



Génmódosítás:

Nagy butaság volt politikusaink részéről az alaptalan GMO-ellenesség alaptörvényben való rögzítése. A témával foglalkozó akademikusok véleménye külföldön és Magyarországon egészen más. Többre jutnánk, ha tiltás helyett inkább forrásokat adna az állam a hazai fejlesztésekre.

Dr. Dudits Dénes » A géntechnológia az örökítő anyag, a DNS szerkezetének megismerését, működésének eltervezett átprogramozását jelenti, elsősorban abból a célból, hogy tulajdonságaikban megváltoztatott sejteket, szerkezetet, szervezeteket lehessen előállítani. Míg hangsúlyoznunk kell, hogy a géntechnológia egyike a modern biotechnológiai módszereknek, addig észrevehetjük, hogy a napjainkban gyakran feltett kérdésekben a génmódosítás helyett a géntechnológia került előtérbe. Ez nem véletlen, és érdemes tisztázni a két módszer lényeges különbözőségét. Tekintettel a genetikailag módosított szervezetek, a GMO-k körüli sok-sok félreértésre, a heves társadalmi vitákra

és nem utolsósorban a politikai döntéshozatal szakmai megalapozatlanságaira, a továbbiakban a GM-növényekhez kötődő kérdésekkel foglalkozunk.

Az 1. ábra bemutatja, hogy a génmódosítás ősi tevékenység, évszázadokkal megelőzi a biotechnológia vagy akár a géntechnológia megjelenését. Termesztett növényeink esetében a nemesítés az elsődleges letéteményese a génmódosításnak, azzal a céllal, hogy a szülőfajták megfeleljenek a gazdák elvárásainak. Ezért ne lepődjünk meg: minden nemesített gazdasági növényünk génmódosított, génpiszkált. Ezt jó lenne a viták hevében tudatosítani. Az ábra bemutatja, hogy a nemesítésben miként jelentek meg az újabb és újabb megközelítések a növények génösszetételének javítására.

A keresztezés és a szelekció ma is nélkülözhetetlen művelet a fajták előállításánál. A kromoszómák számának megduplázása, a kromoszómadarabok átépítése sokszor vezetett versenyképes tenyésztési anyagok kialakulásához. Vegyszerekkel, besugárással véletlenszerűen megváltoztatható a DNS-molekula, és így mutáns egyedek új tulajdonságai alakulhatnak ki, amelyek



átok vagy áldás?

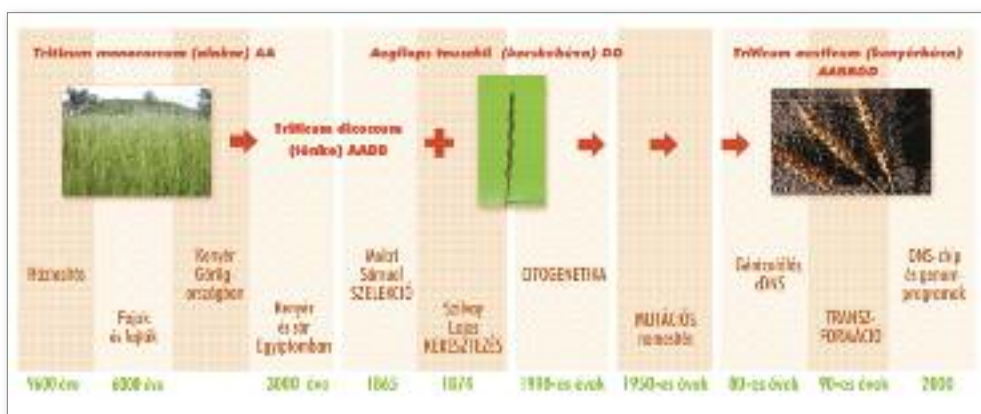
öröklődnek, és alapanyagul szolgálhatnak a nemesítési programokban. A géntechnológiával való nemesítés feltételeit igen kiterjedt alapkutatások tették lehetővé. Az 1980-as évektől kezdve van mód a növényi gének izolálására, kémcsőben való alakítására és visszaépítésére, a genetikai transzformációra. Ez a géntechnológiára épülő műveletsor vezet el a GM-növényekhez. Napjainkban tanúi lehetünk annak, miként változik a nemesítés technológiai háttere, nő a beavatkozások precizitása. Csúcstechnológiák szolgálják a nemesítőket azzal, hogy fontos növényeink – mint a rizs, kukorica, repce – teljes DNS-információ-tartalmát feltárják. Hatalmas bioinformatikai háttér biztosítja az adatok kezelését.

