

# GENETIKAILAG MÓDOSÍTOTT ÉLŐLÉNYEK (GMO-K) A TÉNYEK TÜKRÉBEN

MAGYAR FEHÉR KÖNYV

Szerkesztők:

Balázs Ervin, Dudits Dénes, Sági László



SZEGED, 2011

Szerkesztők:  
BALÁZS ERVIN, DUDITS DÉNES, SÁGI LÁSZLÓ

Szerzők:  
BALÁZS ERVIN, BEDŐ ZOLTÁN, BŐSZE ZSUZSANNA,  
DUDITS DÉNES, FÁRI MIKLÓS GÁBOR, GIMES JÚLIA,  
GÓCZA ELEN, GUNDEL JÁNOS, HIRIPI LÁSZLÓ,  
HORNOK LÁSZLÓ, KOVÁCS KORNÉL, MARTON L. CSABA,  
MÁRTON LÁSZLÓ, OSZVALD MÁRIA, POPP JÓZSEF,  
POSTA KATALIN, POTORI NORBERT, INGO POTRYKUS,  
SÁGI LÁSZLÓ, SOMFAI BÉLA, TAMÁS LÁSZLÓ, VENETIANER PÁL

Nyelvi lektor: GODÓ KLÁRA

Borítóterv: SÁVAI PÉTER  
Kiadványterv és tördelés: ÁCS ATTILA  
Nyomdai kivitelkezés: TISZA PRESS NYOMDA

ISBN 978-963-08-1065-4

Felelős kiadó: Barabás Zoltán Biotechnológiai Egyesület,  
Dudits Dénes

Minden jog fenntartva.  
Bármilyen sokszorosítás, másolás, illetve adatfeldolgozó  
rendszerben való tárolás a kiadó előzetes írásbeli  
hozzájárulásához kötött.

© Barabás Zoltán Biotechnológiai Egyesület, 2011  
© Dudits Dénes, 2011

## Tartalomjegyzék:

1. Ajánlás <i>Ingo Potrykus</i> .....	➔	4
2. Szerkesztői előszó <i>Balázs Ervin, Dudits Dénes és Sági László</i> .....	➔	6
3. Az MTA Agrártudományok Osztályának állásfoglalása a genetikailag módosított élőlényekkel kapcsolatban .....	➔	8
4. A géntechnológia helye a genetikai beavatkozások között <i>Venetianer Pál</i> .....	➔	13
5. <b>A genetikailag módosított szervezetek előállításának módszerei</b> <i>Sági László, Góczna Elen és Kovács Kornél</i> .....	➔	18
6. A géntechnológiai kutatások integrálása a növénynevelésbe <i>Marton L. Csaba és Bedő Zoltán</i> .....	➔	35
7. A géntechnológiával nemesített (GM) növények nemzedékeinek jelenlegi és jövőbeli szerepe Magyarországon <i>Dudits Dénes</i> ...	➔	41
8. A génmódosított háziállatok jelene és perspektívái <i>Bősze Zsuzsanna és Hiripi László</i> .....	➔	50
9. Genetikailag módosított takarmánynövények <i>Gundel János</i> .	➔	59
10. A GM technika lehetséges szerepe a jövő biomassza-növényeinek előállításában, szaporításában és feldolgozásában <i>Márton László és Fári Miklós Gábor</i> .....	➔	66
11. Biopeszticidek és biotrágyák <i>Hornok László és Posta Katalin</i> ...	➔	72
12. A GM mikrobák szerepe a fermentációs technológiában <i>Kovács Kornél</i> .....	➔	77
13. GMO-k mint gyógyszeralapanyagok és funkcionális élelmiszerek <i>Tamás László és Oszvald Mária</i> .....	➔	82
14. A GM növények gazdasági hatásainak áttekintése <i>Popp József és Potori Norbert</i> .....	➔	89
15. A géntechnológiával módosított élő szervezetek és a környezet <i>Balázs Ervin és Sági László</i> .....	➔	96
16. A géntechnológiai szabályozás menete <i>Balázs Ervin</i> .....	➔	107
17. GM növények – média – közönség <i>Gimes Júlia</i> .....	➔	112
18. Genetikailag módosított haszonnövények: a Kezdet vagy a Vég? <i>Somfai Béla</i> .....	➔	115
19. A hazai kutatók tudományos hozzájárulása a GMO kutatás eredményeihez .....	➔	124
20. A Magyar Fehér Könyv szerzőinek elérhetősége .....	➔	137

## 1. Ajánlás

INGO POTRYKUS

A magyar tudományos közösség GMO-val foglalkozó kutatói szakmailag ellenőrzött anyagot - pusztá tényeket - állítottak össze az európai politika egyik ellentmondásos kérdéséről. A könyvben közölt tények megbízható információként szolgálnak a GMO-t ellenzők tudományos tényekkel egyetlen esetben sem igazolható álinformációival szemben, melyek meghatározzák a döntéshozók és a média véleményét is. Az itt közölt tanulmányok összhangban vannak azokkal a következtetésekkel, melyeket egy nemzetközi szakértői csoport állapított meg a legutóbbi vatikáni konferencián, melyet a Pápai Tudományos Akadémia (Pontifical Academy of Sciences) kezdeményezett a GMO tudományok jelenlegi helyzetének elemzésére egy előadói hét keretében. A szakértők által közölt „Állásfoglalás” teljes mértékben támogatja a magyar GMO Fehér Könyv megállapításait, ugyanakkor szöges ellentétben áll a GMO kérdést övező széles körű, negatív európai hozzáállással. Mind a Pápai Tudományos Akadémia, mind a Magyar Tudományos Akadémia tagjaként határozottan szeretném a döntéshozók és a média képviselőinek figyelmébe ajánlani a könyv által bemutatott tények tanulmányozását, hogy mérlegeljék újra, vajon indokolt-e az aktivisták ajánlásait követni, akiknek becsülendő szándéka anyagi érdekeltséggel keveredik és nincs se kutatási tapasztalatuk, se gyakorlatuk a tudományos eredmények értelmezésében. Talán érdemesebb lenne azokra hallgatni, akik tudományos pályájukat ennek a kérdésnek szentelték, és akiket igazságtalanul vádolnak azzal, hogy az ipar érdekeit képviselik.

Az egyik alapvető emberi jog az élelmiszer-biztonsághoz való jog, az, hogy mindenki számára biztosítva legyen a produktív élet folytatásához szükséges élelem. Napjainkban 1 milliárdnál is több azok száma, akik ezzel a joggal nem rendelkeznek. Természetesen ennek számos oka van, de nem kétséges, hogy az emberiségnek nincs más választása, mint hogy több élelmiszert termeljen kisebb mezőgazdasági földterületen, a műtrágyák, kemikáliák, víz és energia csökkentett felhasználása mellett. Reménytelen azt hinni, mint Európában ezt gyakran javasolják, hogy az „organikus” gazdálkodás jelenti a megoldást. Szemben az organikus lobby gyakori érvelésével, az organikus gazdálkodás a talaj termékenysége szempontjából lehet előnyös, ugyanakkor egyértelműen kedvezőtlen a termés hozamot tekintve. Egyik okként ezzel indokolják az agrár pénzügyi támogatást Európában. Ahhoz, hogy a növekvő népesség számára elegendő élelmiszer legyen a világon, jelentős befektetésekre lesz szükség valamennyi rendelkezésre álló know-how és technológia kombinálásával (mint például az integrált termelési stratégia elterjesztése). Ugyanakkor meg kell növelni a mezőgazdaság és a mezőgazdasági kutatás pénzügyi támogatását minden területen, beleértve az organikus gazdálkodást is.

Nincs magyarázat arra, hogy miért kell Európában ideológiai okokból gátolni a leghatásosabb, a GMO technológia alkalmazását. Biztosan rossz irány ez akkor, amikor nyilvánvaló, hogy csak a bizonyítottan működőképes technológiák

együttes alkalmazása segítheti az élelmiszer-biztonságot, mérsékelheti a mezőgazdasági erőforrások csökkenését és a klímaváltozás okozta negatív hatásokat, illetve növelheti a versenyt a mezőgazdasági hulladékok iránt a bioüzemanyag előállításban. Ez Európában nem azonnal érzékelhető, mivel kiemelten támogatott mesterséges mezőgazdasági rendszert tart fenn és támogatja a luxus „organikus” termelést azon az alapon, hogy élelmiszert importál olyan országokból, ahol milliók halnak éhen, ahol az improduktív organikus gazdálkodás a szegénység következménye, és nem életstílus kérdése. Az európai GMO hozzáállás nagy hatással van a fejlődő országok döntéshozóira, akik nem élhetnek a választás lehetőségével, mert használni vagy nem használni a GM technológiát élet-halál kérdése sok millió szegény számára. Az európai döntéshozóknak súlyos morális kötelességük, hogy véleményüket tudományos tényekre alapozzák és ne ideológiai indíttatású véleményekre.

A fentiek alapján minden felelős európai politikusnak, aki részt vesz a döntéshozatalban az új technológiát és a mezőgazdaságot illetően, ildomos a Magyar Fehér Könyvet elolvasni. Ebben a vonatkozásban ajánlom a Pápai Tudományos Akadémia által kibocsátott „Állásfoglalás” tanulmányozását is. Azoknak, akik még egyetlen percet sem tudnak áldozni a kérdésnek, a következő távirati stílusú üzenetet ajánlom: a GM technológia bizonyítottan a leggyorsabb technológia a növények nemesítésére. Szemben a GMO-t ellenzők évtizedekre visszanyúló érvelésével, nincs egyetlen dokumentált eset sem a környezet, sem a fogyasztó számára okozott kárról annak ellenére, hogy szegény gazdák milliói használják elterjedten az ilyen növényeket. Ezt igazolják a 25 éven át folytatott biobiztonsági kutatások és az ellenőrző hatóságok vizsgálatai. Ezen túl a technológia dokumentáltan előnnyel járt a fejlődő országokban a szegények és a környezet számára is annak ellenére, hogy az alkalmazás kizárólag néhány nagy agrobiotechnológiai cég üzleti érdekében állt. A technológia monopóliumának tényleges kialakulásáért nem magát a technológiát kell kárhóztatni, hanem a kialakított GMO szabályozási rendszert, amely hatékonyan megakadályozza, hogy a technológiát a közintézmények a közjó érdekében használják. Mindazok, akik olvassák a Magyar Fehér Könyvet és a Pápai Akadémia „Állásfoglalását” belátják, hogy azonnali szükség van a társadalmi hozzáállás és a szabályozás megváltoztatására.

### **Felhasznált irodalom:**

Transgenic Plants for Food Security in the Context of Development. Proceedings of a Study Week of the Pontifical Academy of Sciences. Editors: Ingo Potrykus & Klaus Ammann. New Biotechnology, 27 (5): 30 November 2010, pp. 443–717. [www.vatican.va/roman\\_curia/pontifical\\_academies/acdscien/2010/newbiotechnologynov2010.pdf](http://www.vatican.va/roman_curia/pontifical_academies/acdscien/2010/newbiotechnologynov2010.pdf). A félreértések elkerülése végett: ez nem a Szentszék vagy az Akadémia, hanem az előadói hét résztvevőinek hivatalos állásfoglalása.

## 2. Szerkesztői előszó

Az emberiség jövőjének kulcskérdése a fenntartható fejlődés feltételeinek megteremtése. Hibásak és kárt okoznak azok a törekvések, amelyek a tudomány szerepét leértékelik, és indokolatlan félelmet szítanak az emberekben a tudomány táplálta technikai fejlődéssel kapcsolatban. Az ipari forradalom kezdetén a lyoni takácsok – munkahelyeiket féltve – összetörték szövőszékeiket. Ez a luddista mozgalom a gépromboló jelzővel vonult be a történelembe. Napjaink géprombolói közé sorolhatók azok az anarchista civil mozgalmak, amelyek tagjai a zöld géntechnológusok kísérleti területeit semmisítik meg. Káros tevékenységük valójában és elsősorban politikai harc a globalizáció és a multinacionális cégek ellen, nem törődve azzal, hogy a kísérleti földeken milyen hasznos eredményekkel kecsegtető új tenyészanyagok nevelkednek, „a jövő növényei”. Az ismeretek bővülésével az emberek előbb-utóbb elfogadják a tudományos-technikai fejlődés gyümölcseit, végeredményben különösebb fenntartás nélkül. Álljon itt példaként egy angol rendelet a XIX. századból, amit a gőzmozdony bevezetésekor írtak elő. Eszerint 200 éve még egy zászlót lengető lovas kellett hogy jelezze a „veszélyes” (4 km/óra sebességgel haladó!) monstrum közeledtét. Napjaink gyorsvonatai előtt, melyek óránként több mint 300 kilométert tesznek meg, a lovas futárnak esélye sem lenne végrehajtani feladatát.

Korunk mezőgazdasága - és így a gazdálkodók is - kikerülhetetlen társadalmi elvárással szembesülnek, amikor minden eddiginél több és minőségi élelmet kell előállítaniuk egyre kisebb mezőgazdasági területen. Veszélyezteteti a termékbiztonságot az egyre csökkenő víz, a klímaváltozás okozta szélsőséges időjárási események gyakoribbá válása is. Nem vitatható a felismerés, hogy agrártevékenységet hosszú távon és fenntartható módon ma már egyedül a környezettel szoros harmóniában lehet folytatni. Ennek a kihívásnak csak egy korszerű mezőgazdaság tud megfelelni, amely a kutatás és innováció eredményeire épít, és a legújabb technológiákat integrálva állítja elő a Föld lakosságának élelmet és ipari alapanyagait. Mind nyilvánvalóbbá válik, hogy egy élelmiszerár-robbanás küszöbén állunk, aminek társadalmi következményei beláthatatlanok. Naivítás lenne azt sugallni, hogy a géntechnológia mindenre megoldást nyújthat, de jobb növény- és állatfajták, valamint technológiák révén biztosan hozzájárulhat azon nemes célhoz, hogy egyre több embernek legyen jobb az életminősége. Az Egyesült Nemzetek Élelmezési és Mezőgazdasági Szervezetének (FAO) jelmondata ezt a célt tömören így fogalmazza meg: „Fiat panem - Kenyeret mindenkinek”.

Jelen könyvünk a magyar tudományos élet azon képviselőinek álláspontját tükrözi, akik - ellentétben a politikai mozgalmak hisztéria gerjesztőivel - a géntechnológiát a mikroorganizmusok, a növények és az állatok nemesítését elősegítő módszernek tekintik, és biztosak abban, hogy a termelésre engedélyezett élőlények az emberiség haladását szolgálják. A szerkesztők ezúton is köszönetüket fejezik ki az egyes fejezetek íróinak hozzáértő gondolataikat összegző tanulmányaikért.

Könyvünk megjelentetésének támogatásáért köszönettel tartozunk a Barabás Zoltán Biotechnológiai Egyesületnek és a Pannon Növény-biotechnológiai Egyesületnek. A kötet nyomdai előkészítésében Kecán Zsuzsa, Godó Klára és Tóth Sándorné lelkiismeretes és kiváló munkája biztosította a magas színvonalat. Külön köszönetet mondunk a fordítást végző munkatársaknak, Fejes Erzsébetnek és Bacskovszky Anettnak.

Szeged, 2011. március

Balázs Ervin, Dudits Dénes és Sági László

### **3. Az MTA Agrártudományok Osztályának állásfoglalása a genetikailag módosított élőlényekkel kapcsolatban**

Tekintettel a biotechnológia, ezen belül a géntechnológia és a genomika növekvő szerepvállalására a növénynevelésben, a növényvédelemben, a bioenergiaiparban és a gyógyszeralapanyag-előállításban, a Magyar Tudományos Akadémia Agrártudományok Osztálya 2010. május 26-i ülésén a következő állásfoglalást fogalmazta meg:

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 növénynevelés 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 (GM) 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 növénynevelők és a gazdák szabad technológiaválasztásában.
8. Az agrárinnováció érdekében növelni kell az agrár-biotechnológiai oktatás és kutatás kapacitásait, finanszírozását és versenyképességét.
9. Tudományos ismeretterjesztéssel kell elősegíteni a géntechnológia társadalmi elfogadottságát.

#### **Részletes indoklás**

A biotechnológia a biológia alaptudományának eredményeit alkalmazza a technológiai fejlesztésekben. A genomika a genetika új, dinamikus fejlődő tudományterülete, amely az élőlények génekészletének működését, a gének egymásra hatását, kapcsolatrendszerét vizsgálja. A géntechnológia a biotechnológia egy napjainkban rohamléptekkel bővülő ága, amely a molekuláris genetika és genomika eszköztárát használja. A géntechnológia módszerével vált lehetővé génmódosított élőlények létrehozása mind kutatási célból,



mind a gyakorlati hasznosítás számára.

A genetikailag módosított (GM) élőlények, illetve a belőlük nyert termékek társadalmi fogadtatása világszerte igen ellentmondásos, és így van ez hazánkban is. A nemzetközi és a hazai nyomtatott és elektronikus médiában neves, véleményformáló szakemberek által jegyzett, a kérdéssel foglalkozó dolgozatok/állásfoglalások gyakran egymásnak gyökeresen ellentmondanak, ami elbizonytalanítja a laikusokat, és nem segíti őket véleményük kialakításában.

A nagyközönség, de különösen az Európai Unió polgárainak vélekedése jelentősen eltér a modern géntechnológiai eljárások orvosi-egészségügyi, illetve mezőgazdasági célú alkalmazásait illetően. Amíg a GM mikroba és állatok – gyógyhatású készítmények termelésével, illetve gyógyászati célú kísérletekben való – felhasználásával kapcsolatban az emberek elfogadó magatartást tanúsítanak, addig a GM növényeket és a géntechnológia élelmiszer-előállításban való alkalmazását illetően már nagyon megoszlanak a vélemények. Gyakran egészen végletes állásfoglalásokkal találkozhatunk, a teljes elutasítástól a fenntartások/korlátozások nélküli felhasználásig.

A GM növények termesztésbe vonása kapcsán hazánkban (is) széles körű társadalmi vita bontakozott ki. Ezt alapvetően helyesnek és kívánatosnak tartjuk. Sajnálatos azonban, hogy e vitában – esetenként, a szakmai pro és kontra érvek mellett – túlzó, személyeskedő és hangulatkeltő megnyilvánulások is teret kapnak. Ezért a Mezőgazdasági Biotechnológiai Bizottság elérkezettnek látta az időt arra, hogy kizárólag szakmai szempontok alapján állást foglaljon a GM élőlényekkel kapcsolatban.

A GM, más néven transzgenikus élőlény olyan géntechnológiával mesterségesen létrehozott DNS-konstrukciót hordoz, amelyet ugyancsak mesterségesen juttattak az élőlény örökítő anyagába. Ezek a génkonstrukciók a célsejtekben új fehérjék termelődését indítják be, vagy a szervezet eredeti géneinek működését valamiképpen módosítják. Ez a változtatás egyedi, minden egyes ilyen esemény más-más hatással lesz az adott élőlény és utódainak tulajdonságaira. A GM élőlényeken belül beszélhetünk genetikailag módosított **mikrobákról, állatokról és növényekről**.

