

ROVATVEZETŐ:

Dr. Heszky László *akadémikus*



A transzgénikus (GM) fajták globális termőterületének közel 2/3-át a gyomirtó szerekre toleráns GM-fajták és -hibridek foglalják el. A „Transzgénikus növényvédelem” fejezetet ezért a transzgénikus herbicidtolerancia tudományos és gazdasági jelentőségének bemutatásával kezdjük.

Tanuljunk géntechnológiául (33.)

Transzgénikus növényvédelem (VI./2.)

A transzgénikus gyomirtószer-tolerancia stratégiái, szakmai és gazdasági jelentősége

Dr. Heszky László

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

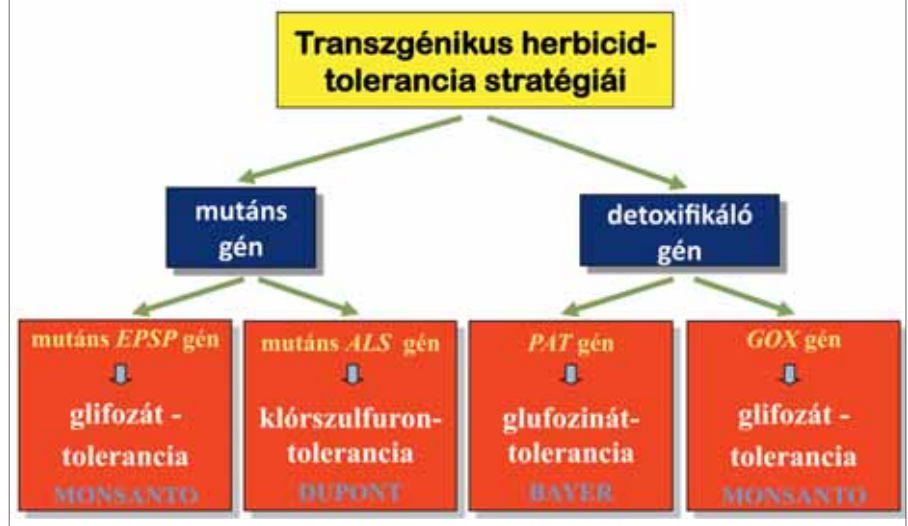
Bevezetés

Az első tudományos publikációk a totális herbicidekre toleráns növények előállításáról 1986-87-ben jelentek meg a világ vezető tudományos lapjaiban. Ezek az eredmények beláthatatlan távlatokat nyitottak a totális gyomirtó szerekkel rendelkező nagy vegyipari konsernek számára, mint pl. Monsanto, Bayer és DuPont. Ezeket a szereket ugyanis csak mint nem szelektív gyomirtókat használhatták, például lombtalanításra (defoliálásra), vagy vasúti sínpályák gyomirtására stb. A géntechnológiai kutatási eredmények megeremítették a lehetőséget annak, hogy az addig csak korlátozott területen felhasználható totális herbicidek mint szelektív gyomirtó szerek alkalmazhatók váljanak a világ szántóföldjein, ami 1,6 millió hektár. Óriási tőkebefektetéssel indultak meg ezért azok a géntechnológiai fejlesztések, amelyek a totális herbicideknek ellenálló transzgénikus növények, fajták és hibridek előállítását célozták.

Első lépésként a kutatóknak azt kellett tisztázniuk, hogy az egyes herbicidek hatóanyagai milyen molekuláris mechanizmusokon keresztül pusztítják el a növényt. Miután megismerték a gyomirtó szerek hatásmechanizmusát (ld. részletesen a következő, 34. részben), ki kellett

dolgozni azt a molekuláris stratégiát, amely révén a majdan előállítandó GM-fajtákban a herbicidek hatóanyaga nem tud kárt tenni. Végül is kétféle stratégia vált be, az egyik a mutáns gén, a másik a detoxifikáló gén beépítésére és működésére alapul (1. ábra).

1. ábra
A transzgénikus gyomirtószer-tolerancia stratégiái. Jelenleg a világon a Monsanto és a Bayer globális vállalatok mutáns génnel, illetve a detoxifikáló génnel módosított GM-fajtái vannak köztermesztésben.





1. kép Glifozáttal kezelt GM-cukorrépa parcella, a kezeletlen gyomos kontroll parcellák gyűrűjében (Czepo M. kísérlete, Monsanto Kereskedelmi Kft.)

