges hatásait a cukorrépa esetében.

A génáramlás és a biodiverzitás között fennálló interakció jó példája a *Beta* nemzetség, melynek tagjait több mint 2000 éve termesztik a mediterrán területek keleti részén. A *Beta vulgaris* rendkívül változatos csoportot alkot, melyben a termesztett és a vad formákat gyakran nehéz genetikailag megkülönböztetni (Bartsch és Ellestrand, 1999). Ennek legfőbb oka a vadrépa (*Beta vulgaris ssp. maritima* ARCANG) génállományának kiterjedt használata a hagyományos nemesítési programokban, különösen a cukorrépa (*Beta vulgaris ssp. vulgaris* var. *altissima* DÖLL) esetén. A vadrépa változatai között az önmegtermékenyítő, egynyári növényektől kezdve az idegen megporzású, több magvú évelőig sokféle növény megtalálható, melyek élettartama egy év és több mint 11 év között mozog (Letschert, 1993; Hautekeete és mtsi., 2002). A termesztett *Beta vulgaris* alfajok, többek között a karórépa, a cékla és a cukorrépa kétéves növények. Ez utóbbi részben önmegporzásra képtelen a cukorrépa-nemesítés során széles körben felhasznált hímsterilitási gének miatt. Az összes termesztett és vadon növe *Beta vulgaris* alfaj nagyrészt szélbeporzású, habár megfigyeltek némi rovarbeporzást is. A *Beta vulgaris* fajon belüli diverzitása jól dokumentált jelenség, mivel ez fontos tényező a cukorrépa nemesítésében (Freese és mtsi., 2001; Bartsch és mtsi., 2003).

A termesztett és a vadon növe répaféléken kívül a cukorrépa földeken megfigyelhető a növénynek egy gyom-formája is, mely genetikailag meghatározott egynyári jellegéből adódóan a tenyészidényben későn magzik fel. Mivel ez a gyom a kereskedelmi szempontból kívánatos húsos répagyökér helyett fásodó virágzatot és nagy mennyiségű magot hoz létre, jelenléte komoly gondot jelenthet a gazdák számára (Soukup és mtsi., 2002; Desplanque és mtsi., 2002). Hagyományos módszerekkel nem lehet megszabadulni az egynyári gyomrépától,

mivel magoncaik morfológiája és fiziológiája hasonlít a cukorrépához. A *Beta vulgaris* jó példája a vadon termő/haszonnövény komplexumban megfigyelhető génáramlásnak és kereszteződésnek (Van Dijk és Desplanque, 1999; Mücher és mtsi., 2000).

A genetikailag módosított cukorrépa és vad illetve gyom-változatai között nagy valószínűséggel fordulhat elő génáramlás. A termesztett répafajták és a dél-európai vad változatok közötti spontán keresztezések eredményeképp létrejövő hibridek általában egynyáriak, mivel ez az életciklus-jelleg genetikailag domináns és gyakori a déli vad populációkban. Németországban kutatási program vizsgálta a genetikailag módosított cukorrépa és a vad illetve gyom répák közötti interakcióval kapcsolatos biobiztonsági kérdéseket. A kutatás során vizsgált transz gének egy kópiában tartalmazták a répa nekrotikus sárgaerűség vírus (BNYVV) köpenyfehérje (cp), a foszfinotricin acetiltranszferáz (bar) és a neomicin foszfortranszferáz (nptII) géneket. Kutatócsoportunk arra a következtetésre jutott, hogy a vadrépával alkotott hibridek vírus-rezisztens fenotípusa nem különbözik jelentősen a természetes rezisztenciát mutató genotípusokétól (Pohl-Orf és mtsi., 2000). Ezen túlmenően, arra sincs bizonyíték, hogy a vírusnak bármilyen ökológiai szerepe lenne, mivel a vadrépa-populációkban nem található meg. Levonhatjuk azt a következtetést, hogy ebben a speciális esetben a genetikailag módosított, vírus-rezisztens hibridek bevezetésének és elterjedésének minimális az ökológiai jelentősége (Bartsch és Schuphan, 2002).

A környezeti monitorozás, ellenőrzés szerepe

Mindazonáltal, a vadon élő növénypopulációk földrajzi eloszlásáról és genetikai diverzitásáról gyűjtött alapvető adatok révén megvalósuló, hosszú távú ellenőrzés szükséges ahhoz, hogy bármilyen hatást detektálhassunk a vadon növő répavariánsok genetikai állományának tekintetében. Ezért csoportunk megvizsgálta annak a génáramlásnak az ökológiai hatásait, amely az elmúlt száz év alatt a hagyományosan nemesített, termesztett cukorrépából a vadon növő vadrépa populációk irányába történt Olaszország északkeleti részén (Bartsch és mtsi., 1999). Kimutattuk, hogy a termesztett növényből a vad rokon irányába megvalósuló génáramlás nem feltétlenül vezet a vadon élő növény genetikai diverzitásának csökkenéséhez, annak ellenére, hogy a termesztett cukorrépa kisebb diverzitású és mennyiségben mintegy tízezerszeresen felülmúlja vad rokonait. Azokon a franciaországi területeken, ahol cukorrépa-termesztés és magtermelés folyik, a génáramlás nem mutat minőségi eltérést a fentiekől (Desplanque és mtsi., 1999; Viard és mtsi., 2002). Ezek az adatok alátámasztják azt a biobiztonsággal foglalkozó kutatók között elterjedt