### **GM mikroba (baktériumok, vírusok, gombák)**

Az élelmiszeriparban hosszú hagyománya van a mikrobák biotechnológiai felhasználásának (pl. sör- és tejipar). Ezeknek a technológiáknak géntechnológiai úton történő fejlesztése a mai biotechnológia intenzív kutatási területe. GM baktériumok segítségével vált lehetővé gyógyászati hasznú emberi fehérjék olcsó és biztonságos tömegtermelése, például inzulin, vér-aldadási faktorok, növekedési hormon stb. Biztonságossága miatt az utóbbi évtizedekben nagyon felértékelődött a GM baktériumok ilyen alkalmazása, hiszen a korábbi gyártási technológia, amikor halottakból kivont fehérjékkel dolgoztak, nagyobb kockázatot jelentett például az AIDS, hepatitisz, Creutzfeldt-Jakob kór és más fertőző betegségek vonatkozásában.

## GM állatok

A GM állatok létrehozásánál is az az idegen génkonstrukciók mesterséges bevitelének célja, hogy a célsejtekben meghatározott fehérjék termelődését indukálják. Az elmúlt években a tudományos kutatás szolgálata mellett már gyógyászati célokból is állítottak elő transzgénikus haszonállatokat (például juh, kecske, szarvasmarha, csirke stb.). Ezek a fajokban eredetileg nem termelődő, emberre gyógyhatású fehérjéket (szöveti plazminogén aktivátor,  $\alpha$ 1-antitripszin,  $\alpha$ -laktalbumin,  $\alpha$ -glukozidáz stb.) választanak ki tejbe, illetve tojásfehérjébe. Hasonlóképpen hasznosak a transzgénikus technológiával állatokon folyó orvosi modellkísérletek, melyek a betegségek kialakulásának és gyógykezelésének tanulmányozására adnak gyakran egyedülálló lehetőséget. Ezek a módszerek várhatóan már a közeljövőben kiemelt jelentőségre tesznek majd szert a humán gyógyászatban.

## GM növények

A transzgénikus növények segítségével fokozható a gyomirtó szerekkel vagy a kórokozókkal és kártevőkkel szembeni ellenállóképesség, növelhető a stressztűrés, javítható a termés táplálkozási értéke. Az első GM növények 1994-ben kerültek forgalomba, amióta elterjedtségük és jelentőségük folyamatosan növekszik.

A GM növények társadalmi megítélését és elfogadottságát nagymértékben befolyásolják a potenciális fogyasztók ide vonatkozó biológiai ismeretei, amit segíthet a megfelelő, tárgyilagos tájékoztatás. Az érintett tudományterületek fejlődése sokkal gyorsabb, mint a nagyközönség ismeretanyagának bővülése e téren. Egyre inkább nyílik a „biotechnológiai olló”, egyre jobban eltávolodik a tudomány és annak gyakorlati alkalmazása a társadalmi megítéléstől, illetve elfogadottságtól. Ezért rendkívül időszerű, hogy a GM haszonnövényekkel kapcsolatban széles körű tájékoztató kampány induljon, amelynek célja, hogy közérthető formában pótoljuk a hiányzó, de a fogyasztók által jogosan elvárt és igényelt ismereteket. A tájékoztatásnak tárgyilagosnak kell lennie, és ki kell terjednie a géntechnológiával kapcsolatban a fogyasztókban felmerülő kérdésekre, mint például a termesztés ökológiai és élelmiszer-biztonsági kockázata, illetve az elérhető gazdasági és fogyasztói előnyök. Lényegesnek tartjuk a nagyközönség ismereteinek bővítését a technológia jelenlegi korlátainak és jövőbeli lehetőségeinek vonatkozásában is.

Ma Magyarországon az Európai Unióban elfogadott GM növényfajták természetesen megfelelő szabályok betartása mellett elvben lehetséges. A ténylegesen termeszthető egyetlen GM kukoricával szemben azonban Magyarország 2005-ben (több EU tagállamhoz hasonlóan) védzáradékot vezetett be, ami annak termesztését ideiglenesen megtiltja. Hangsúlyozzuk azonban, hogy a jelenleg ennek kapcsán a médiában folyó vita egyetlen GM kukorica vonal (MON810) hazai termesztetőségével foglalkozik. A GM növények általános megítélése nem függhet ennek az egy hibridnek hazai viszonyok között esetleg kedvezőtlen

tulajdonságaitól, illetve netán ésszerűtlen meghonosításától. Európai Unió tagságunk révén a GM növényfajták széles skálája lesz hamarosan elérhető a magyar gazdák számára. Ezek mindegyike más-más genetikai módosítást hordoz, hasznuk vagy veszélyeik csak egyedileg értékelhető.

A GM vita legtöbb résztvevője egyetért abban, hogy körütekintő, részletes és tárgyilagos kockázatelemzésre, környezetvédelmi és humán-egészségügyi ellenőrző vizsgálatokra van szükség a GM haszonnövények nagyüzemi termesztése előtt. A jelenleg folyó ilyen vizsgálatok elégségességéről, amiben most az Európai Unió megfelelő szervezete (EFSA) az illetékes, távolról sincs egyetértés. Támogatjuk, hogy Magyarországon a GM haszonnövények hosszú távú környezeti és humán-egészségügyi hatásait kötelező protokoll alapján vizsgálják. Ehhez a kormányzatnak intézményi háttérrel és szabályozást kell biztosítani. A vizsgálatok anyagi terheit, azok függetlenségének megőrzése mellett, a fajta-tulajdonos cégeknek kell viselniük.

A GM növények termesztésével kapcsolatban fontosnak tartjuk, hogy hazánkban a termesztés csak szigorúan ellenőrzött feltételek mellett legyen lehetséges. Ennek azonban nem szabad ellehetetlenítenie az engedélyezett GM fajták gazdaságos és ésszerű termesztetőségét.

A fenti elvek hazai alkalmazása mellett azokat az Európai Unió fórumain, a megfelelő bizottságok előtt, illetve az Európai Parlamentben is képviselni kell.

A GM növények termesztése mellett vagy ellene számos érvet sorolnak fel a szakemberek. Vita tárgyát képezi, hogy az így nemesített, olcsón termesztető, fokozott élvezeti értékű vagy egészségesebb (például magasabb vitamintartalmú) GM növényekből készült élelmiszer segít-e megoldani az emberiség globális élelmezési gondjait.

Azzal a ténnyel mindenképpen számolni kell azonban, hogy az Agrárbiotechnológiai Alkalmazások Elterjesztésének Nemzetközi Szolgálat (ISAAA) legfrissebb jelentése szerint az egész világon 2008-ban több mint 125 millió hektáron (közel 11 millió hektáros növekedés egy év alatt) termesztettek GM növényeket. Az Európai Unióban több tucat ilyen fajtát már elfogadtak, több száz engedélyezése pedig folyamatban van. Az EU jelenleg hatályos törvényi szabályozása még középtávon sem teszi lehetővé GM növény-mentességünk fenntartását. A világ kutatólaboratóriumaiiban már a GM növények következő, fejlettebb nemzedékein dolgoznak. 25 országban a becslések szerint 13,3 millió gazda termeszt GM növényeket. A GM növénytermesztési technológia tehát világszerte gyorsan terjed, fejlődik, és ez a tendencia minden bizonnyal a közeljövőben is folytatódni fog.

Ha azt szeretnénk, hogy a hazai kutató és nemesítő intézetek egy-két évtized múlva majd ne csak kívülállóként nézzék, hogyan halad (el mellettük) tudományterületük fejlődése, akkor most kell fokozott erőfeszítéseket tennünk az ilyen irányú kutatások támogatására. Ezzel elérhetjük azt, hogy a hazai kutatók lépést tartsanak az új ismeretekkel, technológiákkal, így a hazai tudományos műhelyek versenyképessége megmaradjon napjaink egyik legkompetitívabb alkalmazott kutatási területén.

A világban megfigyelhető tendenciák alapján a magyar közvéleményt is fel kell készíteni arra, hogy ha egy GM növényfajta biztonságos természetősége és fogyasztása a tudományos vizsgálatok eredményei alapján megkérdőjelezhetlenné vált, akkor készen álljon annak elfogadására.

## 4. A géntechnológia helye a genetikai beavatkozások között

VENETIANER PÁL

A mezőgazdasági géntechnológiát lehetővé tevő tudományos felfedezés egy egyszerű biokémiai eljárás, amelynek pontosabb neve: *in vitro* DNS-rekombináció. Előfutára Paul Berg és munkatársainak az a (1972-ben elvégzett és később Nobel-díjjal jutalmazott) kísérlete, amelyben először sikerült két különböző organizmus (egy bakteriofág és egy állati vírus) teljes DNS-ének működőképes összekapcsolása. Általánosan alkalmazható technikává Stanley Cohen és Herbert Boyer (és munkatársaik) 1973-ban közölt kísérletei tették. Ők kimutatták, hogy a néhány évvel korábban felfedezett restriktációs endonukleáz enzimek felhasználásával meghatározott pontokon elvágható és más enzimek segítségével összekapcsolható a DNS, így a magnetofon, film, vagy videoszalag vágásához hasonlóan, különböző forrásból származó DNS-szakaszok összekapcsolhatók vagy átrendezhetők, és ezek, élő sejtbe történő bevitel után, megőrizhetik működőképességüket. Az új technika óriási potenciális felhasználási lehetőségei azonnal heves vitát provokáltak mind a tudományos közösségen belül, mind a szélesebb társadalmi-politikai nyilvánosságban, eleinte szinte kizárólag az USA-ban. Ez a vita ekkor még elsősorban a mikrobiológián belüli alkalmazásról szólt, és az első látványos gyakorlati hasznosságú eredmények (egy fontos emberi hormon baktérium általi előállítás), és számos, az eljárás biztonságát demonstráló kísérlet elvégzése után, néhány év elteltével lecsillapodott. 1982-ben azonban sikerült idegen DNS működőképes bevitelét állatokba, majd növényekbe is. E siker eredményeképpen 1994-ben köztermesztésbe került az első „transzgenikus” növény, és az ilyen növények (és állatok, mikroorganizmusok) elnevezésére meghonosodott a némileg félrevezető GMO (*genetically modified organism* = genetikailag módosított élőlény) elnevezés. A név azért nem pontos, mert nyilvánvalóan a hagyományos nemesítés is módosítja genetikailag tárgyait, sőt azt is mondhatjuk, hogy minden ember az anyai genetikai állomány apa általi genetikai módosításának köszönheti életét. Természetesen még rosszabb a magyar sajtóban kiirthatatlanul elterjedt „génkezelt” kifejezés, ami azt sugallja, mintha gének oldatába mártották volna a növényt, netán ecseteléssel juttatták volna be azokat. GMO-nak valójában olyan élőlényt nevezünk, amelynek örökletes állományába célzott, tervezett módon bevitték valamilyen DNS-szakaszt, a természetes kereszteződés kikerülésével (ha a bevitt DNS idegen fajból származott, akkor „transzgenikus”, ha saját fajból, akkor „ciszgenikus” a neve az így nemesített növénynek vagy állatnak).

1994-ben tehát megkezdődött az alkalmazott mezőgazdasági géntechnológia korszaka. Ez néhány évig aránylag csendben fejlődött, 1998-ban azonban, Pusztai Árpád BBC-nek adott nyilatkozata nyomán, elsősorban

Európában, hatalmas vihar tört ki a mezőgazdasági géntechnológia állítólagos veszélyeiről, és ez mindmáig tart. Az objektív, tárgyilagos ítéletalkotást nehezíti, hogy a technológia globális ellenzői ritkán teszik világossá, hogy az alább felsorolt három lehetőség közül mi áll voltaképpen bírálatuk célkeresztjében:

- A technológia „*per se*”, azaz önmagában veszélyesnek tekintenek-e bármely GMO-t?
- Egyes GMO-k fenotípusa, azaz a technológia által bevitt konkrét tulajdonságok (gyomirtószer-tolerancia, rovarkártevő-rezisztencia)?
- A mezőgazdasági géntechnológia alkalmazásának társadalmi (gazdasági, politikai, szabadalmi jogi stb.) problémái?

Erre a különbségtételre azért van szükség, mert a három pont közül egyedül az első az, amely specifikusan és kizárólagosan a géntechnológiára vonatkozik, hiszen például gyomirtótoleráns növények léteznek a természetben is és hagyományos nemesítéssel is előállíthatók, a társadalmi kísérőjelenségek pedig egészen nyilvánvalóan jelen vannak világunkban géntechnológia nélkül is. A következőkben ebben a fejezetben tehát kizárólag a technológiáról magáról lesz szó, függetlenül az általa létrehozott GMO-k fenotípusától vagy a társadalmi kísérőjelenségektől.

Az első tisztázandó kérdés: igaz-e, hogy a géntechnológia forradalmian új, a hagyományos nemesítéstől alapvetően különböző eljárás? Ahelyett, hogy elvitatkoznánk a „forradalmian új” kifejezés definícióján, kísérreljük meg áttekinteni, hogy miben különbözik a kettő egymástól, és miben nem.

Nincs különbség abban, hogy:

- az eljárás nem természetes, hanem mesterséges;
- természetben elő nem forduló konstrukciót is létrehozhat;
- átlépheti a fajok közti határokat;
- kikerüli az evolúció szűrőjét;
- vezethet toxikus, a fogyasztóra ártalmas növény létrejöttéhez;
- a létrehozott növény árthat a környezetnek, az ökoszisztémának;
- csökkentheti a biodiverzitást.

A fentebb felsorolt állítások valamennyien elhangzanak időnként vádként a géntechnológia ellen, de nyilvánvalóan ugyanúgy igazak a hagyományos nemesítés számos eljárására, illetve produktumára is.

Az alapvető különbség mindössze annyi, hogy:

- míg a hagyományos nemesítésnél mindig gének tízezrei keverednek véletlenszerűen gének tízezeivel, addig a géntechnológia tervezetten visz be egyetlen (vagy olykor egynéhány) ismert gént.
- a bevitt gén az élővilág bármely fajából származhat, akár mesterségesen előállított is lehet.

Ami az első pontot illeti, tehát, hogy a beavatkozás tervezett és irányított, ezt nehéz volna racionális érvekkel támadni, az ellenzők inkább annak igazságtartalmát bírálják (vagyis, hogy valóban pontos és kiszámítható-e a beavatkozás), erre a kérdésre később visszatérek.

A legtöbb alapot (különösen a laikus közvélemény szemében) a második pont nyújtja a támadásra, noha meg kell állapítani, hogy egyrészt vannak olyan GMO-k is, amelyekben a bevitt gén ugyanazon fajból származik (ezek az ún. ciszgénikus GMO-k, ilyen volt például az elsőként piacra került GM élelmiszer, a Flavr-Savr paradicsom), másrészt pedig idegen gén bekerülése, nem természetes szaporodással (ún. horizontális géntranszfer), minden bizonnyal létezik a természetben is, bár rendkívül ritka.

Mintogy a GMO-k előállításának módját e könyv következő 5. fejezete ismerteti, a következőkben annak tárgyalására fogok szorítkozni, hogy e technika „mint olyan”, azaz függetlenül a bevitt tulajdonságtól, hordoz-e valamilyen veszélyt, illetve megkísérlem kritikailag elemezni a nyilvános vitákban leggyakrabban elhangzó, erre (a technológiára) vonatkozó ellenérveket.

### **Lehet-e veszélyes, hogy a bevitt DNS „idegen”?**

Nem, mert a DNS szerkezete és a genetikai kód az egész élővilágban azonos, a gének csereszabatosak. Az igaz, hogy az egyenértékű (szinonim) kodonok eloszlása fajoként különbözhet, de ennek legfeljebb a génkifejeződés mértékére lehet hatása, a géntermék szerkezetére nem. Egyébként számos fejlesztésnél az idegen gént módosítják azért, hogy a kodonösszetétel megfeleljen a gazdanövényének. Meg kell jegyezni azt is, hogy az „idegen” gén egyetlen atomja sem származik fizikailag a donor fajból, csak annak információtartalma. Természetesen azzal is tisztában kell lennünk, hogy az emberi táplálkozásban kizárólag „idegen” DNS-t fogyasztunk (kivéve a kannibálokat), a legkülönbözőbb fajokét egymás mellett, és ez nyilvánvalóan nem árt senkinek.

### **Lehetnek-e veszélyesek a bevitt gén szabályozó elemei, például a gyakran alkalmazott erős, ún. 35S promóter, amelyet egy növényi vírusból vettek (promóter: a gén elején található, a génműködés intenzitásáért felelős szabályozó elem)?**

Nem, mert ez a promóter jelen van számos, az emberi táplálkozásban nagy szerepet játszó növényben és állati (illetve emberi) sejtekben, ez utóbbiakban csak igen gyengén vagy egyáltalán nem működik. A táplálkozás során számos, az emberi sejtekben sokkal hatékonyabb működésre képes promótert is elfogyasztunk, és természetesen ezek sem jelentenek semmiféle veszélyt.

### **Igaz-e, hogy az idegen gén beépülése véletlenszerű, nem irányítható?**

Igaz, de ennek „veszélyessége” csak a fejlesztést végző kutatót érinti azzal, hogy munkája eredményességét csökkenti. Ha ugyanis az idegen gén beépülése egy fontos saját gént tesz tönkre vagy gyengít (ez elvileg lehetséges), akkor az a sejt elveszíti életképességét. A fejlesztőmunka során a kutató ellenőrzi, hogy a sejt, amelybe a gén beépült, illetve az ebből felnevelt növény az idegen gén által kódolt tulajdonságon kívül minden más szempontból

ép és egészséges legyen. Ma már meghatározzák a DNS-szekvenciát is a beépült gén környezetében, hogy meggyőződjenek arról, semmilyen más, működő gén nem sérült.

**Okozhat-e az idegen gén beépülése nem tervezett, kontrollálhatatlan egyéb átrendezést a gazdanövény genomjában?**

Elvileg igen. Sőt, néhány adat is ismert arról, hogy egyes GM növények genomjából kisebb DNS-szakaszok kiestek. Tudjuk azonban, hogy ilyen átrendeződések a normális kereszteződés során is előfordulhatnak, és meglehetősen nagy gyakorisággal elő is fordulnak. A spontán áthelyeződésre képes, ún. „ugráló” géneket éppen az egyik legfontosabb GM növényben, a kukoricában fedezte fel a Nobel-díjas Barbara McClintock még a múlt század közepén. Az ilyen természetes átrendeződéseknek köszönhető, hogy a különböző hagyományosan nemesített kukoricafajták genomszerkezete (DNS-szekvenciája) jóval nagyobb különbségeket mutat, mint ami egy GM fajta és annak nem GM őse között észlelhető. Semmiféle kísérleti adat nem támasztja alá azt a feltételezést, hogy a génmanipulációs eljárás megnövelné az ilyen átrendeződések számát vagy mértékét.