Transzgenikus stratégiák

Mutáns gén

A stratégia lényege: a herbicid hatóanyaga által a károsított enzimnek egy olyan módosított (mutáns) változatát termeltetjük a GM-növény sejtjeiben, amit a herbicid hatóanyaga már nem képes károsítani.

A **Monsanto glyphosate** (továbbiakban *glifozát*) totális gyomirtójának ellenálló GM-fajták és -hibridek minden sejtje, a *glifozát* hatóanyaga által károsított enolpiruvilsikiminsav-3-foszfát-szintáz enzimnek (*epsp* enzim), géntechnológiai úton bejuttatott, baktérium eredetű mutáns génjét (mutáns *epsp* gén) tartalmazza. Erőről a transzgenről, a GM-növények minden sejtjében szintetizálódó mutáns enzimfehérjéhez (mutáns *epsp* enzim) a herbicid (*glifozát*) hatóanyaga már nem tud kapcsolódni, ezért az így módosított GM-növényekben már nem képes káros hatását kifejteni (1. kép). A GM-fajták esetében a toleranciát biztosító változás tehát nem az eredeti génben következik be, hanem az eredeti gén mellé, egy mutáns gént építenek be (részletesen ld. a következő, 34. részben).

A **DuPont szulfonilurea** hatóanyagú herbicidjére dolgozta ki a mutáns génre alapozott transzgenikus megközelítést. Ezzel kapcsolatos szabadalmában 3 helyet jelöl meg a herbicid hatóanyaga által gátolt acetolaktát-szintáz enzim (als) génjében. Ezekben a helyeken elvégzett molekuláris módosítással előállított „mutáns” transzgenről szintetizálódó mutáns als enzimhez a herbicid hatóanyaga már nem tud kapcsolódni, ezért az így módosított GM-növényekben már nem képes káros hatását kifejteni.

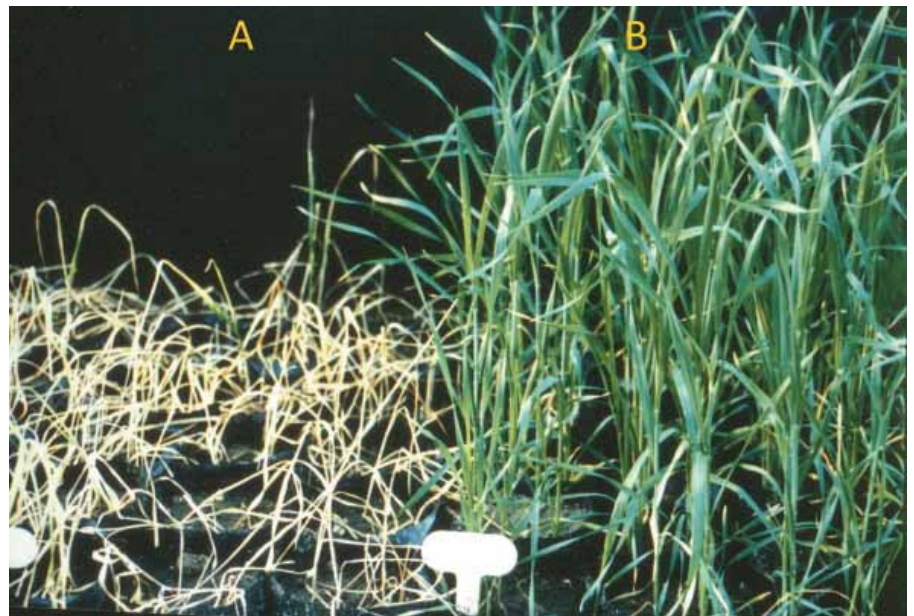
Jelenleg azonban nincsenek *szulfonilurea*-toleráns transzgenikus fajták köztermesztésben, mert a DuPont a hagyományos biotechnológiai megközelítést, az *in vitro* mutánssejt-szelekciót alkalmazta sikerrel, a herbicidtoleráns fajták előállítására. A „hagyományos biotechnológia” módszerével előállított, a *szulfonilurea* és *imidazolín* gyomirtó szereknek ellenálló kukorica-, repce- és napraforgóhibridek nem transzgenikus fajták (!), ezért hazánkban is termesztethők.