véleményt, hogy a génáramlást önmagában nem kell a genetikailag módosított növényekkel kapcsolatos hátrányos környezeti hatásnak tekinteni (pl. Crawley és mtsi., 2001).

Mindazonáltal, a GMO-k ökológiai kockázatelemzésének és kockázatkezelésének koncepciója, melyet az új 2001/18 EU direktíva fogalmaz meg, a kereskedelmi forgalmazást megelőző biobiztonsági kutatásokra és az azt követő ellenőrzésre támaszkodik, amely lehet „eset-specifikus” vagy általános („általános megfigyelés”). Újabb kutatások arra utalnak, hogy a genetikailag módosított cukorrépa ésszerű használata még növelheti is az agro-ökoszisztémák interspecifikus diverzitását (Strandberg és Bruus Peterson, 2002; Dewar és mtsi., 2003a), de nagyon óvatosan kell bánni az e tanulmányokból történő általánosítással, mivel az angol farm-szintű felmérések a herbicid-toleráns cukorrépa termesztését követő helytelen terménygazdálkodás problémáját vetették fel (Dewar és mtsi., 2003b).

A 2001/18/EC EU direktívának megfelelően, a genetikailag módosított organizmusok monitorozása kötelező feltétele a piacra vitelnek. Amennyiben tudományos értékű bizonyíték van arra nézve, hogy a genetikai módosításhoz esetleg káros hatás kötődik, esetspecifikus megfigyelést kell végezni a Regionális Hivatal feltételezéseinek megerősítésére. Az ilyen káros hatások lehetséges következményeinek felmérését tudományos alapon kell végezni és az adatokat a háttérhez kell viszonyítani. A környezetbe történő kibocsátás előre nem látható hatásait általános megfigyelőprogram révén kell felügyelni, amelyet attól függetlenül végre kell hajtani, hogy a Regionális Hivatal talált-e káros hatásra utaló jelet vagy sem. Mivel növények szaporításakor a génáramlás szinte elkerülhetetlen, a transzgénikus tulajdonságok milyensége a fontos. Mindenesetre, a direktíva a teljes megfigyelési terv megvalósításáért és az adatok jelentéséért a felelősséget teljes egészében az engedéllyel rendelkező félre helyezi, ami általában magántulajdonban lévő céget jelent.

Mintegy európai keretként szolgál a jelenleg megvalósuló Megfigyelési Irányelvek Jegyzéke (Monitoring Guidance Note, 2002/811/EC). Ez a jegyzék definíciót, hogy hogyan kell alkalmazni (a) a megfigyelési stratégiákat, (b) a megfigyelési módszereket és (c) az elemzéseket, jelentéseket, áttekintéseket. A megfigyelés minden részletének kialakításáért és megvalósításáért – legalábbis az eljárásstervezet szerint – az alkalmazó egymaga a felelős. Különösen a váratlan események megfigyelése jelent gyakorlatilag végeláthatatlan feladatot a különböző kiválasztható környezeti paraméterek tekintetében. Kiutat jelenthet az, ha a megfigyelés a megőrzést célozza meg és ezzel a környezeti károkra összpontosít, amint azt a

legújabb, a környezeti felelősségről szóló EU tervezet (2003/C277/02) megfogalmazza. E javaslat megfogalmazása szerint a „kár” olyan detektálható hátrányos változást jelent a természeti kincsekben és/vagy mérhető károsodást a természeti forrásokban, melyet közvetve vagy közvetlenül bármely, az ez által a direktíva által szabályozott, GMO-t felhasználó tevékenység okoz. A „környezeti kár” definíciója: súlyos ártalom fajok vagy ökoszisztémák diverzitására (ami a Fauna Flora Habitat/Natura 2000 és madárvédelmi státusz szerint csak a védett fajokra és ökoszisztémákra vonatkozik), illetve a vízre és a talajra.