**Okozhat-e az idegen gén terméke nem tervezett, egyéb megváltozást a gazdanövény sejtjeiben? Például káros anyagcseretermék megjelenését vagy fontos tápanyagok mennyiségének csökkenését?**

Elvileg igen. Noha az ismert GM növények transzgénjei által kódolt fehérjék nem részei a növény anyagcsere-folyamatainak, és nincsenek ismert kölcsönhatásaik más fehérjékkel, az eddig ismeretlen kölcsönhatások létezése egyáltalán nem kizárható. Az azonban bizonyosnak tekinthető, hogy ilyen nem tervezett és nem előre jelezhető kölcsönhatások nagyságrendekkel valószínűbbek a hagyományos nemesítésnél átvitt gének és géntermékek ezereinél, mint a géntechnológiával bevitt, többnyire egyetlen génterméknél. Ezt a közhelyeszerű vélekedést természetesen számos kísérleti adat is megerősíti. Ezek szerint számos GMO esetében mind az összes fehérje, mind az összes kis molekulású anyagcseretermék vizsgálata kimutatta, hogy a GM fajta és nem GM őse közötti különbség sokkal kisebb, mint az egyes, hagyományosan nemesített fajták közötti különbségek. Természetesen a minden egyes GM fajta engedélyezési eljárásánál megkövetelt, kötelezően elvégzendő vizsgálatok is kimutatják, hogy a különböző táplálkozási szempontból lényeges sejtalkotók, illetve az esetlegesen a növényi sejtben lévő ártalmas, mérgező anyagok koncentrációja szempontjából a GM fajták és az őse nem GM fajta közötti különbség nem haladja meg az egyes hagyományosan nemesített fajták közötti különbségeket.

Az eddigiekben a rekombináns DNS technológia alkalmazásának állítólagos veszélyeivel foglalkoztam. Ehhez mindenképpen hozzá kell fűzni, hogy az utóbbi években kutatólaboratóriumokban olyan technikákat is kidolgoztak, amelyekre



sokkal inkább alkalmazható a „génmódosítás” kifejezés, mint az eddigiekre, noha az általuk létrehozott növények (amelyek még nincsenek közforgalomban) a létező törvényi szabályozás értelmében nem tekinthetők GMO-nak. E technológiák ugyanis nem idegen gént visznek be a növénybe, hanem különböző DNS-manipulációs módszerekkel a növény saját genomjában, pontosan tervezett módon és helyen mutációkat idéznek elő, géneket csendesítenek el vagy vágnak ki, szabályozó elemeket módosítanak stb., vagyis a szó szoros értelmében „génmérnöki” tevékenységet folytatnak anélkül, hogy idegen faj DNS-ét használnák. E technológiák gyakorlati eredményei, illetve az általuk gerjesztett viták még előttünk állnak.

### Összegzés

Befejezésül idézni szeretnék a Pápai Tudományos Akadémia 2009 májusában a Vatikánban tartott konferenciájának záródokumentumából: „A mezőgazdasági és dísznövények genetikai javítása nem más, mint az egyre pontosabb és egyre megjósolhatóbb eredményű technikák hosszú és folyamatos sora. „Ahogy az USA Nemzeti Kutatási Tanácsának 1989-es jelentése megállapította: mint-hogy a molekuláris módszerek precízebbek, az ilyen technikák alkalmazói biztonságosabbak lehetnek afelől, hogy milyen új tulajdonságokat visznek be, és ezért kevésbé valószínű, hogy nemkívánatos hatásokat idéznek elő, mint bármilyen más növénynemesítési módszer alkalmazói.”

## 5. A genetikailag módosított szervezetek előállításának módszerei

SÁGI LÁSZLÓ, GÓCZA ELEN ÉS KOVÁCS KORNÉL

### Bevezetés

Az élettudományok művelői gyakran hiszik azt, hogy kutatási témáik – jelen esetben a genetikailag módosított (GM) élőlények előállításának – technikai részletei önmagukban is annyira érdekesek, hogy elkerülhetetlenül meggyőzők a vonakodó vagy értetlen nyilvánosságot, és az emberek majd önként és dalolva válnak „felfedezéseik” híveivé.

Mi sem bizonyítja jobban, hogy ez az elképzelés inkább tévhit, semmint valóság, mint az EU számos országában ma még tapasztalható GM-ellenes hozzáállás, valamint határozott „nem” a GM növények termesztésére, feldolgozására és forgalmazására. Nincs ez másként Magyarországon (és néhány környező országban) sem, ami részben annak köszönhető, hogy az országos és helyi média nem igazán semlegesen táralja a GM témát (lásd 17. fejezet).

Habár a GM technológiával kapcsolatos szakmai információk terjesztése nem mondható sikeresnek a közmédiában, attól még a kérdés iránt érdeklődő polgárok és a döntéshozók közérthető és objektív tájékoztatása e téren igenis indokolt. Bennünket ne vádoljanak azzal, hogy „a tudósok eltitkolják sötét mesterkedéseiket” a nyilvánosság elől.

Ebben a fejezetben ezért tömören áttekintjük (i) a GM élőlények (mikrobák, növények és állatok) előállítására jelenleg használt legfontosabb technikákat, és (ii) azokat az alapelveket és gyakorlatot, amelyekkel ezek a technikák még hatékonyabbá, ugyanakkor a nyilvánosság számára is elfogadhatóbbá tehetők.

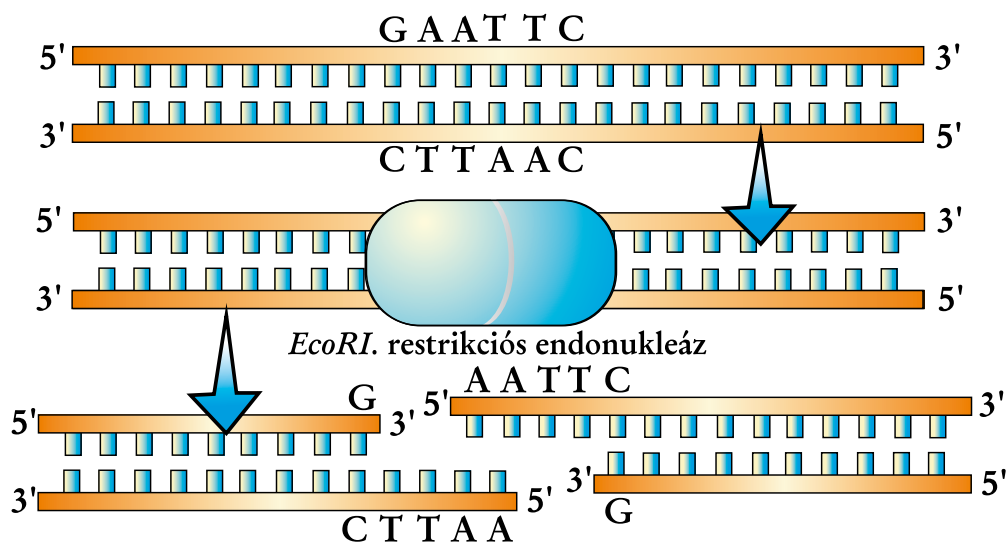
*Definíció:* azokat az élő szervezeteket nevezzük transzgenikusnak vagy genetikailag módosítottak, amelyek minden sejtje stabilan hordozza a mesterségesen bejuttatott DNS-t, és ezt a transzgént (vagy transzgéneket) utódaikra is örökítik.

### A GM mikrobák előállítása

Miközben a kutatók az alapvető életfolyamatokat tanulmányozzák, gyakran szükség van arra, hogy az egyes enzimeket vagy DNS-darabokat a sejtből izolálva vizsgálják meg. A legtöbb szerkezet-funkció kapcsolatával foglalkozó munka ezt követeli meg. Amikor izolált sejtalkotókkal, molekulákkal dolgozunk, lehetőség nyílik arra, hogy olyan műveleteket is elvégezzünk, amelyek az élő sejtben nem lehetségesek. Az ilyen kutatások során fedezték fel azokat a mechanizmusokat, amelyekkel DNS-molekulákat vagy azok darabjait lehet átvinni az egyik sejtből a másikba - ezeket a folyamatokat a szakirodalom transzformáció, transzdukció és konjugáció elnevezéssel

illeti. A megismerő folyamat egyik melléktermékeként alakultak ki azok a módszerek, amelyekkel a DNS- és fehérjemolekulák átszerkesztésére nyílik lehetőség. A biológiai megismerési folyamat és a biotechnológiai módszerek egyaránt folyamatosan fejlődnek, gyarapodnak. A modern biotechnológiai eljárásokban a természetestől eltérő tulajdonságú enzimeket is használunk, a hatékonyság növelése érdekében.

A DNS-manipulálási eljárások annak a rendkívül intenzív kutatási tevékenységnek az eredményei, amely az 1950-es években indult el világszerte. Az egyik komoly nehézség, amellyel az újonnan születő molekuláris biológia szembe találta magát az volt, hogy a természetben rengeteg gén található ugyanazon a DNS-molekulán. Az 1960-as években, miközben azt tanulmányozták, hogy bizonyos baktériumok miként szereznek ellenálló képességet a bakteriofág-fertőzéssel szemben, kutatók arra figyeltek fel, hogy a fertőző vírus DNS-ét a baktériumok képesek felszabdálni. A vágási helyek szabályos rendben, bizonyos szekvencia-szakaszoknál voltak. A vágást végző enzimeket restriktív endonukleázoknak nevezték el, más néven restriktív enzimeknek is szokás őket hívni. (5.1. ábra).



5.1. ábra: A DNS-molekulát szekvenciaspecifikusan hasító enzim, a restriktív endonukleáz

Hamarosan kiderült, hogy sokféle, szekvenciát felismerő restriktív enzim létezik, ezeket ma már rutinszerűen tisztítják különféle baktériumokból. Az enzimeket a napi molekuláris biológiai gyakorlatban rendszeresen használjuk pontos DNS-t szabó ollóként, így lehet előállítani méretre vágott DNS-darabokat. Ezeket a DNS-darabokat aztán vagy egy-egy tulajdonság azonosítására használjuk vagy arra, hogy a vizsgált génekről sok-sok másolatot készítsünk a további vizsgálatokhoz. A specifikus DNS-szakaszok azonosítása számos probléma

megoldásában használható, például az igazságszolgáltatásban, amikor ma már rutinszerű és perdöntő bizonyítékként lehet DNS-szekvencia alapján azonosítani a gyanúsítottat, vagy eldönthető a biológiai apa személye, esetleg étel- és italbiztonságot érintő kérdéseket kell megválaszolni. A DNS-darabok felszorzása, rengeteg másolatban való előállítás is napi rutinfeladatnak számít a polimeráz láncreakció (PCR) segítségével. A PCR-re több mint 1 milliárd másolatot tudunk készíteni egyetlen DNS-darabról 30 ciklus alatt, ami néhány órát vesz igénybe. Valóban elképesztő hatékonyságú, molekuláris méretű másológepről van itt szó.

A klónozás valaminek az azonos másolatban való elkészítését jelenti. Az egyforma autók, amelyek a szerelősorról legördülnek, tulajdonképpen klónok. A biológiában a kifejezést a genetikusan azonos másolatok megjelölésére használjuk. Amikor DNS-t klónoznak, akkor egy darab DNS-t viszünk át egyik sejtből a másikba úgy, hogy a DNS-en levő információ az új gazdasejtben fenn tud maradni, és ellátja az információátvitel funkcióját. Számos technikai megoldási lehetőséget ismerünk a DNS-klónozásra, amihez általában egy hordozó molekulára, ún. vektorra van szükség. A vektor segíti a DNS-darab átjutását a gazdasejtbe, és gondoskodik arról, hogy az átvitt információ ne sérüljön. Ma már sokféle klónozó vektor ismert, amelyeket a különféle gazdasejtek és alkalmazások igényeinek megfelelően alakítottak ki. A leggyakrabban használt vektor egy plazmid. A plazmidok kicsi, cirkuláris DNS-molekulák, amelyeken egy másolatindító (origin of replication) szekvenciárészlet is be van építve. Ha a rekombináns DNS egy plazmiddal bejutott a gazdasejtbe egy részébe a következő fontos feladat azoknak a sejteknek a kiválasztása, amelyek felvették a rekombináns DNS-t. A biotechnológiai információátvitel ugyanis nagyon alacsony hatékonysággal működő folyamat, ezért általában jelölőgéneket is alkalmazunk, amelyek megjelölik azokat a sejteket, amelyekbe sikeresen bejutott a vektor és rajta az új információ. Széles körben elterjedt jelölőgének azok, amelyek valamilyen antibiotikum elleni rezisztenciát biztosítanak. Ez egyszerűsíti a kiválogatási eljárást, de az alkalmazása potenciális veszélyforrást is jelent, ha az antibiotikus rezisztenciát kódoló gén természetes folyamatok eredményeként, például patogén mikrobákba is bekerül. Ennek a valószínűsége igen kicsiny, de nem nulla. Ezért az iparban használatos GM törzseket ma már úgy készítik, hogy a kívánt gént közvetlenül a gazdasejt kromozómájába integrálják bele, amivel az antibiotikumra való szelektálási lépést el lehet kerülni.

A genetikai mérnökséggel a folyamatot egy lépéssel továbbfejlesztjük, hiszen ilyenkor olyan specifikus gént vagy géneket juttatunk be a gazdasejtbe, ahol az idegen géneken kódolt információ nemcsak megmarad, hanem az átírt információval a kódolt fehérjét is megtermeltetjük. A rekombináns DNS technológia egy gyűjtőfogalom, amellyel azokat az eljárásokat vesszük egy csokorba, amelyekkel értelmes genetikai információt juttatunk át és fejeztetünk ki a fogadó sejtben. A folyamat első lépése a kérdéses DNS-darab klónozása. Ha ez a gén egy eukarióta organizmusból származik és baktériumban akarjuk kifejeztetni, figyelembe kell venni az eukarióta és prokarióta szervezetek

közötti alapvető különbségek egyikét: a legtöbb eukarióta gén intronokat is tartalmaz, azaz olyan DNS-szakaszokat, amelyek az eukariótákban a DNS átírása után kivágódnak. Adni kell a vektorhoz prokarióta szállítási jeleket pl. prokarióta promotert, amelyek az teszik, hogy az új gén pontosan átíródjék és kifejeződjön az új gazdában. Ha az új gént ilyen molekuláris "eszközökkel" látják el, akkor az működni fog és ellátja a megfelelő funkciót a gazdabaktériumban, pl. kiválaszt egy adott fehérjét a táptalajban.

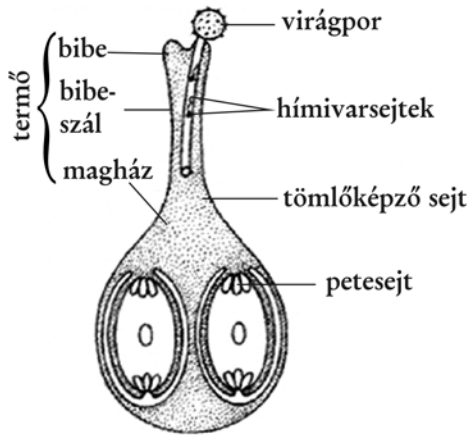
Az, hogy a mikroorganizmusok zamatanyagokat vagy más értékes anyagokat tudnak termelni, egyáltalán nem új. A genetikai mérnökség segítségével a baktériumokat és gombákat azonban úgy lehet módosítani, hogy ilyen nagy értékű anyagokat gazdaságosabban lehessen velük termeltetni, mint a hagyományos ipari eljárásokkal. Zamatanyagok, aminosavak, vitaminok, ízanyagok, enzimek termeltethetők, hogy csak néhány példát említsünk a GM mikroorganizmusok felhasználási területeiről. Gyakran ezek az eljárások teljesen kiváltják a vegyipari szintézissel előállított termékeket. Az előny nyilvánvaló: a mikroorganizmusok gyorsan és olcsón tenyészthetők. Az a tény, hogy átlagos körülmények között dolgoznak, azt jelenti, hogy a vegyipari eljárásoktól eltérően nincs szükség ilyenkor magas hőmérsékletre, nyomásra vagy káros vegyszerekre. A mikroorganizmusok használata sokkal inkább környezetbarát, mint a klasszikus vegyipari eljárások, hiszen ezek a rendszerek kevesebb energiát fogyasztanak, és megújuló alapanyagokat használnak. A termelés maradéka, mellékterméke általában könnyen lebontható szerves anyag, ami kevés szennyeződést eredményez. Egy vegyület termeléséhez a természetben olyan mikrobákat kell azonosítani, amelyek a kérdéses terméket természetes úton állítják elő. A génebérszet eszközei teszik lehetővé, hogy ezeket az anyagokat gazdaságosan, tisztán és nagy mennyiségben tudjuk létrehozni. A genetikai beavatkozások eredményeként nemcsak olyan vegyületeket lehet előállítani, amelyeket korábban nem tudtunk gazdaságosan termelni, hanem teljesen új molekulákat is tudunk készíttetni. A genetiukai módosítás határtalanul kiterjesztette a biotechnológia lehetőségeit.

A mikroorganizmusokkal végzett termelés fermentorokban folyik. Ezek nagy, zárt tartályok, általában rozsdamentes acélból készülnek, és feladatuk a mikrobák számára a megfelelő életkörülmények biztosítása. Amikor a termelő fázisnak vége, a közegből a terméket ki kell nyerni. A végső termékben már sem a termelő mikroorganizmus, sem annak DNS-e nincs jelen, ami tovább növeli a biztonságot.

## A GM növények előállítása

Először is hadd mutassunk rá, mennyire hasonló az a mechanizmus, amelyet a természet alakított ki és az, amelyet a tudomány alkalmaz a magasabb rendű növényfajok genetikai változatosságának fenntartására és növelésére (a gének átvitele és „újrakeverése” révén).

A természetben a csírázó virágpor – a négyes metró alagútjához hasonlóan – csatornát fúr a virág termőjébe, egészen a külső DNS befogadására természeténél fogva nyitott petesejt közelébe. Ezen a csatornán keresztül a hím ivarsejt néhány pikogrammnyi (a gramm egybilliomod része) örökítő anyagot, azaz DNS-t juttat a petesejtbe (5.2. ábra). A DNS a megtermékenyített petesejt további osztódása során önmagát lemásolni képes csomagokra, kromoszómákra oszlik, melyek mindegyike néhány ezer gént – azaz fehérjéket meghatározó DNS-szakaszokat – tartalmaz az összesen több tízezerből.



### 5.2. ábra: A DNS örökítő anyag átadása a növényekben a megtermékenyítés során

A genetikai módosításnál a tudósok is ezt az eljárást követik. Mivel a termőbe mélyen beágyazódott petesejt (5.2. ábra) nehezen hozzáférhető, a kutatók a növények megfordítható fejlődési programját (totipotenciáját) használják ki. Ennek révén számos más növényi szövetből, például egy fiatal levéldarabból, teljes növény hozható újonnan létre mesterségesen szabályozott (*in vitro*) körülmények között. Ezt a technológiát, a szövettenyésztést, legszélesebb körben a dísz- és gyógynövények tömeges szaporítására alkalmazzák: a virágüzletekben kapható növények jó részét már év(tized)ek óta így állítják elő.