A növényi élet titkai

Emberi létünk megszámlálhatatlan formában kapcsolódik a növények világához. Táplálnak ben-

nünket, hiszen élelmiszereink forrását jelentik, akár növényi, akár állati termékeket fogyasztunk. Teljes energiafelhasználásunk 13,4%-a származik növényekből, és a fenntartható fejlődés megteremtésének érdekében felértékelődik a zöldenergia jelentősége. A növényi produkció maximalizálása fontos nemesítési cél, hisz a fajták genetikai képességétől nagyban függ a növénytermesztés gazdaságossága. Ugyanak-

A búzagének módosításának módszerei az évszázadok során



A GÉNEK ÉS A KÖRNYEZET ALAKÍTJÁK A TERMÉST

FENOTIPUSOK

Termés – áru

F1 F2 F3 F4 F5



Hőmérséklet
Csapadék
Napfény

KÖRNYEZETI HATÁSOK

Termesztés technológia
Tápanyagellátás
Gyomirtás
Növényvédelem
Öntözés

GENOM = GÉNEK
NEMESÍTŐI CÉLPONT



Módszerek:

keresztezés (heterózis) → szelekció
géntechnológia (GM kukorica)

fenotípusos
molekuláris
marker alapú

A növényi produkció olyan fejlődési program terméke, amelyet a gének és a környezet hatásainak összjátéka irányít. A gazda felelőssége, hogy a termesztés optimális feltételei meglegyenek, még akkor is, ha a szélsőséges időjárási körülmények kárt okozhatnak

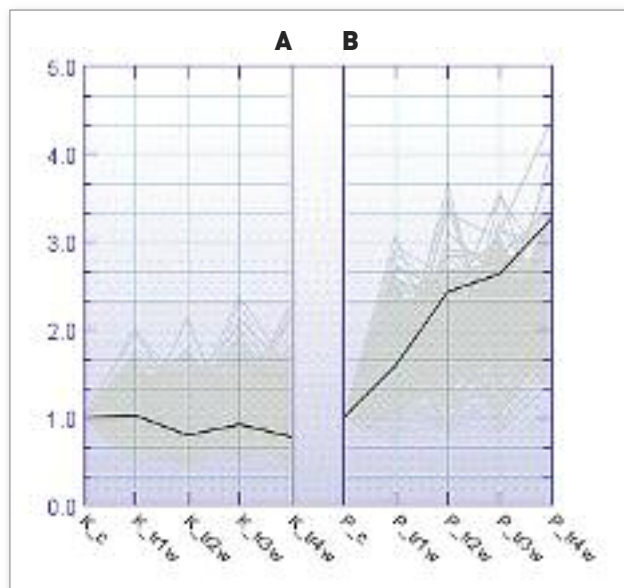
kor az emberiség globális problémáinak kezelésében is jelentős szerep vár a növénytermesztésre. Prognózisok szerint 40 év múlva 9 milliárd embert kell majd táplálni, miközben csökken a művelhető területek nagysága. A víz hiánya, a kártevők komoly veszteségeket okozhatnak, és számolni kell a szélsőséges klimatikus események gyakoribb előfordulásával. A növények rendelkeznek azzal a genetikai programmal, amely a fotoszintézist mint természetes energiaátá-

lakító folyamatot működteti, ami földünkön az élet alapja. Ennek során a légköri szén-dioxid-gáz szénmolekuláiból energiahordozó szénhidrátok keletkeznek. A belső genetikai program megvalósítását a növényt érő külső hatások lényegesen befolyásolhatják, ezért a növény végső jegyeinek összessége e kettős meghatározottság eredményeként alakul ki. A környezeti hatások egy része klimatikus, de a növényeket nevelő gazdától függ a tápanyag mennyisége,

az öntözés és a kártevőkkel szembeni védekezés. Láthatjuk, hogy a környezeti tényezők befolyásolhatják a gének funkcióit és ezzel a növény anyagcseréjét. A mestergének szabályozhatják további géncsoportok aktivitását. Egyetlen gén jelenléte vagy hiánya jelentős hatású lehet, de a növények fejlődési programját, a környezeti hatásokra adott válaszreakciókat és így a végső termőképességet az egész genom, a gének összessége befolyásolhatja közvetlenül vagy közvetve.