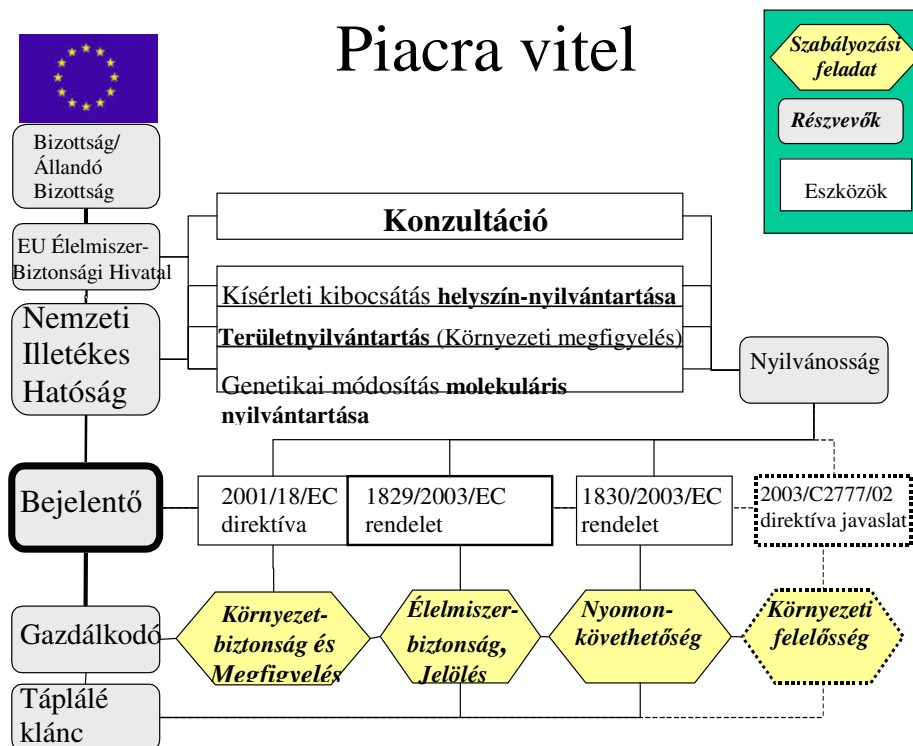
Az Irányelvek Jegyzéke egyelőre nem ad világos útmutatást arra, hogy hogyan kell megtervezni a folyamat második, általános megfigyelési részét. A dolog természetéből adódóan nehéz, gyakorlatilag lehetetlen *a priori* válaszokat adni olyan kérdésekre, pl. hogy mi lesz a váratlan esemény, vagy hogy mikor és hol következik be. A termesztett növényekből a vad rokonokba történő génáramlás és a transz gének introgressziójának némely aspektusát Den Nijs és Bartsch (2004) részletesen tárgyalja. Fennáll annak a veszélye, hogy a kis és közepes méretű cégek nem tudják megvalósítani a túl széleskörű monitorozási terveket, a nagyobb vállalatok pedig majd nem akarják a költséges tervek végrehajtásának anyagi terheit vállalni. Megoldást jelenthetne, különösen az általános megfigyelés tekintetében, ha a már létező mezőgazdasági megfigyelési tevékenységek, pl. a földhasználattal, szennyeződéssel, patogénekkal kapcsolatosak bevonhatók lennének az adatgyűjtésbe. A jogi szabályozás azonban az általános megfigyeléshez kapcsolódó adatközlésért az engedélytulajdonost teszi felelőssé. Ez azt jelenti, hogy az engedélytulajdonosnak hozzá kellene férnie, és koordinálnia kellene ezeket az egyéb információforrásokat, ami nehézségekbe ütközhet, mivel az általános megfigyelő rendszerek némelyike állami ellenőrzés alatt áll, és az adatokhoz való hozzáférés titoktartási, kereskedelmi vagy egyéb okok miatt korlátozott. A bonyolult helyzetből adódóan a tagállamoknak meg kellene fontolniuk, hogy a megfelelő információt elérhetővé tegyék az ellenőrzési folyamatok számára, vagy hogy a gyakorlatban az általános ellenőrzésért részben átvegyék a felelősséget.

Irodalomjegyzék

Arnaud, J.F., F. Viard, M. Delescluse, J. Cuguen. 2003. Evidence for gene flow via seed dispersal from crop to wild relatives in *Beta vulgaris* (Chenopodiaceae): consequences for the release of genetically modified crop species with weedy lineages. Proc. Royal Soc. London. B, Biological Sciences 270:1565-1571.