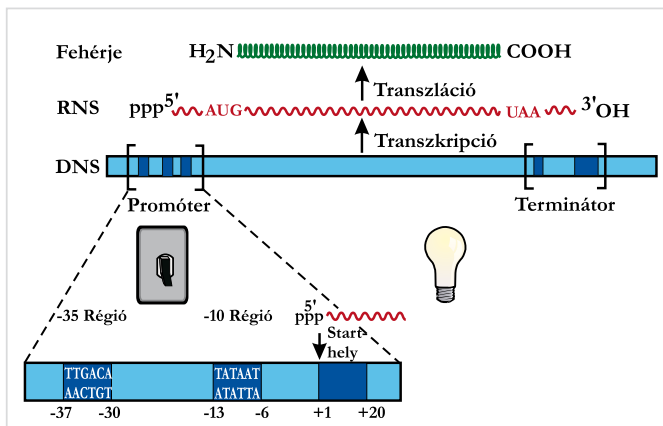
A kutatók ezután különféle módszerekkel szintén egy belépési pontot hoznak létre a növényi sejtben a DNS számára, hogy azon keresztül átjusson a sejtfa- lón és az alatta elhelyezkedő hártján. Ez a pont – csakúgy, mint a

természetben – egy mikroszatorna, mely mikroméretű lövedékekkel, egy bakteriális „fűrőtoronnyal” (*Rhizobium*), elektromos impulzussal vagy nagyon vékony tűvel (mikrokapilláris) is létrehozható, hogy csak néhányat említsünk a lehetőségek közül. Ezután egy másik, a kromoszómánál kisebb önreplikáló DNS-csomagot, egy plazmidot juttatnak be a növény saját DNS-ébe. A plazmidok csupán néhány jól meghatározott gént tartalmaznak, melyek hossza egyetlen búzasejt összes DNS-ének egymilliomod részét sem teszi ki.

Technikai szempontból a növényi gének sikeres átvitelének – a rutinszerű szövettenyésztésen kívül – két fő komponense bontható ki a fent leírt folyamatból:

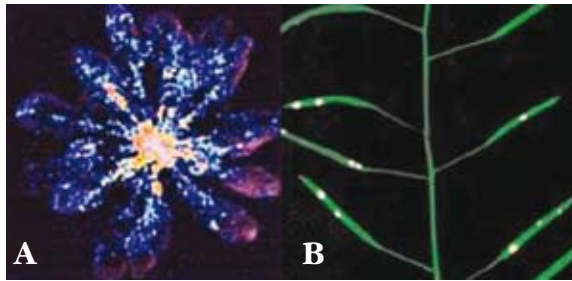
- működőképes génkonstrukció („mit viszünk be”)
- hatékony géntviteli módszer („hogyan visszük be a gént”)

A funkcionális *génkonstrukciónak* két alkotóelemmel kell rendelkeznie. Az egyik ilyen DNS-szakasz a kódoló régió, mely egy információközvetítő molekula, az RNS átmásolásához (transzkripció) és adott esetben a fehérjék szintéziséhez (transzláció) szükséges információt tárolja. A másik alkotórészt azok a szabályozó DNS-szekvenciák képezik, melyek az RNS átírásának indítását, végrehajtását és befejezését, valamint az előállított RNS-molekula további szerkesztését irányítják. Ezek a szabályozó DNS-elemek (például a promóter- és a terminátorrégiók) általában a kódoló régió startpontja (ATG) előtt és végpontja (TAA, TAG vagy TGA) után, vagy akár abba beékelődve (intronok) helyezkednek el. A gének szerkezete így egy egyszerű áramkörhöz hasonlítható: a kódoló régió a fényt szolgáltató lámpaizzónak felel meg, a promóter pedig az izzóhoz kötött kapcsolót képviseli (5.3. ábra)



5.3. ábra: Az RNS-t és a fehérjét kódoló régióból („lámpaizzó”) és a molekuláris „kapcsolóként” működő szabályozó elemekből (promóter- és terminátorrégió) álló gén sematikus szerkezete. A promóterrégió rövid konzervált DNS-szakaszokat tartalmaz (számokkal jelölt sötétkék sávok), melyekhez a DNS aktív térbeli alakját biztosító DNS-kötő fehérjék kapcsolódnak

Bizonyos jelzőgének - „riporter” gének - valóban képesek a fénykibocsátás kiváltására GM növényekben, ha a megfelelő genetikai kapcsolóhoz csatlakoztatják őket. Ennek igen látványos példája a szentjánosbogárból származó luciferáz gén (5.4A ábra) és a medúza eredetű zöld fluoreszcens fehérje (GFP) gén (5.4B ábra), melyeket transzgenikus sejtek és szövetek könnyű és érzékeny kimutatására használnak.



**5.4. ábra: Biolumineszcens és fluoreszcens riporter gének GM növényekben.** **A:** Szentjánosbogárból származó luciferáz gén működése fiatal lúdfű (*Arabidopsis*) levélrózsájában (Lopez-Huertas és mtsai, 2000, *The EMBO Journal*, 19: 6770); **B:** a zöld fluoreszcens fehérje kifejeződése az *Arabidopsis* magokat tartalmazó termésében (Stuitje és mtsai, 2003, *Plant Biotechnology Journal*, 1: 301)

Népszerű jelzőgén még az indigókék színreakciót adó (5.6. ábra) glükuronidáz enzimet kódoló GUS gén, ami többek között a bélcsatornában nagy számban élő kólibaktériumban is megtalálható.

#### *Génátvitel növényekbe*

A GM növényekkel kapcsolatos kutatás három évtizedes múltja során számos génátviteli módszert fejlesztettek vagy próbáltak ki. Ezek között rendszerint közvetlen és közvetett módszereket különböztetünk meg attól függően, hogy a beépíteni szándékozott gén(ek)e)t tiszta DNS formájában vagy pedig valamilyen élő szervezet segítségével juttatják be a növényi sejtekbe. Ez utóbbi esetben a közvetítő organizmusok egyfajta biológiai trójai falóként segítenek „becsempészni” a kívánt gént. Vektorszervezetként használható több baktériumfaj a *Rhizobium* nemzetségből, illetve számos növényi vírus is.

Az optimális génátviteli módszernek számos alapvető feltételt kell teljesítenie:

- sokoldalúság: több gén egyidejű bevitele egyetlen hosszú vagy különálló DNS-darab(ok)on,
- egyszerű beépülés és stabil génműködés a GM növényekben és utódjaikban,
- szabályozott, helyspecifikus beépülés (a gén célzott bejuttatása),
- könnyű kivitelezés, költségtakarékosság és hatékonyság,
- egyetemesség: a (szinte) minden fajban való alkalmazhatóság.



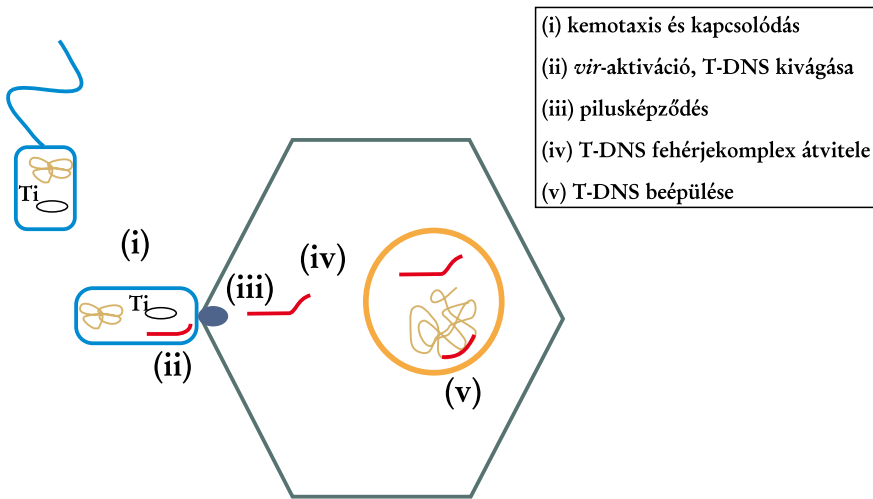
### *Rhizobium* közvetítette génátvitel

A *Rhizobiaceae* családba tartozó néhány talajlakó baktériumfaj természetes genetikai manipulátor hírében áll (például *Rhizobium radiobacter*, korábban *Agrobacterium tumefaciens*), mivel végre tudják hajtani azt az egyedi „mutatványt”, hogy növényekbe (no és még sok más, sejttaggal rendelkező szervezetbe) géneket, és ezzel egyidejűleg fehérjéket juttatnak, amit öt fő lépésből álló, pontosan felépített folyamattal érnek el (5.5. ábra):

- (i) mozgás és kapcsolódás sérült növényi sejtekhez,
- (ii) egy kétkomponensű érzékelőrendszer aktivációja a transzfer (T-)DNS kivágásához,
- (iii) „csalagút” (pilus) építése a baktérium- és növényi sejt között,
- (iv) DNS-fehérjekomplex felépítése és bejuttatása a növényi sejtbe,
- (v) a komplex beszállítása a sejttagba, és a DNS beépítése a növényi kromoszómába.

A baktérium genomja - az élővilágban egyedülálló módon - négy fő elemből, két kromoszomatípusból (körkörös és lineáris) és két körkörös plazmidből épül fel. Érdekes és a mi szempontunkból alapvető tényező az egyik plazmidon (Ti) megfigyelhető feladatmegosztás: az átszállított T-DNS-régió jól elhatárolódik, elkülönül a virulencia (*vir*) génektől, amelyek a T-DNS szintézisét, összeállítását és átvitelét koordinálják.

Ezzel a folyamattal a baktérium „célja”, hogy megtelepedjen a fogékony növényi sejteken, és olyan „gyárakká” alakítsa azokat, amelyek módosított aminosavak formájában szén- és nitrogénforrásokat állítanak elő számára. A T-DNS-szakaszon ezért olyan speciális enzimeket kódoló gének helyezkednek el, amelyek egyrészt a növényi sejtek hormonális anyagcseréjét programozzák át, hogy azok nagy számban osztódjanak, másrészt pedig tápanyagokat termeljenek a módosított sejtekkel. Ennek eredményeként az így „gyarmatosított” növények földfelszín közeli és alatti részein nagyméretű tumorok, gyökérgolyvák alakulnak ki, ami komoly gondot okoz a mezőgazdaságban, különösen a dísnövény-termesztésben és a szőlészetben.



**5.5. ábra: A természetes *Rhizobium* génátviteli folyamat főbb szakaszai.** A kék „sejtek” az ostorral mozgó vagy a növényi sejthez (zöld hatszög) kapcsolódott baktériumnak felelnek meg, mely kromoszómális DNS-t és körkörös tumorképző (Ti) plazmidot tartalmaz. A növényi sejtmag (sárga kör) tartalmazza a genomi DNS-t, ahová a Ti plazmidból kivágott bakteriális T-DNS (piros szakasz) a „csalagúton” keresztül (kék folt) beszállítódik és beépül (Pérez Hernández és Sági, nem publikált)

A *Rhizobium*-rejtély évtizedes intenzív kutatása során a tudósok rájöttek, hogyan lehet ezt a természetes folyamatot az emberiség szolgálatába állítani. A siker kulcsa az a felismerés volt, hogy a T-DNS összetétele önmagában nem befolyásolja a génátvitelt; hanem a folyamatban a főszerepet a T-DNS-en kívüli szekvenciák (például a virulencia gének), valamint a T-DNS-t közrefogó rövid DNS-szakaszok (az ún. határrégiók) játsszák. Ez azt jelenti, hogy: (i) a hormontermelést beindító enzimeket kódoló géneket el lehet távolítani, így megszűnik a tumorképződés, és (ii) az aminosavak előállításáért felelős enzimgéneket is ki lehet cserélni bármilyen más gén(ek)re, amely(ek)nek átvitele azután ugyanúgy végbemegy.

Maga a transzformációs eljárás technikailag rendkívül egyszerű, még egy általános iskolás is végre tudja hajtani. Nem kell hozzá mást tenni, csak belemeríteni a növényi explantumokat (például levéldarabkákat) a táptalajt és aktivált baktériumokat tartalmazó folyékony szuszpenzióba, majd szárazra törölve 1-2 napig a baktériummal együtt tenyészteni, hogy végbemehessen a génátvitel és -beépülés. Ezután a növényi részeket antibiotikummal ölik meg a baktériumokat, melyekre – feladatuk teljesítése után – már nincs többé szükség; legvégül megtörténik a transzgenikus sejtek kiválogatása és a GM növények regenerációja.

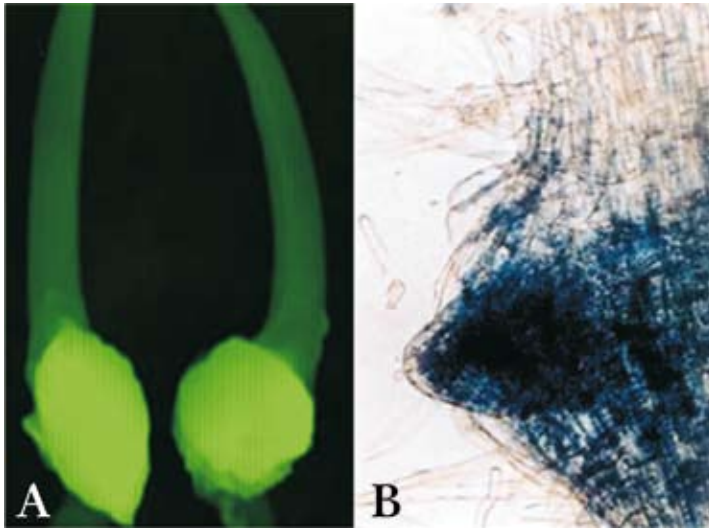
Noha a folyamat biológiailag elég összetett, néhány egyszerű paraméter optimalizálása nagyon hatékonyra teszi ezt a módszert a laboratóriumban is. A beállítandó tényezők közé tartozik többek között a virulencia gének hatékony aktivációját biztosító táptalaj összetétele, a növény-baktérium együttes tenyésztésének időtartama és hőmérséklete, valamint a baktériumtörzs és a növényfajta kombinációja.

A *Rhizobium* felhasználásával végzett génátvitel legfőbb előnye, hogy egyszerű, nem költséges, és több, mint száz növényfaj esetében hatékonyan működik.

### Szabályozott génműködés

A génátviteli technológiákban fontos előrelépést jelent a bevitt gének pontosabb kifejeződése. Az első generációs GM növényekben a transzgén expresszióját rendszerint egyszerű szervezetekből, például növényi vírusokból izolált erős promóterek szabályozták. Ezeknek az organizmusoknak az elsődleges funkciója a néhány génből álló genetikai állományuk gyors és erőteljes működtetése mindenféle növényi sejtben, így az ezeket szabályozó promótereket állandóan aktív (konstitutív) promótereknek nevezzük. Ez az állandó jellegű szabályozás azonban közel sem optimális a legtöbb transzgén számára a GM növényekben. Például egy levelet megtámadó gombabetegség elleni rezisztenciagénnek nem kell intenzíven kifejeződnie a vetőmagban, ha a kórokozó nem is fertőzi a magot. Néhány esetben a túlzott expresszió egyenesen ellenjavallt, például ha egy opportunist kórokozónak így nagyobb esélye van „kiismernie” egy adott betegségezisztencia-mechanizmust és immunitást kifejlesztenie ellene. A növények legtöbb saját génje a fejlődés során finoman szabályozott, és ezért a sikeres transzgénnek hasonlóan pontosan szabályozott expresszióval kell rendelkeznie.

A kutatók ennek megfelelően folyamatosan tökéletesítik a növényi promóterek és egyéb szabályozó szekvenciák azonosítására és pontos jellemzésére szolgáló újabb technikákat. Ennek eredményeképpen mára már nagyszámú promóter áll rendelkezésre a célgének szövetspecifikus, sőt akár sejtspecifikus expressziójához GM növényekben (5.6. ábra). Ezeknek az új promótereknek egy része tesztelés alatt áll, vagy már el is érte a kereskedelmi alkalmazást a GM termékek következő generációjánál.



**5.6. ábra: Specifikus promóterek által szabályozott transzgének GM növényekben.** A: A GFP gén működése a rizs szemtermésében, de nem a csíranövényben, B:  $\beta$ -glükuronidáz (GUS) génexpresszió banán fiatal gyökércsúcsában (Schenk és mtsai, 1999, Plant Molecular Biology, 39: 1221)

### A GM állatok előállítása

Genetikailag módosított állatok létrehozásával lehetőség nyílt számos gén működésének megértésére, a humán betegségeket modellező transzgénikus állatok létrehozása pedig megteremtette a lehetőséget a betegségek genetikai hátterének megismerésére, melynek révén új gyógyszereket lehetett kifejleszteni. A téma jelentőségét 2007-ben orvosi Nobel-díjjal ismerték el.

Számos tudományterület együttes fejlődésének eredményeképpen születhettek meg az első transzgénikus állatok. Rudolf Jaenisch 1974-ben vírus DNS-t juttatott be egérembrióba, ami kimutatható volt az élő egerek szerveiben is (Proceedings of the National Academy of Sciences USA, 71: 1250). Ez volt az első, sikeresen végrehajtott genetikai módosítás állatokban. Gordon és mtsai (Proceedings of the National Academy of Sciences USA, 77: 7380) 1980-ban GM egeret állítottak elő úgy, hogy egysesjtés embrió sejtmagjába mesterséges DNS-t mikroinjektáltak. Mára számos DNS-beviteli módszert dolgoztak ki a kutatók: ezek köre a mikroinjektálás mellett kiterjed többek között az elektroporációra, vírusok és mesterséges kromoszómák felhasználására is (5.1. táblázat).

Technika	Vektor	Célzott sejt	Vektor hossza	Célzott módosítás	Hatásfok	Technikai nehézség
Mikroinjektálás	DNS	zigóta sejtmagja	50-1000 kb	nem lehet	++	+++
	Vírus	zigóta perivitellináris tere	5-10 kb	nem lehet	+++	++
	Transzpozon	zigóta citoplazmája	50-1000 kb	nem lehet	+++	++
	Cinkujj-nukleáz	zigóta sejtmagja	18 bp célszekvencia	lehetséges	++	+++
	Mesterséges kromoszóma	zigóta sejtmagja	100-2000 kb	nem lehet	+	++++
Elektroporálás, liposzóma	DNS	őssejt, testi sejt	100-2000 kb	lehetséges	+++	+
	Vírus		5-10 kb		+++	
	Transzpozon		50-1000 kb		+++	
	Dupla szálú RNS		19-23 kb		++	

**5.1. táblázat: A GM állatok előállítására alkalmazott fontosabb technikák összehasonlító jellemzése**

A DNS-vektor beépülése a legtöbb módszer esetében elsősorban véletlen módon történik, ami megzavarhatja vagy elronthatja egy saját gén működését, ha éppen azon a helyen ékelődött a gazdaszervezet DNS-ébe. De kerülhet a bevitt DNS egy inaktív kromoszóma-régióba is, és így a sejteknek csak egy részében lesz működőképes, azaz a transzgén működését nézve mozaikos lehet a megszületett GM állat. Speciális DNS-vektorok alkalmazásával a homológ rekombináció és a géncsendesítés jelenségét kihasználva, vagy a cink-ujj nukleáz enzimek irányítható DNS javítókéességét felhasználva ma már megvalósítható a célzott génbevitel. Ezzel elérhető, hogy csak az általunk kiválasztott gént módosítsuk, vagy egyáltalán ne történjen megváltozás a transzgént hordozó egyedek egyetlen génjében sem.

## **GM állatok előállítására alkalmazott módszerek**

### *DNS mikroinjektálása*

A DNS mikroinjektálása a legelterjedtebb módszer transzgénikus állatok létrehozására. Az eljárás során a transzgént tartalmazó DNS-t megtermékenyített petesejtbe (zigótába) juttatják úgy, hogy az injektáló folyadékban oldott DNS-t közvetlenül a sejtmagba fecskendezik be (5.7. ábra). Ehhez speciális eszközök (például mikromanipulátor) és jól képzett technikusok szükségesek. A transzgén beépülésének hatékonysága aránylag alacsony, a megszületett állatok mintegy 5-10%-a hordozza a bevitt gént.