Géntérképek művészete

A növények nemesítését tekinthetjük intuitív művészetnek, hisz hagyományosan a génekkel való műveleteket a nemesítő úgy végzi, hogy csak a felszíni tulajdonságokat ismeri, s abból kísérli meg a génhatásokat megbecsülni. Teljesen más helyzetet teremt az a felismerés, hogy a genetikai információ a DNS-molekulák nukleotid bázisainak sorrendjében tárolt. A gének misztikus világa kémiaileg definiálható molekulák formájában jelenik meg. A növények genomjának mérete igen széles határok között változik: a rizs 400 millió, a kukorica 2,5 milliárd, míg a búza 16 milliárd bázispárt tartalmazó DNS-molekulái összetömörítve, fehérjékbe csomagolva alkotják a kromoszómákat. A sejtek osztódását megelőzően a DNS-molekulákról hű másolat szintetizálódik, ezzel a kromoszómák is megduplázódnak, majd a két kromoszómakészlet szétválik, és az új leánysejtekbe kerül: ezzel válik lehetségessé a génállomány sejtről sejtre történő átadása. Ez a konzervatív, genetikai információt megőrző folyamat jellemzi az ivarsejtek kialakulását is, és a tulajdonságok ezen az úton öröklődnek az utódokban.



DNS-chip-technológiával olyan, a szárazság hatására aktivált gén azonosítása, amely csak az ellenálló búza gyökerében működik egyre erősebben a vízhiány alatt.

A: érzékeny búza; B: rezisztens búza

Természetesen, ha az utód két, génállományában és így tulajdonságaiban eltérő növényről származik, akkor keresztezéskor a gének, illetve a tulajdonságok új kombinációja jön létre. Ezt használja ki a géntérképezés, amikor DNS-szekvencia-markerekhez köti egy adott tulajdonság megjelenését. A kapcsoltág ismeretében lehetőség nyílik valamely tulajdonság kialakulásáért felelős gén helyének meghatározására a kromoszómán. A markerek ismeretében a gént mint DNS-molekulát izolálni lehet. A rizs genom szekvenálását követően az informatikai elemzések 32-40 ezer gént prognosztizáltak. Egyedi gének kiemelését ma már sokban segítik a DNS-molekula-szakaszokat megsokszorozó technikák.

Az agronómiai szempontból értékes gének azonosítására és izolálására világszerte sokféle megoldást használnak. Példaként a búza szárazságtűréséért felelős gének felkutatására végzett egyik kísérletet mutatjuk be. Ezt az MTA Szegedi Biológiai Kutatóközpont

Ezért ne lepődjünk meg: minden nemesített gazdasági növényünk génmódosított, génpiszkált. Ezt jó lenne a viták hevében tudatosítani.

Növénybiológiai Intézetének munkatársai végezték el, György János irányításával. A víz az egyik legkritikusabb tényező, aminek hiánya Magyarországon több évben is jelentős termésvesztést okozott.

A károk persze mérsékelhetők öntözéssel, de sokban segíthet a szárazságtűrő, a vizet jól hasznosító fajták termesztése. Ezek nemesítéséhez kiindulópontot jelenthet az, ha maguktól a növényektől akarjuk megtudni, hogy milyen gének, anyagcsere-folyamatok segítik az alacsony talajvízhez való alkalmazkodást. A gének hatása nemcsak a DNS-szekvenciától s az általa kódolt fehérje tulajdonságaitól függ, hanem a gén működésének paramétereitől is. A DNS-chipek több ezer gén egyidejű vizsgálatát teszik lehetővé. Így, hogyha összehasonlítjuk a génkifejeződési mintázatokat, például egy aszályra érzékeny és egy ellenálló búzafajta gyökereiben, akkor megismerhetünk olyan géneket, amelyek a talaj víztartalmának lecsökkenésekor fokozottan aktívak a toleráns növény gyökereiben, és szerepük lehet a sikeresebb alkalmazkodás kialakításában.