Detoxifikáló gén

A stratégia lényege: a GM-nö-

vény sejtjeiben egy olyan új enzimet termeltetünk, mely a permetezést követően a sejtekbe jutó hatóanyagot kémiai módon módosítja, és emiatt az elveszti károsító hatását.

A **Calgene** (Davis, USA) a világon elsőként dolgozta ki és alkalmazta a gyakorlatban a detoxifikáló megközelítést a *bromoxynil*-toleráns GM-gyapot előállításával (1995). A *bromoxynil* egy szelektív kontakt gyomirtó szer, amit az USA-ban 1984-ben regisztráltak, majd széles körben alkalmazták a gyomok, főleg a fűfélék gyomirtására, mind az élelmiszer-, mind a takarmánynövényeknél. A gyapotba egy olyan enzim génjét jutatták be, amiről a detoxifikáló enzim a transzgenikus gyapot minden sejtjében termelődik, és a *bromoxynil* permetezést követően a herbicid hatóanyagát acetilálja. Az acetilált forma pedig elveszti károsító hatását. Ez a cég állította elő a világon elsőként kereskedelmi forgalomba került transzgenikus növényfajtát, a későn puhuló (flavr-savr) GM-paradicsomot is (ld. Agrofórum 2012, 23/1., 56-61). A Calgene vállalatot a Monsanto 1996-ban megvásárolta. A *bromoxynil* gyomirtó szerről pedig bebizonyosodott, hogy komoly élelmiszer- és környezetbiztonsági

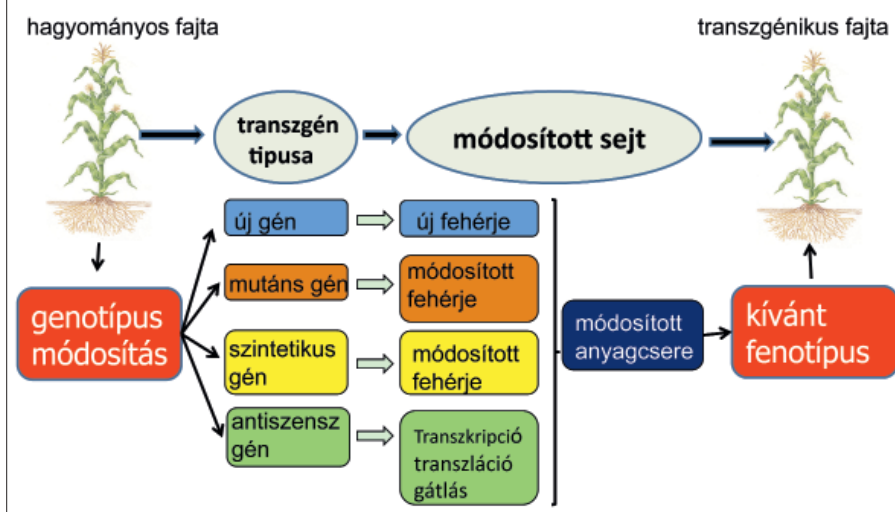


2. kép Hagyományos fajta (A) és transzgenikus változata (B) a *glufoszináttal* (Bayer) történő permetezést követően. A gyomirtószer-toleranciát biztosító detoxifikáló transzgént mindig az adott terület legjobb hagyományos fajtáiba építik be. Ez lehetőséget ad a gazdáknak, hogy választhassanak az eredeti (érzékeny, A) és az új (toleráns, B) GM-fajták között (Pauk János, Szeged GKI kísérlete).

2. ábra

A jelenleg köztermesztésben lévő GM-fajtákban használatos 4-féle transzgén típus. A herbicidtolerancia kialakítása során 3-féle típust használnak:

- **Új gén:** a *glufozinát*-toleranciát biztosító detoxifikáló gén baktériumból származik.
- **Mutáns gén:** a *glifozát*-toleranciát biztosító gén az eredeti bakteriális gén mutáns változata.
- **Szintetikus gén:** DNS automatában szintetizált gén. A bakteriális eredetű transzgéneket a növényi sejtek számára optimalizálni kell, amit számítógéppel végeznek. Ezután egy DNS automata szintetizálja meg a toleranciáért felelős DNS szakaszt, ami a növényben már hibátlanul fog működni.
- **Antiszensz gén:** bármilyen eredetű gén, amelyben a kódoló szakaszt 180 fokkal elfordítva kapcsolják a promóterhez. A herbicidtolerancia kialakításánál nem használják, viszont a vírusrezisztenciánál fontos stratégia.