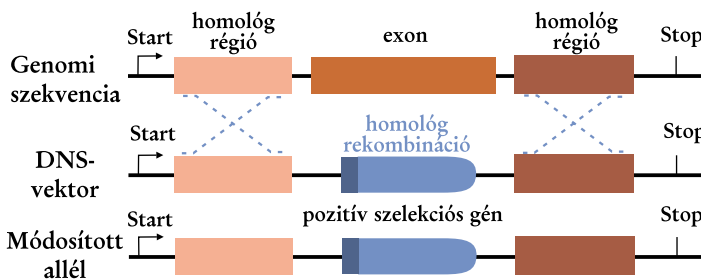
**5.7. ábra: DNS mikroinjektálása megtermékenyített petesejtbe.** A DNS-t közvetlenül a sejtmagba (nyíllal jelölve) fecskendezik egy vékony mikrokapillárisal (jobb oldalt)

Az így létrehozott transzgénikus állatokban tanulmányozni lehet a beépült génről termelődő fehérje hatását az embriók fejlődésére. Modellállatokban pedig betegség gyógyítására alkalmas kezeléseket lehet kidolgozni.

Transzgénikus haszonállatok előállítására különböző tulajdonságok megváltoztatása céljából akkor kerül sor, ha a hagyományos tenyésztési eljárásokkal a kívánt eredményt nem, vagy csak nagyon hosszú idő alatt lehet elérni. Az eddigi kísérletek a belső elválasztású mirigyek, a tej és gyapjú szerkezeti fehérjéi, az immunrendszer megváltoztatását vagy betegségrezisztencia létrehozását célozták. A mezőgazdasági céllal előállított GM állatokkal végzett kísérletek számos előremutató eredményt hoztak. A transzgénikus haszonállatok bioreaktorként való felhasználása a gyakorlatban is alkalmazásra került (lásd 8. fejezet).

**Génkiütött ('knock-out') és génmódosított ('knock-in') állatok**

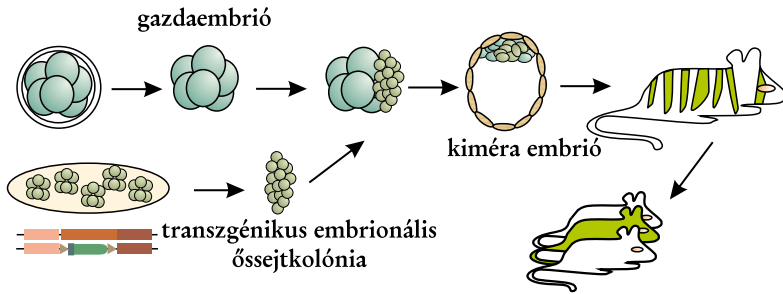
Célzott genetikai módosítást végrehajtva hozták létre az első génkiütött állatokat. A homológ rekombináció lehetővé teszi, hogy a célzott gén egyes elemeit tartalmazó DNS-vektor a kívánt génbe épüljön be. Ha a transzgén a célzott gén működéséhez elengedhetetlenül fontos területre (exonba) épül be, akkor az adott génről működésképtelen vagy módosított fehérje termelődik, és így az adott génre nézve génkiütött (5.8. ábra) vagy génmódosított állatokat lehet létrehozni. A beépített DNS-vektor tartalmazhat pozitív szelekción gént (például antibiotikum-rezisztencia gént) vagy riportergént (például zöld fluoreszcens fehérjét).



**5.8. ábra: Homológ rekombinációval létrehozott génkiütött allél.** A célzott génbe bevitt pozitív szelekcións gén behelyettesíti, lecseréli az eredeti gént

A homológ rekombináció előfordulási valószínűsége igen alacsony (egy a millióhoz), így egyszerre igen nagyszámú sejtbe kell bejuttatni a DNS-vektort ahhoz, hogy esély legyen a transzformált sejtek közt olyant találni, amiben a bevitt DNS a célzott génbe épült be. Ha a DNS-vektort embrionális eredetű őssejtekbe (ES sejtek) juttatják be elektroporációval, akkor a célzott génbeépítést tartalmazó sejtkolóniákat kaphatunk.

Az őssejteket korai (hólyagsíra) állapotú embrióba injektálva, vagy nyolcsejtes embrióval egyesítve, azok beépülnek a gazdaembrió sejtjei közé, és úgy fognak viselkedni, mintha mindig is az embrió részei lettek volna. Bekapcsolódnak az embrió természetes fejlődésébe, és részt vesznek a megszülető állat összes szövetének felépítésében. Az így létrejövő állatokat kiméráknak nevezzük, mivel szöveteiknek egy része a gazdaembrió sejtjeiből, másik része pedig a transzgenikus embrionális őssejtekből alakul ki (5.9. ábra). A transzgenikus sejtekből ivarsejtek is létrejöhetnek, azokkal pedig transzgenikus egértörzseket alapíthatunk. Nagy nemzetközi együttműködések keretében több ezer transzgenikus embrionális őssejt vonalat hoztak létre, így mára az ismert egérgének 10%-át sikerült kiütetni ezekben a sejt vonalakban.

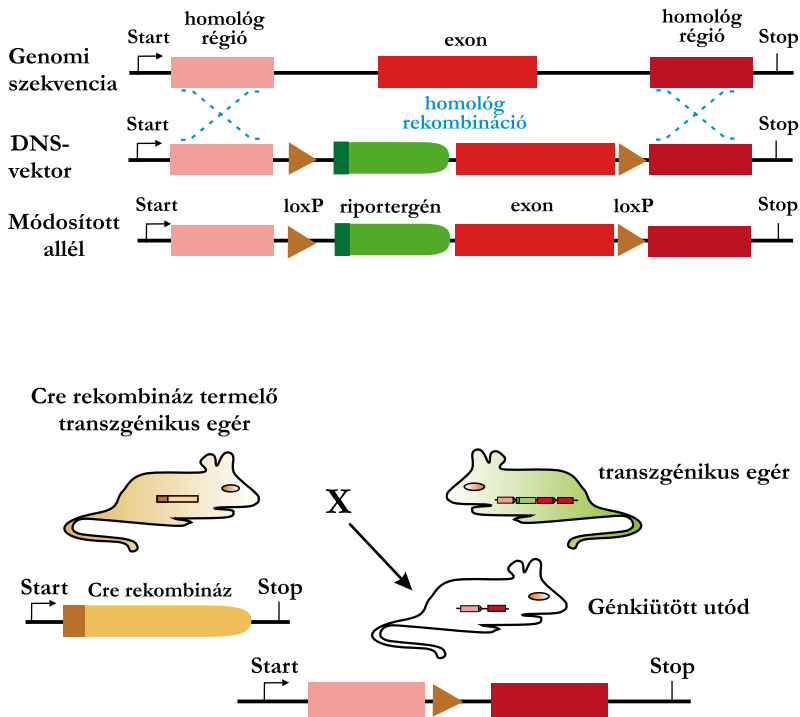


**5.9. ábra:** A transzgenikus őssejteket hólyagcsíra állapotú embrióba injektálva, azok beépülnek a gazdaembrió sejtei közé, bekapcsolódnak az embrió fejlődésébe, majd kiméra embriók és kiméra utódok jönnek létre. A kiméra transzgenikus ivarsejtjeiből transzgenikus utódok születnek

#### *Feltételesen génkiütött állatok*

Az embrionális fejlődésben fontos szerepet játszó gének kiütése az embriók korai pusztulását eredményezheti, így ezeknek a géneknek a szerepe nem lenne tanulmányozható. Szerencsére sikerült olyan kondicionális génkiütési módszert kidolgozni, aminek segítségével elérhető, hogy csak speciális körülmények között, például idő- vagy szövetspecifikus módon távolítsuk el a vizsgált gént. Ezt az eredményt a Cre-lox rendszer alkalmazásával lehetett elérni. A Cre egy bakteriális rekombinááz enzim, amely két loxP szekvencia között hasítja a DNS-t. A loxP szekvenciák beépíthetők a DNS-vektorba, és ebben az esetben csak azokban a szövetekben zajlik le a génkiütés, amelyekben a Cre rekombinááz enzim is jelen van. A feltételes és célzott génkiütést úgy tudjuk elérni, hogy a Cre rekombinááz enzimet szövetspecifikusan termelő transzgenikus egereket a loxP szekvenciákat hordozó transzgenikus egerekkel párosítva kettős transzgenikus egereket hozunk létre (5.10. ábra).





**5.10. ábra: Kondicionális génkiütés Cre rekombinááz enzimet termelő transzgénikus egerek és loxP szekvenciákat hordozó transzgénikus egerek párosításával.** A riportergén működésével azonosíthatók a homológ rekombinációt hordozó GM egerek (felül), majd a riportergén aktivitásának megszűnése jelzi a párosított egerek utódaiban a feltételes génkiütés bekövetkeztét (alul)

#### *Cink-ujj nukleáz alkalmazása génkiütött állatok létrehozására*

Az adott gén célzott kiütését egy speciális nukleáz enzim, a cink-ujj fehérje ('zinc finger nuclease', ZFN) alkalmazásával is el lehet érni. Ez az enzim a sejtekben keletkezett elrontott DNS (véletlen mutációk) javításában vesz részt úgy, hogy első lépésben a hiba helyét felismerve, annak közelében elhasítja a DNS-láncot. A második lépésben a sejt javító mechanizmusa beépíti a helyes szekvenciát a DNS-be. A mutációs helyhez történő specifikus kötődést is biztosítják a ZFN molekulák, melyek ma már szinte tetszőleges DNS-szakaszokhoz tervezhetők, így elérhető, hogy bármilyen DNS kivágását követően célzott génkiütés jöjjön létre. A ZFN alkalmazásával azokban az állatfajokban is előidézhető génkiütés, amelyekben a homológ rekombináció ma még nem alkalmazható (például őssejtek hiányában). Távlabbi célként megfogalmazódott, hogy a ZFN alkalmazható lehet genetikai mutációk specifikus javítására is.

### *Klónozással létrehozott transzgénikus állatok*

Testi sejtekből származó sejtmagok átültetését alkalmazva mára lehetségessé vált célzott genetikai módosítást hordozó transzgénikus haszonállatok klónozása is. Felnőtt állatokból származó sejttenyészetekbe elektroporációval (vagy liposzóma közvetítésével) lehet bejuttatni a DNS-vektort. A kívánt módosítást hordozó sejteket magjuktól megfosztott petesejtek citoplazmájába injektálva klónozott embriókat, majd ezeket álvemhes nőstényekbe ültetve, klónozott utódokat lehet létrehozni. Az első így létrehozott klónozott transzgénikus juh, Dolly, egy, a humán gyógyászatban rendkívül fontos véralvadást gátló faktort termelt. A módszer hatékonyságának javítását követően várhatóan számos orvosi és mezőgazdasági alkalmazásra nyújt majd lehetőséget a sejtmag-átültetési klónozás *(lásd 8. fejezet)*.

### **Összegzés**

Fontos megértenünk, hogy a GM szervezetek döntő többségét kutatólaboratóriumokban állítják elő, és csak kis hányadukat szánják kereskedelmi termékek fejlesztésére. Az alapkutatói programok célja igen szerteágazó: egy génfunkció feltárása, új promóterek azonosítása, anyagcsereutak vagy génkölcönhatások jellemzése, a környezet által szabályozott fejlődési folyamatok (például a virágzás indukciójának, az immunrendszer működésének) megértése, vagy hatékony transzformációs vektorok és génátviteli technológiák fejlesztése stb. A legkülönbözőbb fajok teljes genomszekvenciájának ismereténél („posztgenomika”) korábban ezek az információk közvetlen előnyt jelentenek az élenjáró nemesítési és tenyésztési programok számára is, például a génalapú szelekció (GAS) alkalmazásával.

A génátvitelhez jelenleg alkalmazott technikák és alapelvek rövid összefoglalásával ezen áttekintés célja az volt, hogy bemutassa: ezek a módszerek teljesen okszerűek, reprodukálhatók és különféle alkalmazásokhoz ma már rutin eljárásként használhatók az élő szervezetek széles körénél. Természetesen (a szó legeredetibb értelmében) mindig van lehetőség további fejlődésre, és amíg tudomány létezik, a kutatás sem áll le. A GM élőlények esetében azonban a legújabb technikák gyakorlatba történő gyors átültetését lefékezi a rendkívül merev szabályozás. Maga a technológia már eléggé kiforrott, de a kérdés élesebb, mint eddig bármikor: elég érettek vagyunk-e ahhoz, hogy intelligens és „szelektív” módon alkalmazzuk?

## 6. A géntechnológiai kutatások integrálása a növénynemesítésbe

MARTON L. CSABA ÉS BEDŐ ZOLTÁN

### Bevezetés

A növénynemesítő jövőbeni célkitűzéseit csak akkor válthatja valóra, ha a tudásalapú mezőgazdasági termelésre alkalmas genotípusokat hoz létre. Ez azt jelenti többek között, hogy ott, ahol eddig elsősorban a bevitt anyag mennyiségi növelésével fokozták a termelést és érték el nagyobb stabilitást, a jövőben molekuláris genetikai és nemesítési módszerek felhasználásával létrehozott növényfajtákkal helyettesítették a környezetre és az emberi egészségre potenciális veszélyt jelentő technológiákat. Mindezek a feladatok új kihívást jelentenek a növénynemesítésnek, amit nagy valószínűséggel már a hagyományos és molekuláris nemesítés módszereivel, az integrált növénynemesítéssel lehet megoldani. A főbb célok közé tartozik:

- a genetikai diverzitás megőrzése és lehetőség szerint a szélesítése;
- a növényi produktivitás fenntartható növelése a terméshibiztonság egyidejű javításával. Ide tartozik például a peszticidterhelés csökkentése, herbicid-, gomba- és rovarrezisztens genotípusok nemesítése, a termésstabilitás javítása hideg-, aszály- és sótűrő genotípusok nemesítésével;
- a mezőgazdaságilag művelt terület csökkentése az ökológiailag érzékeny régiókban a természetes környezet megóvása érdekében;
- az egészséges táplálkozást elősegítő élelmiszerek előállítás: például vitamintartalom növelése, a növényi tápanyagtranszport javítása, esszenciális aminosavak termeltetése, a bioaktív komponensek növelése;
- bioenergetikai célra hatékonyan felhasználható GM növények előállítás;
- az életminőség javítása: például gyógyászatban felhasználható makromolekulák termelése az ún. „biofarming” eljárással.

A molekuláris növénynemesítés célja olyan DNS szintű változások előidézése, melyek közvetlen és tudatos genomi szintű beavatkozással javítják a növény agronómiai teljesítményét, beltartalmi jellemzőit, vagy új, korábban nem létező tulajdonság kifejlesztését teszik lehetővé. Alkalmazásával a fenotípusosan vizsgálható tulajdonságokat nem fedik el vagy befolyásolják a környezeti tényezők, ami állandó problémát okoz a klasszikus növénynemesítőknek. Ezáltal a molekuláris nemesítés lényegesen hatékonyabb lehet a növényi és populációs szinten történő hagyományos szelekcióhoz képest, sőt klasszikus nemesítési módszerekkel meg nem valósítható genetikai változásokat lehet előidézni. A növénynemesítés eszköztára jelentősen gazdagodott például a nagy hatékonyságú ún. *high-throughput* genomelemző technológiákkal, melyekkel a kutatók növényi génbankok és nemesítési anyagok vizsgálatát képesek elvégezni a DNS-polimorfizmus meghatározására. A genotipizálás hatékonyságát növeli a gének expressziójának szisztematikus vizsgálatát lehetővé tevő

microarray-technológia. Meghatározhatók és nyomon követhetők lesznek az egyes folyamatokban résztvevő gének. A növényi genom mélyebb megértése részletesebb bepillantást enged a biokémiai folyamatokba, a fehérjék és metabolitjaik rendszerébe, azok kölcsönhatásainak megértésébe.

A molekuláris nemesítés egyik, a társadalom számára is leginkább ismert új „eszköze” a növényi géntechnológia. Az MTA Mezőgazdasági Kutatóintézet Martonvásáron a magyar kukoricatermesztést veszélyeztető új, agresszív kártevő elleni védelem érdekében nemzetközi együttműködésben kezdte el a GM alapú növénynemesítést. Ennek a kutatási programnak az eddigi eredményeit az alábbi esettanulmányban foglaljuk össze.

### **Kukoricabogárral szembeni rezisztencianemesítés**

Az amerikai kukoricabogár első gazdasági kártételét a 20. század legelején írták le csemegekukoricában. A kukoricabogár Észak-Amerikában őshonos. Három közismert formája van: a déli gyökérféreg, keleti gyökérféreg és a nyugati gyökérféreg. Ezek a tápnövényekhez való viszonyukon túl morfológiailag is megkülönböztethetők. Európában eddig csak a nyugati gyökérféreg található, ennek az első lárvakártételét először egy belgrádi repülőtér melletti kukoricatáblában észlelték. Azóta európai terjedése folyamatos és meglehetősen intenzív. Hazánkban 1995 nyarán fogták az első imágót. Napjainkra az ország kukoricatermesztés szempontjából jelentős régióiban mindenütt megtalálható a kártevő.

A fő kártevők a lárvák, melyek főleg a kukoricánövény gyökerén táplálkoznak. A fiatal lárvák a hajszálgyökereken, míg az idősebbek az erősebb gyökereken is károsítanak. A gyökérrendszer meggyengülésével a növények megdőlnek, átlagosan 8-15%-al kisebb lesz a termés. Az imágó a kukorica levelét, bibéjét, illetve a pollent fogyasztja, melyek közül a biberágás a legjelentősebb, mert a kukoricacsöveken termékenyülési problémát okoz.

1995-ben a kutatók már sejtették, hogy nemcsak egy új „hazai” faj egyedét, hanem egy új növényvédelmi probléma forrását találták meg. Az ezt követő több mint egy évtized alatt természetes ellenségek hiányában a mezőgazdaság számára káros rovarral ismerkedhettünk meg. Terjedésének gyorsaságát jól mutatja az a tény, hogy napjainkra egyedeinek lokális megjelenését már a Kárpát-medencén kívüli területeken is regisztrálták.

A rovarnak évente egy nemzedéke van, tojás formájában telet át a talajban, a lárva május közepén kel ki. Az első kifejlett egyedek (imágók) június közepén jelennek meg, majd a nőtények a kelésüket követő 10-14 nap után kezdik el a tojásrakást, amelyet szeptemberig több alkalommal ismételnek meg. Fő tápláléknyövényük a kukorica, de képesek más növényfaj gyökérzetét is károsítani. A vetésváltásra érzékenyen reagálnak, számuk monokultúrás termesztésben szaporodik igazán föl.

1996-tól indult meg hazánkban a bogár elleni védekezés lehetőségeinek a kidolgozása. A lárva kártételének kukoricán jelentkező tünetei, az előfordulás gyakorisága és az átlagosan 5-10%-os terméskiesés sürgőssé tette az integrált

védekezési módok kialakítását. Gazdasági lárva- és imágókárt Magyarországon először 2000-ben figyeltek meg, azóta változó mértékben ugyan, de folyamatosan jelen van a kártevő.