Ez a kísérlet arra hívja fel a figyelmet, hogy a vízmegvonást követően viszonylag nagyszámú gén mutat eltérő kifejeződési mintázatokat a két fajta gyökerében. Az ábrán látható, hogy egy kiválasztott gén aktivitása több mint háromszorosára emelkedett a rezisztens növények gyökereiben, míg az érzékeny növényben alapszinten működik ez a gén.



A nemesítés módszerei

A géntechnológiával való nemesítés egyik lehetősége, hogy új, korábban hiányzó génnel bővíti ki a növény génállományát. Gyakran értékes tulajdonságok alakíthatók ki a bevitt, ún. transzgén aktivitásának fokozásával és a gén termékének túlermelletésével. Ez a stratégia úgy is alkalmazható, hogy a növény saját génjét építik vissza egy megváltoztatott, szabályzó DNS-szakasszal. A rekombináns DNS-módszerek lehetővé teszik a DNS-molekulák specifikus darabolását, illetve összeépítését. Példaként az ábra B oldala olyan GM-búza-növényeket mutat be, amelyekben egy méregtelenítő enzim túlermelletése lényegesen csökkentette a szárazság okozta károsodást. Míg a kontrollnövények csökkentek, kalászaik késve fejlődtek ki, addig a GM-búzákon már megjelentek a kalászkok. Az üveg-házi kísérletek igazolták a GM-növények nagyobb szemtermését. Ezek ismeretében indokoltak a szabadföldi vizsgálatok. Tekintettel a hazai géntechnológia-ellenes törvényekre, külföldön célszerű az újabb vizsgálatok lehetőségét keresni. Az idézett GM-búza-kutatások együttműködő partnerei a szegedi Gabonakutató Kft. nemesítői és az MTA Szegedi Biológiai Kutatóközpont molekuláris biológusai.

A szárazságtűrő búza példája azt mutatta, hogy a növény minden sejtjében hasznos lehet a transzgén működtetése. Fontos tudni, ha a növényeket stresszhatás éri, vagy hiányt szenvednek, akkor sejtjeikben mérgezőanyagok halmozódnak fel. Az ilyen vegyületek eltávolítását számos védekezési folyamat biztosíthatja. Ezek egyikének hatékonyságát növelte a géntechnológiai megoldás. Maga a méregtelenítő mechanizmus megtalálható valamennyi növényben. Nyilván szükség lehet sejt- vagy szövetspecifikus hatások el-

érésére is. Ehhez izolálni kell a gének regulátor DNS-szakaszait, amelyek funkcionális jellemzésére ripor-ter génkonstrukciót építenek be a GM-növénybe.

A jelenleg kiterjedten használt génbeépítési módszerek elsősorban lombikban tenyésztett sejtekbe, szövetekbe juttatják be a laboratóriumban kialakított DNS-molekulákat. Sikeresen alkalmazható a génbe-lövés, amikor a DNS-t rászárítják aranyrészecskékre, és magas nyomású gázzal belövik a szövetekbe. Pontosabban a transzgén beépüléséhez az kell, hogy a sejtmagban legyen az idegen gén. Sikeres transzfor-mációs rendszereket építettek ki természetes génbe-velési mechanizmus felhasználásával. Egy talajbakté-rium képes DNS-ét a növényi genomba integrálni, amit ki lehet használni a kívánt DNS-molekulák sejtmagba juttatására.

Kritikus megközelítés

Fontos kiemelni, hogy a beépített gén a gazdanövény genomjába való integráció után ugyanúgy viselkedik, mint a kukorica többi tízezer génje. Nem szabadul ki egymagában, nem szennyezi be magányosan a szomszédos tábla növényeinek génállományát. Ha átporoznak a GM-növények, akkor valamennyi gén-jük és nemcsak a transzgén a bűnös. Ezért a nemesítők nagyon vigyáznak a megfelelő izolálásra, és hasonlóan adottak a módszerek az idegenbeporzó növények esetében is a genetikai tisztaság biztosítására. A növények DNS-molekuláit enzimek bontják le, miután a növényi élet véget ér. Ezek az enzimek igen szor-galmasak, és a tapasztalat azt mutatja, nem igazán kell a paradicsomot elfogyasztó embereknek attól félniük, hogy a piros szín génjei testüket elszínezzik. A gének kémiai szerkezete és sorsa nem különbözik attól,



nológiai beavatkozások összefonódnak a hagyományos műveletekkel, és a GM-fajták mint végtermékek egyben klasszikus értelemben vett nemesítési folyamatsor eredményei is.