felelős géneket szinte minden fontosabb szántóföldi, erdészeti és kertészeti növény egy vagy több fajtájába beépítették (2. ábra). A mezőgazdasági alkalmazásra azonban csak néhány szántóföldi faj (szója, kukorica, repce, gyapot, cukorrépa, lucerna stb.) herbicidtoleráns GM-fajtái kerültek. Ezek termőterülete 2011-ben elérte a 90 millió hektárt, ami megközelíti a GM-fajták globális területének 2/3-át (3. ábra). Különösen a szója esetében sikeres a herbicidfajták termesztése. A szója globális termőterületének 82 %-án herbicidtoleráns GM-fajtákat termesztnek. Ez az arány az USA-ban már 94 %. A termesztés gyors felvételének részben szakmai, részben gazdasági okai vannak.

Szakmai és gazdasági jelentőség

A totális gyomirtó szer szelektívvé tehető

A transzgénikus herbicidtolerancia nagy szakmai siker és óriási üzlet a korábban totális gyomirtó szerekkel rendelkező Monsanto és Bayer cégek számára (4. ábra). A legnagyobb szakmai sikert az jelenti, hogy a géntechnológia alkalmazásával a nem szelektív, ezért csak totális gyomirtásra használható szereiket, alkalmassá tették a szelektív gyomirtásra. Ezzel lehetővé vált ezeknek a szereknek a szé-

kockázatai vannak, ezért forgalmazását beszüntették. Jelenleg sem a szer, sem a GM-fajták nincsenek forgalomban.

A **Bayer** (Bayer CropScience) a *glufosinate* (továbbiakban *glufozinát*) totális gyomirtójára dolgozott ki egy detoxifikálásra alapuló technikát. A *glufozinát*nak ellenálló GM-fajták és -hibridek minden sejtje a *glufozinát* hatóanyagát közömbösíteni képes enzimnek géntechnológiai úton bejuttatott, baktérium eredetű génjét (*pat* gén) tartalmazza. Erről a transzgénről a GM-növények minden sejtjében szintetizálódó enzim a herbicid hatóanyagát kémiai módon módosítja (részletesen ld. a következő 34. részben). A módosított hatóanyag pedig már nem képes a káros hatását kifejteni (2. kép).

A **Monsanto** kutatói a *glifozát*-tolerancia - a mutáns génre alapozott stratégia - mellett kidolgozták, és napjainkban már sikerrel alkalmazzák a *gox* génen alapuló

detoxifikálási stratégiát is (részletesen ld. a következő, 34. részben).

Az előbbiekből ismertetett két stratégiasikeres megvalósítását követően, a totális herbicidtoleranciáért

3. ábra

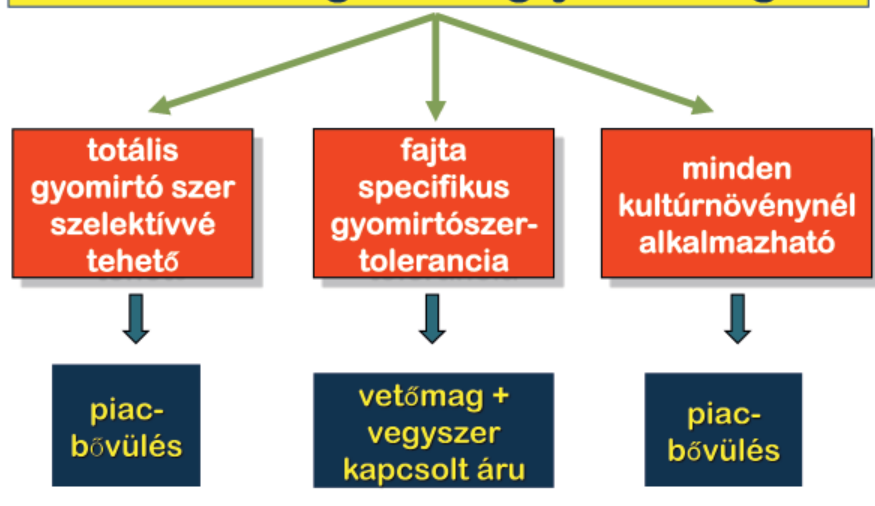
A herbicidtoleráns GM-fajták globális vetésterülete (hektár) az elmúlt 16 évben (1996-2011) mindig jelentősen meghaladta az összes többi transzgénikus fajta (módosítás) területét. 2011-ben már megközelítette a 100 millió hektárt (Clive James, 2012, Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops: 2011, Executive Summary ISAAA, <http://www.isaaa.org>)