### Védekezési eljárások

A legelső növényvédelmi tanácsok között a *vetésváltás*, az *inszekticides* vetőmagcsávázás, talajfertőtlenítés, valamint az imágó elleni állománypermetezés és *ellenálló hibridek* vetése szerepelt. Ezekhez az eljárásokhoz csatlakozott ezután a biotechnológia, amely saját eszközével, a *kukorica genetikai módosításával* közelítette meg a problémát.

Régóta közismert, hogy monokultúrás termesztésben nagymértékű károkat okozhat a gyökérdőlés és az annak következtében bekövetkező növénypusztulás. A gyökérféreg által károsított állomány minden biotikus és abiotikus stresszre érzékenyebb, mint a nem károsított. Különösen igaz ez száraz időjárási viszonyok között.

A termelők a vetésváltással azt a megfigyelést használják ki, hogy a kukorica gyökérféreg csak a kukorica, illetve még néhány más termesztett növényfaj gyökerén képes megélni. Másrészt a talajban található tojások életképessége a második, harmadik évben jelentősen lecsökken, illetve elpusztulnak. Ezért az eredményes védekezés alapja a vetésváltás.

Bár vetésváltásnál is okoznak kárt az újonnan betelepült imágók, de ez ritkán vagy soha nem éri el az ökonómiai is kimutatható kár mértékét. Monokultúrában viszont, elsősorban a talajban élő lárvák tevékenysége miatt, a kár mértéke akár a teljes termés mennyiségét is elérheti.

A kukoricabogárral szemben hatékony rovarölő szerek alkalmazása a vetésváltás mellett a másik leggyakoribb védekezési eljárás. Hazánkban és korábban az USA-ban is a kukorica vetésterületének körülbelül 20%-án folytatták ezt a védekezési módot. Az utóbbi időben szűkült a használható szerek köre, ami magában rejti a szerreztens biotípusok kialakulásának a veszélyét. Erre vonatkozó esetet már leírtak az USA-ban.

Martonvásáron megfigyeltük, hogy a kár mértéke különösen nagy a száraz évjáratokban. A virágzást megelőző bőséges vízellátás viszont csökkenti a megdőlés és a kár mértékét. A növények bizonyos időhatárok között és fejlődési fázisban eltérő mértékben képesek regenerálódni.

Megfigyeléseink szerint a regenerálódás függ a vízellátás (csapadék, öntözés) gyakoriságától, mennyiségétől, a kártevő gyökérféreg-populáció nagyságától, rezisztenciájától és a fajták eltérő regenerációs képességétől is. A regenerálódó képesség vizsgálata ezért alkalmas eszköz lehet a hagyományos nemesítési módszereket követő nemesítő számára a gyökérféreg-tolerancia javításában.

A védekezés költségét itthon 4 milliárd forintba, míg az USA-ban 40 milliárd forintba becsülik. A USA vetésterülete 30-szor nagyobb a hazainál, a védekezés költsége csak 10-szer annyi. Ez egy hektárra vonatkoztatva azt jelenti, hogy mi háromszor többet költünk vegyszeres védekezésre, mint az amerikai termelő. Ennek oka lehet egyrészt, hogy a hazai száraz körülmények mellett súlyosabb

a kártétel, másrészt, hogy az USA-ban már elterjedtek a kukoricabogár-rezisztens hibridek.

A gazdanövény és a rovar kapcsolata három alapvető mechanizmussal magyarázható: preferencia, antibiózis és tolerancia, melyek közül a konvencionális nemesítés a toleranciára alapozhat. A tolerancia esetében a különbségek főleg a hibridek eltérő növényi habitusából adódnak (erősebb szár, nagyobb és masszívabb gyökértömeg, erőteljesebb gyökérregeneráció). A transzgénikus növények igazi rezisztenciát mutatnak, s a rezisztencia alapja az antibiózis.

### Transzgénikus kukoricanemesítés

A genetikai módosítás lényege egy, a *növényfajtól idegen gén bevitel*e és működtetése. A Bt elnevezés a *Bacillus thuringiensis*, egy spóraképző talajbaktérium nevéből származik. A baktérium spóráit és endotoxinját – mint mikrobiális eredetű rovarölő szert (Dipel) – az 1950-es évek óta használják a növényvédelmi technológiákban. A kukoricába bevitt gén egy rovarölő hatású kristályos fehérjét termel (innen ered a gén *crystal cry* elnevezése), amely önmagában nem mérgező (ún. protoxin). Toxikus hatása akkor alakul ki, amikor a szerkezete a növény részeit elfogyasztó lárva vagy imágó emésztőszervében – jelátviteli folyamatoktól függően – megváltozik.

A növény sejtjeiben termelődő toxin, az elfogyasztott táplálékkal bejutva a lárva emésztőrendszerébe, a középbélben lévő receptorokhoz kötődik, majd a hámsejtek membránjának károsításával a lárva pusztulását okozza.

A különböző törzsek által termelt toxinok más-más rovarcsoport ellen hatékonyak. Termesztésben jelenleg egyes *Lepidoptera* kártevők (például kukoricamoly) ellen hatékony Cry9F, Cry1F és Cry1Ac toxint és *Coleoptera* (például kukoricabogár) kártevők ellen hatékony Cry3A, Cry3Bb1, Cry34Ab1 és Cry35Ab1 toxint termelő kukoricahibridek találhatók meg a világon.

A növényben termelődő toxinok tehát fajspecifikusak, azaz nem minden élőlényt, csak a célszervezetek adott körét károsítják. Ennek következtében hatásspektruma lényegesen szűkebb, mint például egy inszekticidnek, mellyel a talajfertőtlenítést is végzik. Mint minden Cry fehérjét, mely a *Bacillus thuringiensis*-ből származik, a kukoricabogár ellen hatékony fehérjét is el kell fogyasztania a rovarnak ahhoz, hogy a rovarölő hatás érvényesüljön (6.1. ábra).



**6.1. ábra: Transzgenikus (balra) és hagyományos kukorica (jobbra) gyökérzete kukoricabogár-fertőzés hatására**

A másik fontos kérdés, hogy a hatóanyag a növény mely részeiben fordul elő. Míg a kukoricabogár lárvája a gyökeret, az imágó gyakorlatilag a növény minden más részét károsítja. A bibét, a pollent fogyasztja, a levelet hámozgatja, és még a termésbe is belerág. A Bt gének olyan szabályozó régióval vannak ellátva (ún. konstitutív promóterrégió), amely a növény minden részében kifejeződik, így a növény minden szervében, szövetében, sejtjében termeli a toxinféhrjét. A kifejeződés mértéke persze szervenként más és más, a fehérjetermék a levélben van a legnagyobb mennyiségben, míg a pollenben jelenléte csak elhanyagolható mértékű. A termelődő toxinmennyiségek szerint a növényi szervek között a következő sorrend állítható fel:

levél > portok > gyökér > szár > mag > pollen

A növények megjelenésükben, „viselkedésükben” és fejlődési ciklusukban semmiben sem különböznek a nem transzgenikus változataiktól. A Bt kukorica összetétele összehasonlításra került a hagyományos kukoricáéval, amelyeket ugyanazokban a kísérletekben termesztettek az Egyesült Államokban. Az elemzések 77 különböző paramétert fedtek le: nedvesség, fehérjetartalom, aminosavak, glükózidok, zsírok, rostok, vitaminok, különböző másodlagos anyagcseretermékek, ásványi anyagok és hamu. Ezekben a paraméterekben semmilyen biológiailag jelentős eltérés nem volt tapasztalható. A Bt kukorica, az összetételét illetően, a hagyományos kukoricával egyenértékűnek tekinthető (a hozzáadott jellemzők kivételével). A bogárral szembeni rezisztenciájuk azonban kifejezett, a biotechnológiai módszer a lárvák közel 100%-át képes elpusztítani.

A Bt génnel kapcsoltan a kukoricahibridek egy másik transzgénikus tulajdonságot is hordozhatnak. Ez pedig a *Roundup* herbiciddel szembeni rezisztencia génje. A hatása látványos, ugyanis a megfelelő totális gyomirtó szerrel lepermetezett táblákon a gyomok és a nem transzgénikus kukoricák elpusztulnak. A *Roundup Ready* (RR) kukoricák rezisztenciája stabil és jól kifejeződő, az így módosított növények életben maradnak, növekedésük és fejlődésük nem áll meg.

A herbicidrezisztenciának az oka egyetlen gén megváltoztatása, amely a növényben eredetileg benne van. A RR rezisztens kukorica, az *Agrobacterium* faj egyik törzséből származó, glifozát-toleráns 5-enolpiruvil-sikimát-3-foszfát szintáz (EPSPS) enzim kifejeződése révén, toleranciát mutat a *Roundup* széles spektrumú, glifozát hatóanyagot tartalmazó mezőgazdasági gyomirtó szer iránt.

A fent említett transzgénikus hibrid kukoricák szántóföldi termesztése jelenleg hazánkban nem engedélyezett. Az országban egyhangúlag elfogadott moratórium van az Európai Unióban egyébként engedélyezett (MON810) és fajtalistán szereplő GM fajtákra. A kukoricabogárral szemben rezisztens és/vagy herbicid-toleráns hibridek szántóföldi kibocsátásának engedélyezését jelenleg vizsgálják az EU-ban.

## Összegzés

Napjainkra az amerikai kukoricabogár (*Diabrotica virgifera virgifera* LeConte) a hazai kukoricatermesztés egyik legfontosabb kártevője lett. Minden – termesztés szempontjából fontos – területen megtalálható, több régióban – gazdasági küszöbértéket meghaladó kártételével – a különböző biotikus és abiotikus stresszfaktorok közül a legnagyobb problémát jelenti a termelőknek.

A védekezési lehetőséget jelenleg az inszekticidek használata (talajfertőtlenítés, csávázás, állománypermetezés) és a vetésváltás jelenti. Ismert néhány, az átlagosnál toleránsabb kukoricahibrid, de ez önmagában nem biztosít védelmet. A jövő eljárását a transzgénikus hibridek jelenthetik, melyek igazi rezisztenciát biztosítanak a kukoricabogárral szemben, s nemcsak a vegetáció elején (csávázás, talajfertőtlenítés), hanem a növény teljes életciklusa során megvédik a károsodástól. Ezek a kutatások Martonvásáron nemzetközi együttműködésben kezdődtek meg. Az USA-ban már engedélyezett a kukoricabogárral szemben ellenálló transzgénikus hibridek termesztése, s ezek jelentik a védekezés legfontosabb módját.



## 7. A géntechnológiával nemesített (GM) növények nemzedékeinek jelenlegi és jövőbeli szerepe Magyarországon

DUDITS DÉNES

*„A GM gazdasági növények felelősségteljes használatának várható hatásait tekintve arra számíthatunk, hogy a 21. században a genomika, a proteomika, a rendszerbiológia és a metabolomika által nyújtott speciális tudás gazdag bázisán a biotechnológia haladása hozzájárul a mezőgazdasági tevékenység fenntarthatóságának növeléséhez.”*  
Werner Arber, Nobel-díj, 1978 (*Biotechnology Advances*, 2009, 27: 940).

### Bevezetés

A betakarítható termés mennyisége és minősége a növénytermesztési rendszereket működtető sokféle tényező együttes hatásának eredője. A biológiai, a klimatikus, a talajtani, a műszaki és a gazdasági paraméterek komplex módon, kölcsönhatásban biztosítják a gazda munkájának eredményességét. A földbe kerülő vetőmag génállománya biológiai határok közé szorítja a növények teljesítőképességét. Ezért kap kiemelt szerepet a növény-nemesítés akkor, amikor a növényi produkció szerepét mérlegeljük a fenntartható fejlődés követelményei alapján. Hiszen a génösszetétel optimalizálása révén folyamatosan javíthatók a növények anyagcsere-folyamatai a termés maximalizálása érdekében. A növény-nemesítés több évszázados története tanúsítja, hogy keresztezéssel, szelekcióval, a kromoszómák számának megsokszorozásával, mutációk előidézésével növelhető a fajták hozama. A nemesítői munka sikeressége minden időkből sokban függött a biológiai, genetikai kutatás eredményeinek alkalmazásától. Ennek tényét a magyar növény-nemesítés történetének sikerei is tanúsítják, akár a búza-, a cukorrépa-, a hibrid kukorica-, a lucerna-, a gyümölcs- szőlő- vagy a virágfajták előállítását tekintjük. Ez a tradíció törne meg azzal, ha napjaink növény-nemesítői figyelmen kívül hagynák Werner Arber fent idézett megállapítását, és a géntechnológia módszereit nem használnák a növények génállományának „manipulálása,” jobbítása során. Magyarországon a GM növények elleni többfrontos csata ez idáig igen sikeresnek bizonyult, ahogy ezt a moratórium és a tiltást garantáló, egyoldalú törvény tanúsítja. Napjainkban az ideológiai és politikai viták átcsapnak hatalommal való visszaélésekbe, amikor adminisztrációs eszközökkel már a GM növények kutatását is gátolják, a kutatókat pedig megfélemlítik, közleményeiket cenzúrázzák. Ez a nemzeti érdekeinket sértő politika akkor érvényesül, amikor az éppen ellentétes az EU agrárstratégiájával és a világ mezőgazdaságának fejlődési irányjaival. Világos üzenettel szolgál **Máire Geoghegan-Quinn** a kutatásért, az innovációért és a tudományért felelős

EU biztos nyilatkozata: **„A növénytermesztésnek ki kell elégítenie a gyorsan növekvő igényeket, miközben megmarad a környezet fenntarthatósága. Világszerte kiemelt figyelmet érdemel a természeti erőforrások megőrzése, a gazdálkodók és a vidéki népesség megélhetésének biztosítása. Az említett kihívások kezelésekor minden alternatívát figyelembe kell venni, továbbá független és tudományosan megalapozott módszereket kell alkalmazni a legjobb megoldások megvalósítása érdekében. Ezen alternatívák közé tartoznak a genetikailag módosított szervezetek (GMO-k) és azok lehetséges felhasználása.”** Lényegében ezt az értékelést erősítik meg a géntechnológiával nemesített (GM) növények termesztésének világtendenciái.

### **Az Európai Unióban ez idáig engedélyezett GM növények marginális jelentősége a hazai fajtahasználatban: ideológiai, politikai túlreagálás**

A korábbi statisztika szerint a 2009-es évben a világ 25 országában, 134 millió hektáron használtak GM fajtákat. A legújabb felmérés szerint a 2010. évben ez a vetésterület 148 millió hektárra emelkedett. A 14 millió gazdálkodóból 13 millió tartozott a forrásszegény kisgazdálkodók csoportjába. Ez az adat egyértelműen cáfolja azt a gyakori kritikát, hogy a GM fajták csak a nagyüzemek érdekeit szolgálják. A jelenleg termesztésben lévő GM növények egy része érdektelen a magyar agrárium szempontjából. Így a rovarrezisztens gyapot vagy a vírusellenálló papaya termesztése, bár komoly gazdasági és környezetvédelmi előnyt biztosíthat egyes országokban, nálunk nem vetődik fel. A GM szója a legelterjedtebb transzgenikus növény, és a herbicidtolerancia a leggyakrabban módosított tulajdonság, mégis a hazai szójatermesztés kihasználhatatlan lehetőségei folytán jelenleg nem jelent elsődleges igényt ilyen rezisztens fajták használata. Míg hazánkban 300 ezer hektár alkalmas e kultúra termesztésére, addig az elmúlt években csak 20-50 ezer hektáron vetettünk szóját. A szója vetésterület növelése indokolt, amihez a fajták megválasztását egyaránt befolyásolhatják a GM növények esetében alacsonyabb termesztési költségek, ugyanakkor a hagyományos fajták termését felárral lehet értékesíteni. A romániai példa tájékozódásul szolgálhat a hazai szójatermesztés technológiai kérdéseinek mérlegeléséhez. Romániában 1999 óta termesztettek herbicidrezisztens GM szóját, amelynek vetésterülete 2006-ban elérte a 130 ezer hektárt. A GM fajták használatával 2007. január 1-jétől, az uniós csatlakozás időpontjától fel kellett hagyniuk, s azóta drámaian visszaesett a szójatermesztés. A gazdák ugyanis nem érdekeltek a sokkal drágább és kevésbé hatékony „hagyományos” szója termesztésében. A román mezőgazdasági miniszter szerint **„Románia évente egy milliárd eurót veszít azért, mert nem termeszthető GM szója, és így Brazíliából kell importálni ezt a takarmányt”** (Agerpres hírügynökség).

A GM kukoricahibridek választéka igen szerény Európában, hiszen egyedül a kukoricamoly kártételnek ellenálló MON810 számú hibrid termesztése engedélyezett. A kukoricamoly rovására írható termésvesztés országosan 3-5%.

Ugyanakkor bizonyos területeken, táblákban számolni kell a nagyobb fertőzés lehetőségével. A kártevő a növény szinte valamennyi fontos részén károsít, nemcsak közvetlen kárt okoz, hanem utat nyit a kártétel nyomán jelentkező másodlagos, például a fuzárium okozta fertőzéseknek is. Tekintettel a várható gazdasági veszteség ilyen nagyságrendjére, nem valószínű, hogy a Cry1Ab fehérjét termelő, molyrezisztens hibridek jelentős részesedést érnének el a hazai kukoricatermesztésben, még ha feltételezzük is a gazdák szabad fajtaválasztását. Mégis igen intenzív GMO-ellenes kampány lett úrrá az országban, amivel sikerült egy moratórium politikai és sajtó általi támogatottságát elérni. Az Európai Unió tagállamai között Magyarország kormányzati képviselői a géntechnológia elkötelezett ellenzői, és a közösségi fórumokon minden kérdésben e technológia visszaszorítása érdekében foglalnak állást. Ezzel egy időben igen sikeres a közvélemény felretájékoztatása. A gazdák is sokféle, megtévesztő információval találkoznak, és lehetőségük sincs ezeket a növényeket kipróbálni. Mint az a 7.1. ábra fotóján látható, a magyar gabonatermesztők Romániában ismerkednek a GM növények termesztésének eredményeivel. Szlovák gazdák GM kukorica tábláit is csak kevés hazai kukoricatermesztő gazda láthatta.