A géntechnológiával kialakított genotípusok csak kiindulási tenyésanyagoknak tekintendők, át kell esniük a nemesítési program minden fázisán. Ez magában foglalja a többszöri értékelést, a többéves szabadföldi kísérletekkel végzett minősítést.

A hagyományos és molekuláris módszerek egymást kizáró szembeállítás helyett látni kell azok igény szerinti kombinálásának jelentőségét. Az öröklődés törvényei nem válogatnak, minden gén ezeket követve működik, függetlenül attól, hogy mi a származása. A genomok folyamatos átrendeződésben vannak. Különösen a gén-

hogyan géntechnológiával vagy keresztezéssel jött létre egy adott molekulakombináció. A géntechnológia-ellenes kampányok szűkölködnek tudományos érvekben, így aztán science-fiction kategóriába illő érvekkel zavarják meg az embereket. Előszertetettel hivatkoznak az antibiotikum-rezisztencia átvitelének veszélyére, pedig a korrektil elvégzett vizsgálatok nem tártak fel ilyen eseményeket.

funkciót nem hordozó, gyakran ismétlődő DNS-régiók gazdagok az ún. ugráló szekvenciákban, melyek a gének működésképtelenségét okozhatják, de ezek a mobil elemek nem válogatnak a transzgen és a növény saját génjei között. A gyakorlatban több száz független, transzgenikus vonalat állítanak elő valamely nemesítési cél érdekében. Az első szelektív művelet a mélyreható molekuláris jellemzés. Kizárják



Az aszály okozta stressz hatására mérgező anyagok halmozódnak fel a növényekben. Génbeépítéssel növelhető a méregtelenítés hatékonysága és csökkenthető a károsodás. A: kontrollbúzanövények 20%-os talajnedvesség mellett. B: GM-búzanövények 20%-os talajnedvesség mellett

A fajta-előállító nemesítés szakma, amelynek megvannak a szabályai. Ezért zavaró, hogy a politikai döntéshozók nem bíznak a nemesítők felkészültségében, tudásában, s a pályán kívülről, szakmaiságukban igazságot megkérdőjelezhető törvényekkel kényszerítik ki annak módját, miként történjen a növények genetikai jobbítása. Így aztán nem tudatosul, hogy a géntech-

azokat a növényeket, amelyekben több példányban van jelen a beépített DNS, vagy a gén kifejeződése nem elég erős, illetve részleges a célgén elhallgattatása. A mostani módszerek esetén a génbeépítés helye többnyire véletlenszerű, ezért intenzív fejlesztő kutatások folynak a helyspecifikus génbevitel módszerének kidolgozása érdekében.

Számok bővületében

Ami a fejlesztések költségét illeti, talán érzékelteti a nagyságrendet, ha idézzük a BASF cég egyik munkatársának nyilatkozatát, miszerint a gén felfedezésétől a piaci értékesítésig 15 évre van szükség, és egy kívánt tulajdonság kialakítása géntechnológiával több mint 20 millió dollárba kerül. Egyes becslések szerint az engedélyezési költségek pedig a 100 millió dollárt is elérhetik. Látva ezeket a számokat, érthető, hogy még a nagy nemzetközi cégek is szövetkeznek, hogy versenyképes fejlesztéseik megvalósításához lehetőséget teremtsenek. Nagyon fontos kutatások folynak világszerte az egyetemeken, állami kutatóintézetekben. A növényekkel foglalkozó tudományos közleményeket nézve igen nagy a GM-megközelítést használó munkák aránya. Aligha van olyan növényi tulajdonság, amelyet génszűrésrel ne változtattak volna meg. Az logikus, hogy amikor gazdaságilag is ígéretes új tulajdonságokat tapasztalnak a kutatók, akkor szabadalmak születnek, és elkezdődik a nemesítési lehetőségek vizsgálata. Egy-egy újítás szabadalmi védelme is jelentős költséggel jár.