- Bartsch, D., and N.C. Ellstrand. 1999. Genetic evidence for the origin of Californian wild beets (genus *Beta*). *Theor. Appl. Genet.* 99:1120-1130.
- Bartsch, D., and Schuphan, I. 2002. Lessons we can learn from ecological biosafety research. *Journal of Biotechnology* 98, 71-77.
- Bartsch, D., J. Cuguen, E. Biancardi, and J. Sweet. 2003. Environmental implications of gene flow from sugar beet to wild beet – current status and future research needs. *Environ. Biosafety Res.* 2:105-115.
- Bartsch, D., M. Lehnen, J. Clegg, M. Pohl-Orf, I. Schuphan, and N.C. Ellstrand. 1999. Impact of gene flow from cultivated beet on genetic diversity of wild sea beet populations. *Mol. Ecol.* 8:1733-1741.
- Bartsch, D., U. Brand, C. Morak, M. Pohl-Orf, I. Schuphan, and N.C. Ellstrand. 2001. Biosafety of hybrids between transgenic virus-resistant sugar beet and Swiss chard. *Ecol. Appl.* 11:142-147.
- Brookes, G. 2002. “The farm level impact of using Bt maize in Spain”. Brookes West Report, Canterbury UK, 23 pp.
- Crawley, M.J., Brown, S.L., Hails, R.S., Kohn, D., and Rees, M. 2001. Transgenic crops in natural habitats. *Nature (London)* 408:682-683.
- Den Nijs, H., and Bartsch, D. 2004. Introgression of GM plants and the EU Guidance note for Monitoring. In: Den Nijs, H., Bartsch, D., and Sweet, J. (eds.) *Introgression from Genetically Modified Plants into wild relatives and its consequences*, CABI, in press.
- Desplanque B, Boudry P, Broomberg K, Saumitou-Laprade P, Cuguen J, and Van Dijk H 1999. Genetic diversity and gene flow between wild, cultivated and weedy forms of *Beta vulgaris* L. (Chenopodiaceae), assessed by RFLP and microsatellite markers. *Theor. Appl. Genet.* 98:1194-1201.
- Desplanque, B., Hautekeete, N.C., and Van Dijk, H. 2002. Transgenic weed beets: possible probable, avoidable? *J. Appl. Ecology (London)* 39:561-571.
- Dewar, A.M., May, M.H.J., Woiwood, I.P., Haylock, L.A., Champion, G.T., Garner, B.H., Sands, R.J.N., Qi, A., and Pidgeon, J.D. 2003a. A novel approach to the use of genetically modified herbicide tolerant crops for environmental benefit. *Proc. Roy. Soc. London B.* 270:335-340.
- Dewar, A., Champion, G., May, M., Pidgeon, J. 2003b. The farm scale evaluations of GMHT crops: what do the results mean for sugar beet? *British Sugar Beet Review* 71, 15-22.
- EFSA 2003a. Opinion of the Scientific Panel on Genetically Modified Organisms on a request from the Commission related to the Notification (Reference CE/ES/00/01) for the placing on the market of herbicide-tolerant genetically modified maize NK603, for import and processing, under Part C of Directive 2001/18/EC from Monsanto, *The EFSA Journal* (2003) 10, 1-13.
- EFSA 2003b. Opinion of the Scientific Panel on Genetically Modified Organisms on a request from the Commission related to the safety of foods and food ingredients derived from herbicide-tolerant genetically modified maize NK603, for which a request for placing on the market was submitted under Article 4 of the Novel Food Regulation (EC) No 258/97 by Monsanto, *The EFSA Journal* (2003) 9, 1-14.
- Ellstrand, N.C. and K.A. Schierenbeck. 2000. Hybridization as a stimulus for the evolution of invasiveness in plants? *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 97:7043-7050.