4. ábra

A transzgénikus herbicidtolerancia szakmai jelentőségét az adja, hogy a totális herbicidek szelektívvé tehető, alkalmazásával a hagyományos gyomirtó szerekre érzékeny fajok gyomirtása is megoldható, továbbá minden szántóföldi, erdészeti és kertészeti növényfajnál alkalmazható. A legnagyobb gazdasági hasznot a vetőmag+vegyszer kapcsolt áru jelenti a szabadalom tulajdonos globális cégeknek.

Transzgénikus herbicidtolerancia szakmai és gazdasági jelentősége



leszkörű szántóföldi felhasználása, ami gyártásuk jelentős növekedését eredményezte az elmúlt 15 évben. Jelenleg ugyanis már 100 millió hektárt megközelítő területen használják a *glifozátot* és a *glufozinátot* GM-növényfajták gyomirtására.

Minden kultúrnövénynél alkalmazható

A géntechnológiai megközelítés lehetővé teszi, hogy a transzgénikus herbicidtoleranciával rendelkező GM-fajták termőterülete a jövőben tovább növekedjen. A transzgénikus herbicidtolerancia génjeit ugyanis bármilyen növényfaj fajtáiba be lehet építeni, és ezzel azokban a toleranciát kialakítani. Elvileg tehát a totális herbicid toleráns GM-fajok és -fajták termőterülete a jövőben elérheti az 100 millió hektárt is.

A totális gyomirtó szer tolerancia fajtaspecifikus

Nagyon fontos hangsúlyozni, hogy a totális gyomirtó szer tolerancia fajtaspecifikus! Ez azt jelenti - a hagyományos fajspecifikus gyomirtó szerektől eltérően - a

totális gyomirtó szer toleranciával nem a fajok, hanem fajon belül csak a GM-fajták rendelkeznek. Tehát az a gazda, aki a *glifozátot*, vagy a *glufozinátot* akarja herbicidként használni, azt csak úgy teheti, ha a vegyszerre toleráns fajta vetőmagját is megvásárolja. Ezt a cégek pontosan tudták, és ezért már a múlt század utolsó évtizedeiben dollár milliárdokért megvásárolták a világ vezető nemesítő és vetőmag cégeit (pl. Pioneer, DeKalb, AgrEvo, Aventis stb.). Napjainkban a GM-növények vetőmagpiacait uraló 5 globális vállalat (Monsanto, DuPont, Syngenta, Dow, Bayer) a teljes vetőmagvertikumot kezükben tartja, a hagyományos nemesítéstől, a GM-fajták előállításán keresztül a vetőmag-kereskedelemig. Különösen nagy haszonra tesznek szert a totális herbicideknek ellenálló GM-fajtákkal, mert ezek GM-vetőmagjait, vegyszert kapcsolt áruként hozhatják forgalomba. A gazdák szemszögéből ez azt jelent, hogy ha meg akarják oldani pl. a szója vagy a cukorrépa gyomirtását, akkor a vegyszerrel (pl. *glifozát*) együtt meg kell venniük a GM-fajta vetőmagját is, mert csak az abból fejlődött növény-

állomány lesz toleráns, az amúgy totális herbicidre (1. kép).

A következő, 34. részben részletesen mutatjuk be a *glifozát*- és a *glufozinát*-tolerancia kialakításának molekuláris hátterét, a világon kereskedelmi forgalomban lévő toleráns GM-fajtákat, természetük előnyeit és kockázatait.

A kutatás a TAMOP-4.2.2/B-10/1-2010-0011 „A tehetség-gondozás és kutatóképzés komplex rendszerének fejlesztése a Szent István Egyetemen” c. pályázat támogatásával valósult meg.