Természetesen látni kell a mérleg másik oldalát is. Nyilván megéri a költséges fejlesztésekre áldozni,

hiszen a vetőmagok értékesítéséből a nemesítő cégnek nyeresége van, a gazda haszna pedig a többlettermésből és a kisebb önköltségből adódik. A környezetvédelmi hozadék sem elhanyagolható.

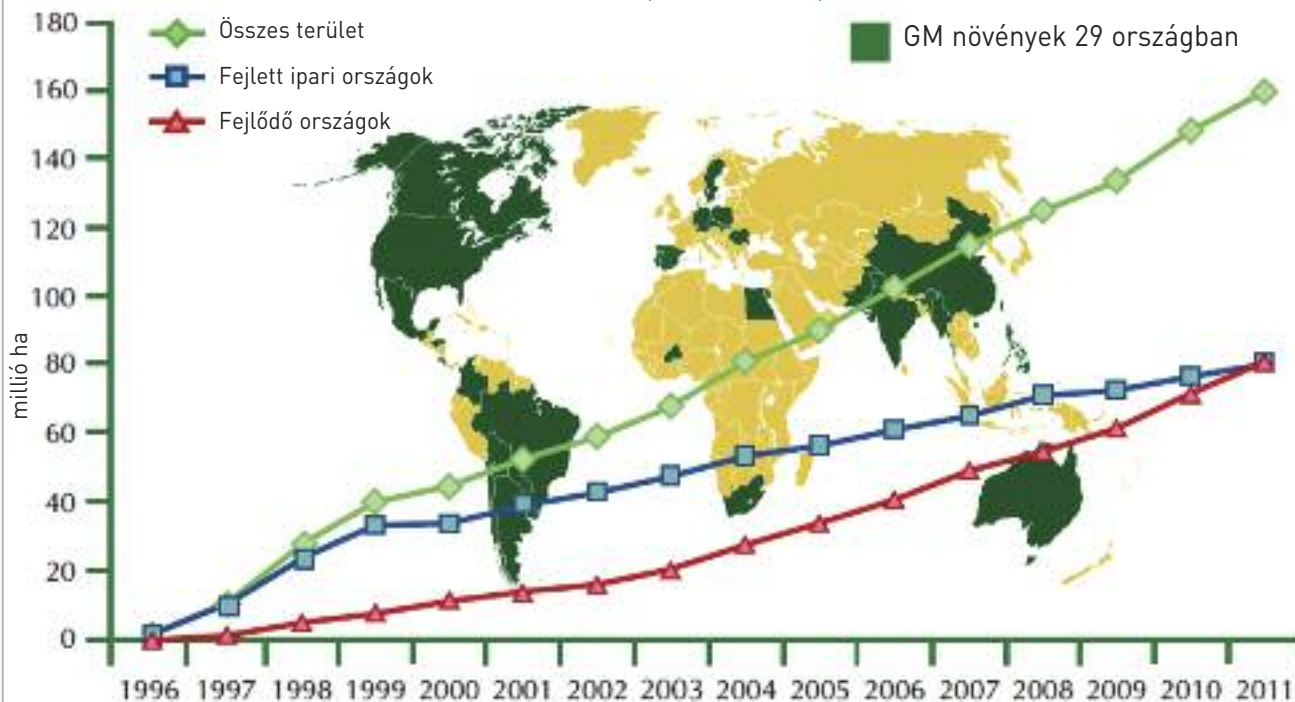
A GM-növényekkel bevetett 160 millió hektáron (ha) gazdálkodók 90%-a, 15 millió gazda forrásszegény kistermelő. Ez a kereslet azt jelenti, hogy a globális GM-vetőmag-piac 2011-ben 13 milliárd dollárra becsülhető, és a GM szemtermésből előállított végtermék körülbelül 160 milliárd dollár értékű volt. Becslések szerint a GM-növényekhez tartozó agrotechnológiák alkalmazása a 2010-es évben 19 milliárd kilogrammal csökkentette a szén-dioxid-kibocsátást. A fenti adatok ismeretében nem meglepő a géntechnológiai fejlesztések egyre növekvő kiszélesedése.