- Frese, L., B. Desprez, and D. Ziegler. 2001. Potential of genetic resources and breeding strategies for base-broadening in Beta. p. 295-309. In H.D. Cooper, C. Spillane, and T. Hodgkin (ed.) Broadening the genetic base of crop production. IPGRI/FAO, Rome.
- Gepts, P., and R. Papa. 2003. Possible effects of (trans)gene flow from crops on the genetic diversity from landraces and wild relatives. *Environ. Biosafety Res.* 2:89-103.
- Hautekeete, N., Y. Piquot, and H. Van Dijk. 2002. Life span in *Beta vulgaris maritima*: the impacts of disturbance and of age at first reproduction. *J. Ecol.* 90:508-516.
- Letschert, J.P.W. 1993. Beta section Beta: biogeographical patterns of variation and taxonomy. Wageningen Agricultural University Publications 93:1-153.
- Mücher, T., P. Hesse, M. Pohl-Orf, N.C. Ellstrand, and D. Bartsch. 2000. Characterization of weed beets in Germany and Italy. *J. Sugar Beet Res.* 37:19-38.
- Pohl-Orf, M., C. Morak, U. Wehres, C. Saeglitz, S. Driessen, M. Lehnen, P. Hesse, T. Mücher, C. von Soosten, I. Schuphan, and D. Bartsch. 2000. The environmental impact of gene flow from sugar beet to wild beet – an ecological comparison of transgenic and natural virus tolerance genes. p. 51-55. In C. Fairbairn, G. Scoles, and A. McHughen (ed.) Proc. 6th International Symposium on the Biosafety of Genetically Modified Organisms, July 2000, Saskatoon, Canada.
- Saeglitz, C., and Bartsch, D. 2002. Plant gene flow consequences. *AgBiotechNet* 4, ABN 084.
- Saeglitz, C., M. Pohl, and D. Bartsch. 2000. Monitoring gene escape from transgenic sugar beet using cytoplasmic male sterile bait plants. *Mol. Ecol.* 9:2035-2040.
- Snow, A.A., D. Pilson, L.H. Rieseberg, M.J. Paulsen, N. Pleskac, M.R. Reagon, D.E. Wolf, and S. Selbo. 2003. A Bt transgene reduces herbivory and enhances fecundity in wild sunflowers. *Ecol. Appl.*, in press.
- Soukup, J., J. Holec, P. Vejl, S. Skupinova, and P. Sedlak. 2002. Diversity and distribution of weed beet in the Czech Republic. *J. Plant Dis. Prot., Special Issue XVIII*, 67-74.
- Stewart, C.N., J.N. All, P.L. Raymer, and S. Ramachandran. 1997. Increased fitness of transgenic insecticidal rapeseed under insect selection pressure. *Mol. Ecol.* 6:773-779.
- Strandberg, B., and M. Bruss Pedersen. 2002. Biodiversity in glyphosate tolerant fodder beet fields. Timing of herbicide application. National Environmental Research Institute Silkeborg, Denmark.
- Tiedje, J.M.R., R.L. Colwell, Y.I. Grossman, R.E. Hodson, R.E. Lenski, R.N. Mack, and P.J. Regal. 1989. The planned introduction of genetically engineered organisms, ecological considerations and recommendations. *Ecology* 70:298-315.
- Van Dijk, H. and B. Desplanque. 1999. European Beta: crops and their wild and weedy relatives. p. 257-270. In L.W.D. Van Raamsdonk, and J.C.M. Den Nijs (ed.) Plant evolution in man-made habitats. Hugo de Vries Laboratory, Amsterdam.
- Viard, F., J. Bernard, and B. Desplanque. 2002. Crop-weed interactions in the *Beta vulgaris* complex at a local scale: allelic diversity and gene flow within sugar beet fields. *Theor. Appl. Genet.* 104:688-687.



1. ábra: Az Európai Unióban a genetikailag módosított élelmiszer- és takarmánytermékek piacra viteléhez szükséges összes tevékenység áttekintése. Különböző eszközök állnak rendelkezésre a különböző résztvevők számára, a különböző jogi feladatok ellátásához. A bejelentőnek be kell tartania a jogi előírásokat és eleget kell tennie a jelentéstételi kötelezettségnek a hatóságok felé. A végső kockázatfelmérést az Európai Élelmiszerbiztonsági Hivatal (EFSA) végzi, míg a kockázatkezelést az Európai Bizottság irányítja. A környezeti felelősség szerepe még nem egészen világos, de nagy valószínűséggel befolyásolja a tevékenységeket.

SZÁRAZSÁG ÉS GÉNTECHNOLÓGIA

Dudits Dénes

MTA Szegedi Biológiai Központ, 6726 Szeged, Temesvári krt. 62.

dudits@nucleus.szbk.u-szeged.hu

Az aszály mint gazdasági tényező

Mind a rendszeres aszályok okán, mind a felmelegedéssel járó esetleges klímaváltozás kedvezőtlen hatásaiból fakadóan a hosszantartó vízhiány súlyosan károsítja a szántóföldi és a vadonélő növényeket. Mivel – a klímaváltozás hatásainak megítélésében mutatkozó viták ellenére – több elemzés is előrejelzi Magyarország egyes régióinak elsivatagosodását (lásd Doros Judit: Népszabadság, 2001.), várhatóan a víz mindinkább limitáló tényezővé válik az élelmiszer-termelésben, ezért fontos a növények vízfelhasználásának optimalizálása a vízkészletek védelme érdekében is.

A Földművelésügyi és Vidékfejlesztési Minisztérium adatai szerint 2003-ban az aszály 100 milliárd forintos árbevétel-kiesést okozott. A termelőket ért veszteség mérséklésére 10 milliárd Ft vissza nem térítendő támogatást és 50 milliárd Ft hitelt kellett rendelkezésre bocsátani. A vissza nem térítendő támogatásra mintegy 94 ezer termelő több mint 38 milliárd Ft igényt nyújtott be. A búza esetében országosan 25 %-os volt a termésnövekedés, amely alapjaiban érintette Magyarország exportlehetőségeit. Ez a néhány kiragadott szám is érzékelteti, hogy az aszály, illetve a sivatagosodás mennyire mindennapjainkat meghatározó tényezővé vált, ezért nem halasztható az átfogó védekezési stratégiák kidolgozása és a hatékony vízgazdálkodási rendszerek kiépítése. Többirányú intézkedést igényel az aszály okozta gazdasági, szociális és környezeti károk mérséklése, amelyek közül az egyik lehetőséget a növények biológiai képességeinek javítása jelenti. Élve a növénynevelés nyújtotta megközelítésekkel, olyan fajták előállítására és termesztésére van szükség, amelyek képesek a vízhiány, illetve a magas hőmérséklet okozta élettani károkat mérsékelni, korlátozott vízellátás mellett is megtartják termőképességüket, továbbá hatékonyan hasznosítják a rendelkezésre álló vízkészletet. Termesztett növényeink vízhasznosító képességének javítása csak akkor lehet sikeres, ha a nemesítést a növényélettani, a stresszbiológiai, és géntechnológiai kutatások legújabb eredményei is segítik.