**7.1. ábra Magyar gazdálkodók Lovrinban (Románia), ahol a GM kukoricák tábláit tanulmányozták.** (Fehér István, 2010, Zöld Biotechnológia, 1: 4)

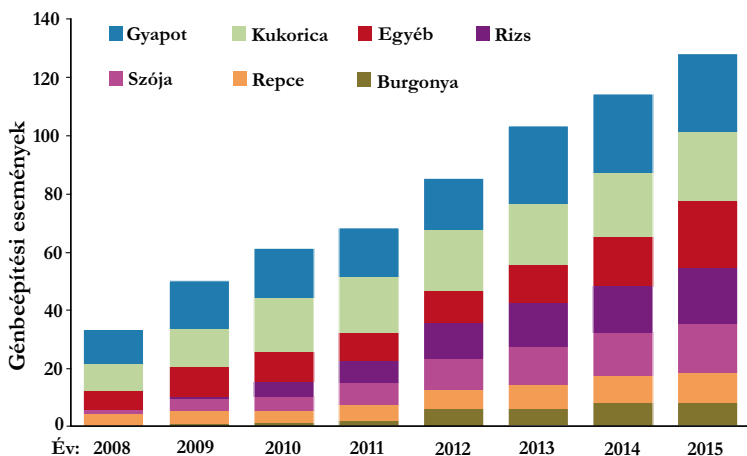
A másik, évtizedes huzavona után engedélyezett GM növény az ún. Amflora burgonya, amelyben a génbeépítés a keményítő szerkezetét alakította át az ipari feldolgozás gazdaságosságának növelése érdekében. Az EU engedélyezés híre döbbenetes hatást váltott ki: a magyar sajtó az antibiotikum-rezisztencia génnel riogatta a közvéleményt, a felelős minisztérium pert indított, holott

a magyar burgonyatermesztők számára ez a fajta érdektelen. A GM burgonya esete világhosszra tette, hogy nincs súlyuk a tudományos tényeknek egy elmérgesedett ideológiai vitában. A hivatalos érvelés a magyar moratórium kapcsán jelentős gazdasági haszonra hivatkozik. Ugyanakkor konkrétumok nem ismertek, pedig a tisztánlátásra nagy szükség lenne (*lásd 14. fejezet*), hiszen a jelenlegi géntechnológia-ellenesség igen súlyos károkat okoz az agrárinnovációban, és hátráltatja a GM növények újabb generációinak termesztésére és a kapcsolódó technológiák használatára történő felkészülést.

### **A géntechnológiával történő nemesítés világtendenciái és a GM növények újabb generációi: hazai fejlesztési példák**

Miközben idehaza minden ellenzői támadás az EU-ban engedélyezett GM növény-párosra koncentrálódik, azalatt folynak a genom programok, és mind több gazdasági növény teljes genetikai információja válik ismertté. Ezzel lényegesen bővülnek a géntechnológiával történő nemesítés lehetőségei. Lenyűgöző az új ismeretek tömege és az előrehaladás a növények csodálatos életének megismerésében (Dudits, 2011; <http://dgci.sote.hu/biolhatteranyag>). Mindez teljesen új dimenzióba helyezi a biotechnológia szerep vállalását a világ és a fenntartható fejlődés problémáinak kezelésében. A megjelenő tudományos közlemények magas arányban használják a génbeépítés módszerét. Nehéz olyan növényi tulajdonságot, funkciót találni, amelyet ne GM növényeken tanulmányoznának. Ilyen gyorsan fejlődő tudományos környezetben nincs semmi rendkívüli abban, hogy az előállított sokféle GM növényt agronómiai szempontokból is minősítik. Az innovációs rendszerek igényei szerint szabadalmazásra kerülnek azok a géntechnológiai megoldások, amelyek újdonságot jelentenek és van potenciális gazdasági értékük. Bár az EU engedélyezési tevékenysége komoly lemaradásban van, mégis sorra jelennek meg a GM növények újabb generációi. Érdekes a kínai kutatások eredményességével és az engedélyezés alatt lévő GM növények sokféleségével számolni, mert az ott alkalmazott GM alapú növénytermesztés globális hatású lehet. A magyar agrárstratégia végiggondolásakor talán fontos lenne figyelembe venni a szakmai előrejelzéseket, és túllépni azon a politikai hozzáálláson, miszerint a géntechnológia jelentőségét hangoztató kutatók a multinacionális cégek lefizetett bérencei: nevetséges, kártékony érvelés. A 7.2. *ábra* Stein és Rodriguez-Cerezo elemzését mutatja a fajonkénti transzgenikus események számát illetően. Látható, hogy a gyapot és a rizs mellett az egyéb növények csoportjába tartozó fajok esetében várható az új génbeépítések számának jelentősebb növekedése. Az 7.1. *táblázat* adatai azt prognosztizálják, hogy 2015-ig változatlanul a rovar- és gyomirtószer-rezisztens növények szerepe lesz meghatározó. Csak lassú bővülés lesz jellemző a minőségi tulajdonságokat érintő genotípusok számában. Az ismert kutatási és fejlesztési irányokat tekintve biztosra vehető olyan GM növények megjelenése, amelyek a hazai növénytermesztés számára is értéket képviselnek. Mindenekelőtt említhetők a kukoricabogár-rezisztens hibridek, hiszen a magyar gazdáknak évente 4 milliárd Ft költséget jelent a kémiai védekezés ez ellen a kártevő ellen.

A szárazságtűrő vagy jobb nitrát- és foszforhasznosítási képességgel rendelkező fajták szerepe elvitathatatlan. Érdeemes analizálni a GM búzák jelentőségének felértékelődését.



7.2. ábra: Az új génkombinációk száma az egyes GM növényfajok esetében, jelenlegi és becslési adatok alapján (Stein és Rodriguez-Cerezo, 2010, Nature Biotechnology, 28: 23)

Tulajdonság	Kereskedelmi forgalomban lévő 2008	Kereskedelmi előkészítés alatt	Engedélyezés alatt	Fejlesztés alatt	Összesen 2015-ig
Rovar-rezisztencia	21	2	11	25	59
Gyomirtó-tolerancia	11	5	4	13	33
Mínőség	2	1	5	12	20
Vírus-rezisztencia	5	0	2	3	10
Abiotikus-stressz-tolerancia	0	0	1	6	7
Egyéb	0	0	2	11	13

7.1. táblázat: Az innovációs folyamat egyes fázisaiban lévő GM növények száma, tulajdonságonkénti felosztásban (Stein és Rodriguez-Cerezo, 2010, Nature Biotechnology, 28: 23)

A versenyképességre világíthatnak rá a zöld biotechnológiai fejlesztésekre történő ráfordítások. Maive Rute most megjelent beszámolója szerint az uniós Keretprogramok (FP) során 2001-től 200 millió eurót költöttek GMO-kutatásra és fejlesztésre. A témákat tekintve megállapítható, hogy elsőbbséget élveztek a kimutatással, a kockázatok becslésével, az egymásmellettséggel (koegzisztencia) foglalkozó témák. Az eredeti GM technológiák kifejlesztése kevés támogatást kapott. Ugyanakkor a 2010-es évben csak a Monsanto cég 1 milliárd dollárt költött ilyen jellegű fejlesztésekre. Kína 2008-ban indította el a „*transzgénikus zöld forradalmat*” 3.5 milliárd dolláros költségvetéssel. Ilyen körülmények között nincs mit csodálkozni az EU versenyhátrányán.

Annak ellenére, hogy az utóbbi években a magyar kormányzatok elutasító álláspontot képviseltek a GM növények termesztésével kapcsolatban, a hazai alapkutatások intenzíven folytak, mint azt a bemutatott publikációs lista is tanúsítja (19. fejezet). A génbeépítés módszereinek kidolgozása, adaptálása több gazdasági növény bevonásával is folyt. Így a korai kezdeményezések közül a kanamicinrezisztencia-gént hordozó lucerna előállítását említhetjük, amely 1986-ban nemzetközileg is új és ezért fontos hazai eredmény volt. A transzformációs fejlesztések sokszor molekuláris biológus és növénynemesítő kollégák együttműködésével folytak. A testi sejtekből történő embriogenezisre és növényregenerációra képes kukorica genotípus kinemesítése (Mórocz Sándor) lehetővé tette herbicidrezisztens kukorica előállítását a Hoechst céggel történt együttműködésben (7.3. ábra).



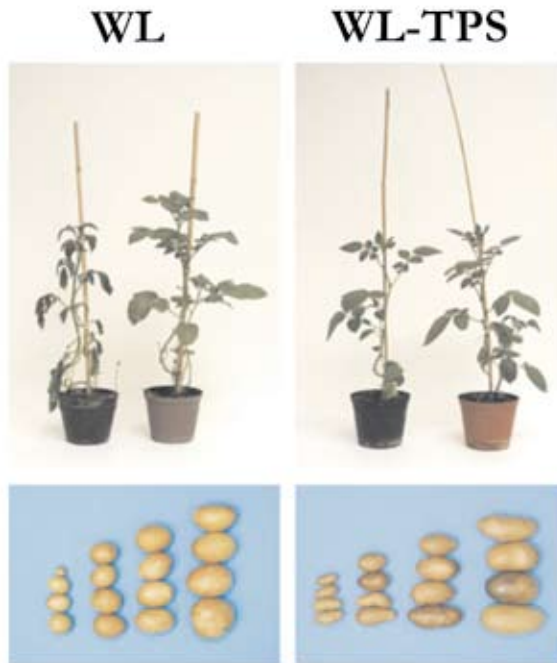
**7.3. ábra:** A foszfinotricin-rezisztenciagénnel transzformált protoplastokból felnevelt kukoricánövény utódai között a gyomirtó szerrel szemben ellenálló (bal oldali) és érzékeny (jobb oldali) növények mendeli öröklődést mutatnak. (Omirulleh és mtsai, 1993, Plant Molecular Biology, 21: 415)

Ez a technológia nemzetközi értékesítésre is került. A Balázs Ervin és munkatársai által létrehozott vírusrezisztens dohányvonalak tünetmentességét a 7. 4. ábrán láthatjuk.



**7.4. ábra: A burgonya Y-vírus köpenyfehérjéjét kifejező dohány transzformánsok (jobb oldali sor) tünetmentesek, míg a kontrollnövényeket (bal oldali sor) súlyosan károsítja a vírushatás (Balázs és mtsai, Mezőgazdasági Biotechnológiai Központ, Gödöllő)**

A magyarországi géntechnológiai kutatások központi problémája a növények stressztűrésének és kórokozó-ellenállóságának javítása. Bánfalvi Zsófia kutatócsoportjában újdonságértékű génbeépítésekkel kísérleteznek a burgonya stressztoleranciájának fokozása érdekében (7.5. ábra). Az akadémiai intézetek együttműködésével, illetve a Mezőgazdasági Biotechnológiai Központban (Jenes Barnabás és Hornok László) állítottak elő baktérium-, illetve gombarezisztens növényeket.

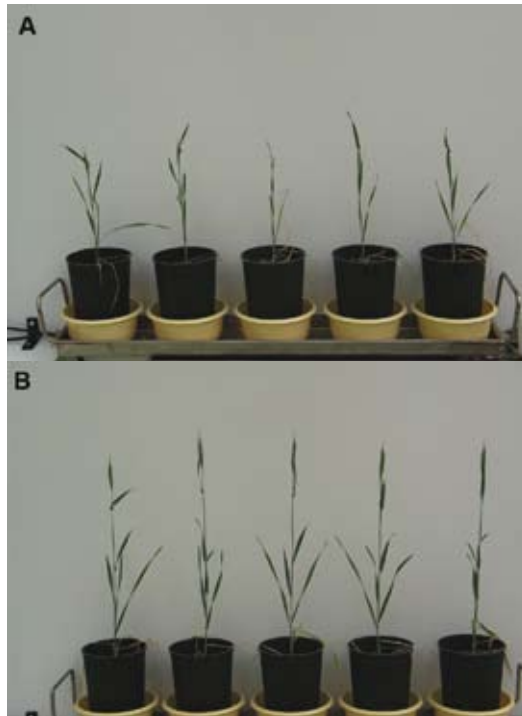


**7.5. ábra: Az élesztő eredetű trehalóz foszfát szintáz gén kifejeztetése szárazság-indukált promóterrel fokozta a burgonyanövények szárazság-stressz-tűrését** (Stiller és mtsai, 2008, *Planta*, 227: 299) **WL** vad típusú; **WL-TPS** transzformáns növények: vízmegvonás után (bal oldali növények), öntözött (jobb oldali növények)

A magyar búzanemesítők sikerét mutatja, hogy a hazai búza vetésterület 70–80%-án magyar fajták kerülnek elvetésre. Mind a martonvásári, mind a szegedi nemesítők fel kívánnak készülni az újgenerációs fajták előállítására, ezért intenzív kutatások folynak a molekuláris rezisztencianemesítés terén. Szegeden állították elő a 7.6. ábrán látható GM búzanövényeket, amelyek vízhiány esetén egy méregtelenítő enzim túltermeltetése révén kevésbé károsodnak. Az idézett példák meggyőzően demonstrálják a Magyarországon folyó géntechnológiai kutatások sikerességét. Ahhoz, hogy az így előállított tenyésanyagok felhasználásra kerülhessenek az aktuális nemesítési programokban, szükséges lenne a szabadföldi kísérletek kiterjesztését akadályozó adminisztrációs gátak felszámolására. Magyarország növény-nemesítési és géntechnológiai hagyományai szilárd alapot jelenthetnek ahhoz, hogy aktív szereplőként támogassák a növény-termesztési technológiák új generációinak bevezetését. Tekintettel a világban folyó kutatási és fejlesztési folyamatok eredményeként kialakuló



új mezőgazdasági technológiákra, elképzelhetetlen, hogy a magyar gazdatársadalom innovációs hátránya hosszabb ideig fennmaradjon. A hazai kis- és nagygazdaságok versenyképességéhez szükséges a szabad fajtaválasztás lehetősége, különösen akkor, ha a szomszédos országokban nem lesz akadálya a GM fajták termesztésének.



7.6. ábra: A lucerna méregtelenítő gén kifejeztetése búzában növelte a szárazságtűrő képességet. (Pauk és mtsai, Gabona-kutató Non-Profit Közhasznú Kft., MTA Szegedi Biológiai Kutatóközpont, Szeged) **A:** kontrollnövények és **B:** GM növények 20%-os talajnedvesség esetén

## 8. A génmódosított háziállatok jelene és perspektívái

BŐSZE ZSUZSANNA ÉS HIRIPI LÁSZLÓ

Az ENSZ Élelmezési és Mezőgazdasági Szervezetének 2009-es csúcstalálkozóján megállapították, hogy 2050-ig a mezőgazdaság teljesítményét 70 %-al kell emelni ahhoz, hogy az emberiség akkori 9 milliárdos népességét táplálni lehessen, ezt a változást azonban azonos, esetleg kisebb termőterületen kell elérni (FAO 2009, <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/Meeting/018/k6050e.pdf>).

A népesség növekedésével, a városiasodással és az emelkedő életszínvonal vágyával párhuzamosan az állati eredetű nyersanyagok iránti igény folyamatosan nő. Csekély a valószínűsége, hogy már középtávon a vegetáriánus táplálkozás sokkal gyakoribb és elfogadottabb lesz, így nem szerencsés az élelmezési stratégiát a táplálkozás önkéntes vagy javasolt megváltoztatására építeni. Az elmúlt ötven évben, egységnyi termékre vetítve, az állattenyésztéshez köthető üvegházhatás és globális felmelegedés csökkent. Az elért eredmények nagy részben köthetőek azokhoz a kvantitatív genetikai kutatásokhoz, melyek feltárták az utódokban rejlő genetikai lehetőséget (Hume és mtsai, *Journal of Agricultural Science*, 2010, in press).

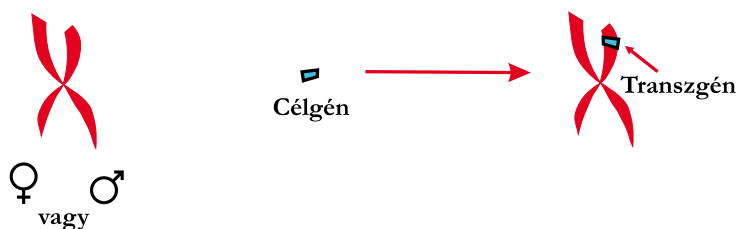
A legfrissebb háziállat-genomikai programok forradalmasították a tenyésztési programokat, és új genetikai alapokra, a genomi szelekcióra helyezték azt. Az utódok DNS-diagnosztika alapján történő tenyészértékbecslése nyilvánvalóan kevésbé pontos, mint a teljesítményvizsgálatok, de a generációs idő rövidülése ezt bőven kompenzálja. Azonban ennek a módszernek is vannak korlátai, hiszen csak meglévő genetikai variációkra alapozhat. Ha egy bizonyos tulajdonság, például betegségrezisztencia, nincs meg a populációban, akkor nem lehet szelekciós programot alapozni rá.

A gének tulajdonságra gyakorolt hatása nem egyenlő. Általánosságban elmondható, hogy „nagy hatású” gének esetén a genetikai módosítást érdemes művelni, míg a hagyományos szelekciós eljárásokat az adott tulajdonságot meghatározó gének összességére érdemes alkalmazni, beleértve a “kis hatású” géneket is. Az *8.1. ábra* sematikususan mutatja be a genetikai szelekciónak és a transzgenezisnek az egyed teljes génkészletére gyakorolt hatását. Ezért fontos egyrészt a háziállatok biodiverzitásának megőrzése (NEXTGEN; Európai VII. Framework), másfelől hangsúlyossá válik a transzgenikus technológia alkalmazása az olyan tulajdonságok kialakításában, melyek az adott fajban hagyományos szelekcióval nem, csak a fajok közötti korlátok áttörésével valósíthatók meg. Az egyik úttörő a PEGASUS program (Európai VII. Framework), melynek célja, hogy feltárja a közösség véleményét a genetikailag módosított állatok tudományos szerepéről, felhasználásukról és társadalmi hatásáról Európa-szerte.

### Hagyományos nemesítés



### Transzgenezis



**8.1. ábra A genomikus szelekció és transzgenezis teljes genomra gyakorolt hatásának összehasonlítása** (Houdebine és Jolivet után, 2011, Trends in Food Science & Technology, in press)

A hagyományos tenyésztés az apai és anyai kromoszómák közötti rekombinációra és a szülői gének véletlenszerű eloszlására épít. A transzgénikus technika lehetőséget ad ismert, és potenciálisan hasznos gének egy generáción belül történő bevitelére.

A transzgénikus technológia eredeti alkalmazása a gének funkcionális vizsgálatát teszi lehetővé egérben, de korán kiderült, hogy ha a technológiát kiterjesztik a háziállatokra, akkor annak azonnali felhasználási területei nyílnak mind a mezőgazdaságban, mind az orvosi kutatásban. Ez az elmúlt években be is bizonyosodott. A háziállatok genetikai-géntechnológiai kutatása azonban nagyon drága. Emiatt az elmúlt 20 évben ez a terület alulfinanszírozott volt, holott önmagában az ipari befektetések egyelőre nem tarthatják el.

A nagyobb gazdasági lehetőségek, etikai és magasabb társadalmi elfogadottság miatt a transzgénikus (GM) háziállatok orvosbiológiai alkalmazása a legeredményesebb. A legfontosabb alkalmazások a következők: (1) biofarming (élő bioreaktorok) gyógyászatiilag fontos fehérjék termeltetésére, (2) xenotranszplantáció, állati szervdonorok alkalmazása emberi szervátültetések során, (3) háziállatok felhasználása emberi betegségek modellezésére.

A mezőgazdasági alkalmazások legfontosabb elemei: (1) a termékelőállítás hatékonyságának növelése, (2) az állati egészség és jólét fokozása, (3) az élelmi-szerbiztonság- és minőség javítása, (4) az ökológiai lábnyom csökkentése.

## Orvosbiológiai alkalmazások

A rekombináns (biotechnológiai úton előállított) fehérjék termeltetéséről transzgenikus állatok tejében sok ismeret gyűlt össze húsz év alatt.