Hazai pályán

A tudóstársadalom megosztott, ha a GM-növények tudományos, mezőgazdasági, energiaipari, élelmiszer-ipari vagy akár környezetvédelmi jelentőségét kell értékelni. Így nem könnyű a politikai döntéshozók helyzete különösen akkor, ha ideológiai alapon szinte kizárólag egyoldalú véleményeket vesznek figyelembe.

A GM NÖVÉNYEK VILÁGMÉRETŰ ELTERJEDÉSE

millió ha (1996–2011)



Rekord számú, 16,7 millió farmer, 29 országban, 160 millió hektáron termesztett 2011-ben. Nyolc százalékos, azaz 12 millió ha növekedés 2010-hez képest, összesen 160 millió ha 2011-ben

A kereskedelmi forgalomban lévő, géntechnológiával nemesített (GM-) növények helyzete a világban: 2011 – ISAAA-jelentés



A géntechnológiai kutatásokat végzők véleménye világosan kiolvasható a Magyar GMO Fehér Könyv tanulmányaiból (<http://www.zoldbiotech.hu>).

A kiadvány végén felsorolt 149 nemzetközi közlemény listája meggyőzően tanúsítja Magyarország tekintélyét ezen a tudományterületen – ami legalábbis a mostani időkig megvolt. Az első idehaza készült GM-növényről szóló cikk 1986-ban jelent meg. Számos rangos publikáció támaszkodik GM-állatokkal folytatott kísérletekre. A témában dolgozó kutatók körén kívül eső szakma véleményét a Magyar Tudományos Akadémia Agrártudományi Osztálya képviseli, amelynek tagjai nagy többségben támogatták a 2010. május 26-i ülésen véglegesített alábbi állásfoglalást:

1. *A világ tudományos és gazdasági eredményeinek tanúsága szerint a géntechnológia egyre inkább meghatározó szerepet játszik az agrárinnovációban és az új technológiák megalapozásában.*
2. *A magyar agrárium és így a növénytermesztés jövőbeni versenyképessége a géntechnológia és a genomika eszközeivel hatékonyabban biztosítható.*
3. *A környezetbarát agrotechnológiák szerepe növelhető a biotechnológia és ezen belül a géntechnológia alkalmazásával.*
4. *Tudományos eszközökkel, nemzetközileg elfogadott szabványok szerint kell garantálni az új géntechnológiai termékek egészségügyi, környezet- és talajvédelmi biztonságát, valamint a hosszú távú gazdasági szempontok érvényesülését.*
5. *A géntechnológiával nemesített növények körüli*

társadalmi vitában kapjanak meghatározó szerepet a tudományos tények.

6. *A magyar törvényhozás és állami vezetés géntechnológiával kapcsolatos döntéseit az új tudományos eredmények fényében javasolt időről időre felülvizsgálni.*
7. *A magyar agrárium versenyképességét az szolgálja, ha a szabályozás biztosítja az esélyegyenlőséget a növénytermesztők és a gazdák szabad technológiválasztásában.*
8. *Az agrárinnováció érdekében növelni kell az agrárbiotechnológiai oktatás és kutatás kapacitásait, finanszírozását és versenyképességét.*
9. *Tudományos ismeretterjesztéssel kell elősegíteni a géntechnológia társadalmi elfogadottságát.*

Sajnálatos módon a fentiek egy akadémiai osztály véleményét összegzik, és jelenleg nincs a Magyar Tudományos Akadémiának a géntechnológiával nemesített szervezetekről állásfoglalása. Látva az angol Royal Society, az amerikai National Academy of Sciences vagy a német Leopoldina Akadémia elemzéseit, jól érzékelhető a nemzet tanácsadója szerep jelentősége, még egy ilyen erős vitákat kiváltó kérdés esetében is. A döntéshozóknak jelenthetne segítséget egy sokoldalúan kimunkált, magas szakmai színvonalat garantáló átfogó dokumentum. Talán másként alakul az alaptörvény géntechnológia-ellenessége, ha ismert lett volna a tudóstársaság ajánlása. Látva a fejlesztések világtendecenciáit, elkerülhetetlen, hogy tudományos alapokra helyeződjön Magyarországon a GMO-kérdés. ■