Vízvesztéskor a gének százai vesznek részt a korai stresszreakciókban : a genomikai kísérletek üzenete

Csapadék hiányában a talaj vízkészleteinek kimerülése a növény szerveiben, sejtjeiben is vízvesztéshez, dehidratációhoz vezet, ami az életfolyamatok átprogramozását váltja ki. Először aktivizálódnak a korai védekezéshez szükséges anyagcsereutak, majd hosszabb ideig tartó vízhiány hatására az alkalmazkodást biztosító sejtfunkciók jutnak szerephez. Az alkalmazkodási képesség megléte szélsőséges körülmények között létfontosságú lehet, hiszen a túlélést segítő folyamatok működésbe lépésével vészeli át a növény a kritikus időket. A gazdaember munkáját azonban a kevésbé szélsőséges körülmények is tönkretelhetik. Víz hiányában a megtermékenyítés folyamatai károsodhatnak, leáll a magok tápanyagokkal való feltöltődése. Apró szemű, aszott termés takarítható be.

A DNS-chip technológiával végzett génkifejeződési vizsgálatok mind a lúdfű, mind a rizs esetében több száz gén működésének változását jelzik a vízhiányos körülmények között (Oono *et al.* 2003, Rabbani *et al.* 2003). A lúdfű 7000 vizsgált génje közül 152 aktiválódott, míg 168 gén csökkentette működését a vízvesztés hatására.

A gének nukleotidsorrendjének ismeretében meghatározhatók a kódolt fehérjék, és így kirajzolódik egy bonyolult anyagcsere-hálózati rendszer, amelynek szerepe van a korai védekezési folyamatokban.

A búzagének azonosítására Györgyey János és mtsai (Búzakonzorcium, NKFP jelentés, 2003.) különböző molekuláris biológiai módszereket használtak, így azonosítani lehetett olyan géneket, amelyek jellegzetesen a szárazságtűrő genotípusban léptek működésbe hosszabb idejű stresszkezelés esetén.

A génizolálási és transzformációs stratégiák a gének igen széles körére támaszkodva kívánják a növények szárazságtűrését javítani (lásd Dudits-Heszky 2003, Wang *et al.* 2003).

Transzgenikus stratégiák az oxidatív károsodások mérséklésére

Szinte valamennyi abiotikus (aszály, alacsony-magas hőmérséklet, UV-B sugárzás) és biotikus (vírus-, baktérium-, gombafertőzés) stressz eredményeként a sejtekben káros hatású reaktív oxigéngyökök (szuperoxid, hidrogénperoxid, illetve hidroxilgyök) képződnek, amelyek elsődlegesen felelősek a DNS-fehérje- és lipidmolekulák sérüléséért és működési hibáiért. Ezért fontos cél, hogy hatékonyabbá tegyük ezen reaktív gyökök, illetve

származékaik méregtelenítését végző sejtfunkciókat. A kísérletek több esetben is igazolták, hogy egyetlen gén beépítésével, amely antioxidáns vagy méregtelenítő fehérje, vagy enzim szintézisét biztosítja, javítani lehetett a növények stressztűrő képességét. Kiemelt példaként a lucerna *aldóz/aldehid reduktáz enzim* dohányban történő túltermelését említhetjük. A transzgenikus növények meg-növekedett ellenállóságot mutattak vízhiány és UV-B besugárzás okozta stressz esetében (Oberschall *et al.* 2000, Hideg *et al.* 2003).

A sejtek ozmotikus és ion állapotát optimalizáló gének beépítése

A géntechnológiai megközelítések ötleteit gyakran maguktól a növényektől tanulhatjuk el. A növényélettani kutatások már régen igazolták, hogy vízhiány következtében csökken a sejtekben az ozmotikus nyomás, a turgor fenntartására pedig védő szerepet játszó vegyületek szintézise indul meg. A prolint, a glicinbetaint, a trehalózt, a szorbitolt tekintik elsősorban hatékony vegyületeknek, amelynek meg-növekedett mennyisége segítheti a sejtek, szervek túlélését. Hasonlóan az ionok (nátrium, klór), illetve protonok mozgása is megváltozik a sejtmembránon át stresszkörülmények között. A só- és aszálytűrésnek lehetnek közös molekuláris alapjai, mégis az egyik stresszel szembeni rezisztencia nem feltétlenül jelenti a másik hatással szembeni ellenállóságot is.

A *prolin* mennyiségének növelését célzó génbeépítési kísérletek, a szintézis génjeinek fokozott működtetésével, vagy a prolin lebontását végző enzim, a prolindehidrogenáz génjeinek elhallgattatásával kívántak stresszrezisztenciát kialakítani. Fagytűrésről, illetve a NaCl-al szembeni védekezésről számolnak be a közlemények (Hong *et al.* 2000; Nanjo *et al.* 1999). A cukor alkoholok közül a *trehalóz* mennyiségének kisméretű emelkedése eredményezhet abiotikus stresszhatásokkal szembeni ellenállóságot (Garg *et al.* 2002).

A *hősokk fehérjék* védő szerepét is sokoldalúan vizsgálták génbeépítésre épülő kísérleti rendszerekben. Így, egy kis molekulatömegű hősokk fehérje (Hsp 17.6A) túltermeltetése ozmotikus hatással szembeni ellenállóságot eredményezett (Sun *et al.* 2001).

A jelátvitelben és a génkifejeződés szabályozásában szerepet játszó fehérjék mint géntechnológiai célpontok

A DNS-chip adatok megerősítik azt a tényt, hogy a védekezési és alkalmazkodási funkciók nagyszámú gén összehangolt közreműködését igénylik. Így a koordinációt ellátó karmesterfehérjék és azok génjei kiemelt figyelmet érdemelnek a rezisztens genotípusok

kialakításában. A stresszgének szabályozásáért felelős DNS-régiókban olyan szekvenciamotívumok vannak, amelyekhez regulátor fehérjék (transzkripció faktorok) kötődnek és a gének aktív vagy inaktív állapotba kerülnek. Az ilyen regulátor fehérjék egyaránt szerepet játszhatnak a szárazságra vagy a stresszhormon, az abszicinsav hatására aktiválódó gének szabályozásában. Túltermelésük génbeépítést követően jelentős szárazságtűrést eredményezett a lúdfű transzformáns növényekben (Kang *et al.* 2002).

A növénynemesítést szolgáló géntechnológia jövőbeni szerepének kibővülése

A számos ígéretes laboratóriumi és üvegházi kísérlet biztató adatai ellenére a stresszrezisztens transzgenikus növények szabadföldi kipróbálására csak korlátozott számú génkombináció esetén került sor. Ebben szerepet játszik az a tény, hogy az ilyen vizsgálatok igen költségesek, főként a túlszabályozottság következtében. A hazai egyetemi, vagy intézeti kutatási egységek nem rendelkeznek anyagi eszközökkel ezen kísérletek elvégzéséhez.

A nemesítők tenyészterjében és a rokon fajokat fenntartó génbank-gyűjteményekben számos olyan változat fedezhető fel, amelyek kedvezően hasznosítják a vizet, vagy képesek vízhiány okozta károk kivédésére. Az ilyen növényvariánsok részletes molekuláris jellemzése rámutathat új védekezési stratégiákra, illetve a géntechnológia által kihasználható lehetőségekre.

Ha a rezisztenciáért felelős géneket sikerül azonosítani és izolálni, akkor azok nagyszámú nemesítési tenyészanyagba beépíthetők. Ezzel biztosítható a szárazságtűrő fajták széles választéka. Természetesen az ellenállósági gének keresztezéssel is beépíthetők a kiválasztott genotípusokba. Ebben az esetben több tízezer gén véletlen rekombinációja során a nem kívánt, kedvezőtlen tulajdonságok is átkerülhetnek az utódnövényekbe. Ezért évekig tartó visszakeresztezési és szelekciós programra van szükség ahhoz, hogy a génátvitel elérje célját. Izolált rezisztencia gén vagy gének transzformációval történő beépítése időnyereséget jelenthet a nemesítő számára. Nyilván ebben az esetben is évekig tartó értékelésre és minősítésre van szükség ahhoz, hogy egy új fajta elfogadásra és köztermesztésbe kerüljön.

A szárazságstresszre reagáló igen összetett növényi védekezési mechanizmusok megismerésének még csak a kezdetén vagyunk. Ugyanakkor már jelenleg is felismerhető néhány kiemelt tulajdonság, amelyeknek meghatározó szerepe lehet. Így könnyen belátható, hogy a gyökérrendszer mérete, illetve a gyökerek növekedési képességének megmaradása a száraz talajban milyen fontos lehet a vízkészletek hasznosításában. A gyökér fejlődését szabályozó gének megtalálása és izolálása jó alapot adhat a további géntechnológiai

megközelítések kidolgozásához (Hochholdinger *et al.* 2004.). A vízhiány esetén a növények fotoszintetizáló képességének károsodása igen súlyos következményekkel járhat a termőképesség csökkenése folytán. Ennek fényében kiemelt figyelmet érdemel Jeanneau *et al.* (2002) közleménye, amely egy fontos fotoszintetikus enzim (C4-foszfopenolpiruvát karboxiláz) túltermeltetése során figyeltek meg szárazságtűrést transzgenikus kukoricanövényeken. A vízhiány és a magas hőmérséklet jelentősen károsíthatja az embrió fejlődését és az endospermium-szövetek feltöltődését. Így a magvak kifejlődésében szerepet játszó gének megismerése és felhasználása hozhat eredményt.

A világszerte folyó intenzív kutatás ellenére további géntechnológiai és növénynemesítési munkára van szükség, hogy a szárazság, amely mind globálisan mind egy-egy régióban súlyos környezeti károkat okozhat, hatásai mérsékelhetőek legyenek. Célszerű lenne a nagy katasztrófákat megelőzni, olyan növények nemesítésével, amelyek kedvezőbb alkalmazkodó képességgel rendelkeznek és hatékonyabban veszik fel és hasznosítják a vizet mint a mezőgazdasági tevékenység kifogyóban lévő természeti alapját.

Irodalomjegyzék:

Doros, J. Népszabadság 2001, augusztus 6.

Oono, Y., Seki, M., Nanjo, T., Narusaka, M., Fujita, M., Satoh, R., Satou, M., Sakurai, T., Ishida, J., Akiyama, K., Iida, K., Maruyama, K., Satoh, S., Yamaguchi-Shinozaki, K., Shinozaki, K. Monitoring expression profiles of *Arabidopsis* gene expression during rehydration process after dehydration using ca. 7000 full-length cDNA microarray. *The Plant Journal*, 2003, 34: 868-887.

Rabbani, M., Maruyama, K., Abe, H., Khan, M., Katsura, K., Ito, Y., Yoshiwara, K., Seki, M., Shinozaki, K., Yamaguchi-Shinozaki, K. Monitoring expression profiles of rice genes under cold, drought and high salinity stresses and abscisic acid application using cDNA micro array and RNA gel-blot analysis. *Plant Physiology* 2003, 133: 1755-1767.

Györgyey, J. és mtsai NKFP Búzakonzorcium jelentés, 2003.

Dudits, D., Heszky, L. Növényi biotechnológia és géntechnológia. 2. kiadás Agroinform Kiadó, Budapest, 2003 p. 312.

Wang, W., Vinocur, B., Altman, A. Plant responses to drought, salinity and extreme temperatures: towards genetic engineering for stress tolerance. *Planta*, 2003, 218: 1-14.

Oberschall, A., Deák, M., Török, K., Sass, L., Vass, I. Kovács, I., Fehér, A., Dudits, D. and Horváth, V.G. A novel aldose/aldehyde reductase protects transgenic plants against lipid peroxidation under chemical and drought stresses. *The Plant Journal*, 2000 24: 437-446.

- Hideg, É., Nagy, T., Oberschall, A., Dudits, D. and Vass, I. (2003) Detoxification function of aldose/aldehyde reductase during drought and UV-B (280-320 nm) stresses. *Plant Cell and Environment*. 26: 513-522.
- Hong, Z., Lakkineni, K., Zhang, K., Verma, D.P.S. Removal of feed back inhibition of Δ^1 -pyrroline-5-carboxylate synthetase results increased proline accumulation and protection of plants from osmotic stress. *Plant Physiology*, 2000, 122: 1129-1136.
- Nanjo, T., Kobayashia, M., Yoshibab, Y., Kakubaric, Y., Yamaguchi-Shinozaki, K., Shinozaki, K. Antisense suppression of proline degradation improves tolerance to freezing and salinity in *Arabidopsis thaliana*. *FEBS Lett*. 1999, 461: 205-210.
- Garg, A.K., Kim, J.K., Owens, T.G., Ranwala, A.P., Choi, Y.D., Kochian, L.V., Wu, R.J. Trehalose accumulation in rice plants confers high tolerance levels to different abiotic stresses. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 2002, 99: 15898-15903.
- Sun, W., Bernard, C., van de Cotte, B., Van Montagu, M., Verbruggen, N. At-HSP17.6A, encoding a small heat-shock protein in *Arabidopsis* can enhance osmotolerance upon over-expression. *Plant J*. 2001, 27: 407-415.
- Kang, J.Y., Choi, H.I., Im M.Y., Kim, S.Y. *Arabidopsis* basic leucine zipper proteins that mediate stress responsive abscisic acid signalling. *Plant Cell* 2002, 14: 343-357.
- Hochholdinger, F., Woong, J.P., Sauer, M., Woll, K. From wheats to crops: genetic analysis of root development in cereals. *Plant Science*, 2004, 9: 42-48.
- Jeanneau, M., Gerentes, D., Foueillassar, X., Zivy, M., Vidal, J. Toppan, A., Perez, P. Improvement of drought tolerance in maize: towards the functional validation of the Zm-Asr1 gene increase of water use efficiency by over-expressing C4-PEPC. *Biochimie*, 2002, 84: 1127-1135.