A technikai fejlődés mellett jelentős előrelépés tapasztalható a piacra kerülés vonatkozásában is. 2009-ben az Egyesült Államok élelmiszer- és gyógyszerbiztonsági hivatala (FDA) engedélyezte az első genetikailag módosított állat által termelt rekombináns fehérjét, ATryn néven (emberi antitrombin III), egy ritka véralvadási zavar kezelésére (<http://www.fda.gov/News-Events/Newsroom/PressAnnouncements/2009/ucm109074.htm>).

Az öröklődő antitrombinhiányban szenvedő betegek nagy kockázatnak vannak kitéve műtétek és szülés esetén, mivel könnyen trombózis alakulhat ki náluk. Az ATryn olyan gyógyhatású fehérje, melyet transzgenikus kecskék tejéből tisztítanak a GTC Biotherapeutics cégnél. Egyéb – transzgenikus szarvasmarhák, kecskék vagy nyulak tejében termelhető – gyógyhatású fehérjék megjelenése is várható, mivel ezek is elérték a klinikai kísérletek különböző fázisait. Az EU tagállamaiban összességében is kevés cég alapozza tevékenységét transzgenikus állatokhoz kötődő szabadalmaztatott eljárásra. Ezen kevés sikeres cég egyike a holland Pharming Group NV, amely 2010-ben elnyerte a legjobb biotechnológiai cég díját a New York-i technológiai világkiállításon. A díjat egy “életminőségjavító” gyógyszermolekula transzgenikus állatokban történő termeltetéséért kapta. Vezető termékük, a Ruconest terápiás alkalmazását öröklődő angioödémás megbetegedéseknél Európában is engedélyezték. A Ruconest transzgenikus nyulak tejében termelt hatóanyag. Ez a második rekombináns fehérje, melyet transzgenikus háziállat termel, és már elérhető a piacon.

Magyarországon is kevesen foglalkoznak ezzel a szakterülettel. Az ImmunoGenes Kft. ([www.immunogenes.com](http://www.immunogenes.com)) – az ELTE, valamint a Mezőgazdasági Biotechnológiai Kutatóközpont közös spin-off vállalkozása – 2007-ben alakult. A vállalkozás egy szabadalmaztatott technológia alapján kezdte meg működését. Lényege, hogy egy speciális receptort túltermeltetnek transzgenikus állatokban, melynek eredménye hatékonyabb immunválasz lesz. A genetikailag módosított nyulak és egerek ellenanyag-termelő képessége fokozódik, ezért alkalmasak nagy mennyiségű, ugyanakkor jó minőségű ún. poliklonális és monoklonális ellenanyagok termeltetésére. Ez nemcsak költségcsökkenést és időmegtakarítást, hanem a termelésben használt állatok számának csökkentését, ezáltal állatvédelmi célokat is szolgál. Az ImmunoGenes 2009-ben az újonnan létrehozott európai vállalkozások megmérettetésében dobogós helyezést ért el. Az MTA Szegedi Biológiai Kutatóközpont Kromoszóma és Sejt Kutató Témacsoportja emlős szatellita DNS-ből mesterséges minikromoszómákat állított elő, melyek technológiai platformot teremtenek biztonságos génszabályozási eljárásokhoz, illetve biofarming típusú kísérletekhez, háziállatokban is (Duncan és Hadlaczky, 2007, *Current Opinion in Biotechnology*, 18: 420).

A háziszárnyasok tojásában termelt rekombináns fehérjék hosszabb távon reális alternatívái az emlősállatok tejében történő termelésnek. A tojásban nagy mennyiségben, tisztán és olcsón termelhetünk rekombináns

fehérjéket. Az előállítási költség ez esetben kevesebb mint tizede/százada is lehet a nagyemlősökben tapasztalhatónak. Kutatási stádiumban jelenleg ellenanyagokat, illetve emberi interferont termelnek transzgenikus tojásban. A biofarming irányzatba olyan egzotikus háziállatok is belépnek, mint a selyemhernyó. A hernyó a kokon képzésekor szintén olcsón és nagy tisztasággal termelhet fehérjéket.

Sajnos azonban ez a terület, nevezetesen a biotechnológiai úton előállított fehérjék termeltetése GM háziállatokkal is lassabban fejlődik, mint amekkora potenciát magában hordoz. A gyógyszergyárak hozzáállását a GM élőlények körül kialakult negatív kép mellett az is befolyásolhatja, hogy jelentős profitot termelhetnek sejtenyészetben alapuló technológiával, melyet vonakodnak kiváltani egy olcsóbb és hatékonyabb módszerrel.

### **Xenotranszplantáció**

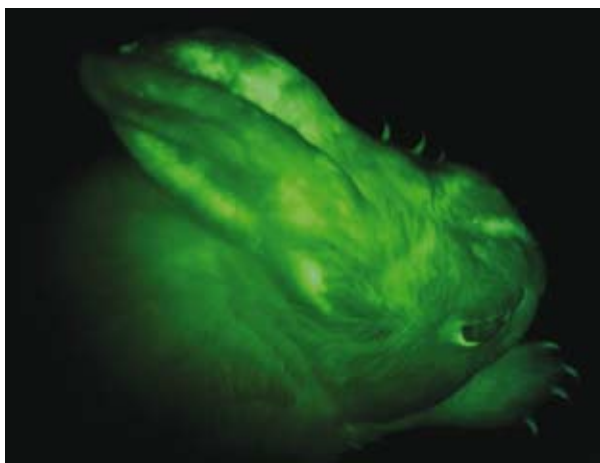
A szervdonorok hiánya jelentős probléma azon betegek számára, akiknek az életét csak szervátültetés mentheti meg. Az elöregedő nyugati társadalmakban minden erőfeszítés ellenére nő a donorlisták hossza. Az alternatívák közé tartozik az összejt terápiára alapozó transzplantáció, illetve a más fajokból történő szervátültetés, a xenotranszplantáció. Jelenleg a sertések tűnnek a leginkább alkalmas donoroknak. A fajok közötti betegségek átvitelének lehetősége ez esetben csekély, mivel származástaniilag viszonylag távol állnak az embertől. Könnyen hozzáférhető faj, szervei anatómiája és mérete hasonló elrendezésű, és új fertőzőes betegségek megjelenése sem valószínű, mivel házasításuk óta szoroson együtt élnek az emberrel. A jelenleg folyó kísérletekbe GM sertéseket használnak donorként, illetve páviánokat mint befogadó emberi modellszervezeteket. A legnagyobb gát a sertés-főemlős xenotranszplantáció során a beültetett szerv kilökődése, melyet a szervezet védekezése során létrejövő sorozatos válaszreakciók okoznak. Ezek különböző szakaszokra oszthatóak: hiperakut kilökődés (HAR), akut humorális kilökődés (AHXR), immunsejtek által közvetített kilökődés és krónikus kilökődés. Különböző stratégiákat alakítottak ki, amelyekkel a transzgenikus sertések alkalmasak lehetnek a szervdonor feladatra. Európában egy maroknyi kutató foglalkozik a kutatási területtel, köztük H. Niemann és kollégái Marienseeben, Németországban a "Farmgenetikai Kutatóintézetben". A GM stratégiáknak közös sajátossága, hogy az adott "védelmi funkciót" hordozó faktort nagy mennyiségben kell termeltetni, de szigorúan sejt-, illetve szövetspecifikusan. A következő kihívás a leghatékonyabb transzgenikus eljárások kombinálása, létrehozva egy "multitranszgenikus" sertést, mely alkalmas a klinikai vizsgálatok elvégzésére. Ezeknek a GM sertéseknek az előállítása jelenleg kutatási-fejlesztési fázisban van, de öt éven belül elkezdődhetnek a klinikai vizsgálatok.

## Háziállatok mint az emberi betegségek modelljei

A genomikai ismeretek bővülésével a sertés mint a humán betegségek modellállata – különösen idegrendszeri betegségek esetében – egyre fontosabbá válik. A sertésagyhoz kapcsolódó anatómiai, neurokémiai ismeretek jelentősen bővültek az elmúlt években. A sertésagy anatómiailag és fejlődésében közelebb áll az emberhez, mint a kutatásban korábban használt rágcsálók agya. A sertésagy mérete lehetővé teszi az agykéreg és a kéreg alatti struktúrák könnyű azonosítását, elemzését. Egy dán kutatócsoportnak az Aarhusi Egyetemen sikerült létrehozni az Alzheimer-kór modell GM minisertést (Kragh és mtsai, 2009, *Transgenic Research*, 18: 545).

A nyulat amellet, hogy háziállat, kísérleti állatként is használják. Bizonyos biológiai folyamatoknak sokkal jobb modellje, mint a rágcsálók. A korai magzatfejlődés, a magzati fejlődés hosszú távú egészségügyi hatásai, komplex betegségek (a cukorbetegség, magas vérnyomás, érelmeszesedés, kövérség) jobban tanulmányozhatók nyúlban. A zöld jelzőgént kifejező GM nyulak lehetővé teszik szövetek és sejtek *in vivo* morfológiai vizsgálatát (8.2. ábra.)

Hasonló okok miatt a szív elektrofiziológiájához és a szívmegegyesítéshez köthető nyúlmodellek különösen hasznosnak bizonyultak a betegségmegelőzésben, illetve gyógyszer hatásvizsgálatokban is (Senthil és mtsai, 2005, *Circulation Research*, 97: 285; Bentzen és mtsai, 2010, *Journal of Cardiovascular Pharmacology*, Nov 26. Epub ahead of print).



8.2. ábra: Zöld jelzőgént kifejező transzgénikus nyúl (Hiripi és mtsai, 2010, *Transgenic Research*, 19: 799)

## Mezőgazdasági alkalmazások

### *A termék-előállítás hatékonyságának növelése*

A háziállatok termelékenységeinek fokozása közelít ahhoz az elméletileg megjósolható határhoz, melyet az adott genetikai sokféleség határoz meg, és amelyet a hagyományos tenyésztés során folyamatosan próbálnak elérni. Az elmúlt időszakra jellemző genetikai előrehaladás gyors üteme hosszú távon nem tartható fent, valószínűbb, hogy hosszú távon elfogadott lesz a GM állatok felhasználása termék-előállításra. Közel 15 évnyi kutatást követően a GM lazac, mely egy másik lazacfajból (chinook) származó növekedési hormont termel, közel került a piacra kerüléshez, habár jelentős ellenállás tapasztalható ellene a környezetvédők részéről. Az Egyesült Államok eseti bizottságai jelenleg a környezeti és etikai problémák megfontolásán és elhárításán dolgoznak, és úgy tűnik, nincs messze a megállapodás ([www.fda.gov/News-Events/Public-HealthFocus/ucm224089.htm](http://www.fda.gov/News-Events/Public-HealthFocus/ucm224089.htm)).

### *Az állati egészség és jólét fokozása*

Az USA-ban létrehoztak egy olyan GM szarvasmarhát, mely tejében az antibakteriális hatású lysotaphin fehérjét termeli. Ezek az állatok rezisztensek a *Staphylococcus* által okozott tőgygyulladással szemben. Ez a genetikai módosítás a tejelő szarvasmarhák millióinak javíthatja a jólétét, nem beszélve a betegség által okozott, csak az USA-ban évi 2 milliárd dolláros, bevételkiesésről. Az állattenyésztési alkalmazásokat szűkíti a transzgén elterjesztésének időbeli korlátja, mely az állatoknál mesterséges termékenyítést feltételezve is lassú. A másik problémát a technika társadalmi elfogadhatósága jelenti, amely a potenciális tenyésztőket elriasztja.

Ahhoz, hogy a GM stratégia elfogadható legyen a betegségmegelőzésben, az árelőny arányait tekintve versenyképesnek kell lennie a hagyományos vakcinázási és egyéb intézkedésekkel szemben. Jelenleg a betegségek körülbelül felére nincs hatékony kezelés az állattenyésztésben. Még azon betegségek esetében is, melyekre létezik kezelés, számos szempontot figyelembe kell venni: például az olyan vírustörzsek, melyekkel szemben nem véd a meglévő vakcina, vagy az antibiotikumok állattenyésztésben történő alkalmazásának globális problémái (Wall és mtsai, 2009, *CAST Issue paper 43, Animal Agriculture's Future through Biotechnology, Part 8*).

A transzgenezis olyan új betegségmegelőzési stratégiákat is ígér sertésben, szarvasmarhában, lovakban és csirkében, mint az RNS-interferencia felhasználása vírus okozta betegségek megelőzésére (száj- és körömfájás), a sertések reprodukciós és légzőszervi szindrómája, madárinfluenza (Long és mtsai, 2010, *Reproduction, Fertility and Development*, 22: 47). Igazi áttörést jelentett egy 2011 januárjában megjelent közlemény, melyet a Roslin Intézet és a Cambridge-i Egyetem kutatói hoztak nyilvánosságra. Olyan

transzgénikus csirkéket állítottak elő RNS interferencia segítségével, melyek – bár fertőzhetők a madárinfluenza vírusával – még az azonos ketrechen tartott fajtársaiknak sem adják azt tovább (Lyll és mtsai, 2011, *Science*, 333: 221).

A biztató eredmények ellenére, további vizsgálatok szükségesek annak eldöntésére, hogy nincsenek-e káros mellékhatásai a transzgennek, és hogy biztonságos-e az ilyen szárnyasok fogyasztása.

### ***Az élelmiszer-biztonság és -minőség javítása***

A jelenlegi termék-előállítási paletta biztonságos és táplálkozási szempontból jó minőségű árut képes létrehozni, de van helye további fejlesztéseknek.

A “funkcionális” élelmiszerek mennyisége folyamatosan nő a nyugati világban. A tej nagyon fontos táplálékunk, ezért antimikrobiális tulajdonságokkal felvértezve kívánatos lehet a fogyasztóknak. Az USA-ban olyan GM kecskéket hoztak létre, melyek az antibakteriális hatású lizozimot termelik a tejükben (Maga és mtsai, 2006, *Journal of Dairy Science*, 89: 518.). Sertésekkel itatva e kecskéek tejét (emberi táplálkozási modellként) nagyon kedvező hatást sikerült a bélflórájukban elérni. Ez a tej szobahőmérsékleten is két napig tartható, ami a fejlődő országok esetében nagyon előnyös lehet (Wall és mtsai, 2009, *CAST Issue paper 43, Animal Agriculture's Future through Biotechnology, Part 8*).

Új-Zélandon GM szarvasmarhákat állítottak elő, melyek a kazein tejfehérjét nagyobb mennyiségben termelik, mint fajtársaik. Az ebből a tejből előállított sajt esszenciális aminosavakból és bioaktív peptidekből sokkal többet tartalmaz, mint a normál tej. Egy kaliforniai kutatócsoport pedig olyan GM kecskéket hozott létre, melyek tejükben egy, az egyszerűen telített zsírsavak arányát megemelő enzimet termelnek. Az ilyen tej fogyasztása a szív- és érrendszeri problémák megelőzésének hasznos kiegészítője lehet a jövőben. Magyarországon a Mezőgazdasági Biotechnológiai Kutatóközpontban olyan transzgénikus nyúlmodell készült, amely példát mutat arra, hogy egy célzott fogyasztói csoport – a fenilketonúriában szenvedő betegek – számára ily módon lehetne előállítani tejterméket. Ezek a betegek nem képesek a fenilalanin aminosavat lebontani, így speciális, alacsony fenilalanin-tartalmú – állati-fehérje-mentes – diétán kell éljenek. Ebben az esetben alacsony fenilalanin-tartalmú kappa kazeint termeltek a GM nyulak tejében, melyből a speciális állati fehérjét egy egyszerű tisztítási lépéssel lehetett kinyerni (Laible, 2009, *Comparative Immunology, Microbiology & Infectious Diseases*, 32: 123). Élelmiszer-biztonsági okok indokolták a szarvasmarha szivacsos agyosorvadásában szerepet játszó fehérjétől mentes GM szarvasmarhák és kecskéek létrehozását is. Ezek az állatok rezisztensek az emberre is veszélyes prion betegséggel szemben. A helyzetet ebben az esetben is bonyolítja, hogy ezeket az állatokat klónozással hozták létre, melynek megítélése még inkább vitatott.



### **Az ökológiai lábnyom csökkentése**

A háziállatok transzgenezise hozzájárulhat a fenntartható mezőgazdaság megalapozásához, különös tekintettel a környezetterhelés csökkentésére, valamint a táplálékforrások jobb elosztására. Kanadában a Guelph-i Egyetemen olyan transzgenikus sertéseket hoztak létre, melyek csökkentik az intenzív sertésenyésztés során képződő környezeti terhelést. A GM sertések nyálmirigyében termelődő fitáz enzim lehetővé teszi, hogy megemészt-hessék a takarmányban található foszfortartalmú fitátot. Az enzim hiányában a fitát az emésztőrendszeren áthaladva a trágyába ürül, ezzel súlyos környezeti károkat okozva. Ez a genetikai módosítás 30–60%-al csökkenti a környezet ez irányú foszforterhelését, hozzájárulva a felszíni vizek eutrofizálódásának csökkenéséhez (Golovan és mtsai, 2001. *Nature Biotechnology*, 19:741). 2010-ben Kanada szabályozott kísérleti körülmények között engedélyezte az „Enviropig” tenyésztését, de még évekbe telik, mire ennek a GM sertésnek a húsa piacra kerülhet (8.3. ábra).



**8.3. ábra: Az „Enviropig™” Cassie transzgenikus vonalának nőstény egyedei.** Cecil Forsberg professzor (University of Guelph, Canada) felvétele és szívessége alapján

Ökotoxikológiai igények hozták létre azokat a transzgenikus halfajtákat, melyek környezeti stressz hatására jelzőfehérjét kezdenek termelni.

Ez általában a mélytengeri medúzákából származó zölden fluoreszkáló fehérje. Létezik általános stresszre érzékenyen reagáló, de specifikusan nehézfém-szennyezést vagy aromás vegyületeket jelző transzgenikus halfajta is. Magyarországon a Szent István Egyetem Halgazdálkodási Tanszéke végez ilyen irányú vizsgálatokat.

## **Vitatható alkalmazások**

Mint minden új technológia, a transzgénikus technológia is felhasználható olyan célra is, mely a társadalom szélesebb rétegeinek etikai, állatjóléti, világnézeti értékeit sérti. Gyakran fontos tudományos kérdések megválaszolásához hoznak létre egy GM állatmodellt, mely azután önálló üzleti életre lép, melyet a tudományos közösség egésze vagy egy része nem tekint teljesen tisztességesnek.

A világító fehérjének különböző színváltozatai ismertek. Létrehoztak olyan transzgénikus zebradániókat, melyek akváriumi fényben fluoreszkálnak. Az állatok megvásárolhatók és otthon tarthatók. Hasonló megfontolásokkal indított kutatások folynak olyan GM háziállatokért (kutyák, macskák), melyek nem okoznak érzékeny gazdáiknak allergiás reakciókat. Az ipar is használ megkérdőjelezhető státusszal rendelkező állatokat, így például GM kecskéket hoztak létre alapkutatói céllal, melyek tejükben pókselymet termelnek. Ez az anyag igen ellenálló, ugyanakkor rendkívül rugalmas. A kutatás ipari projektté nőhet, és Forma 1-es autók alkatrészeit, valamint golyóálló mellényeket kívánnak az így nyert anyagból gyártani. Hasonló utat járt be az a GM kecske is, amely a szerves foszfátokat hatástalanítani képes enzimet termel. Eredetileg mérgezések gyógyítására hozták létre, ami hasznos irány, utóbb azonban a katonai vegyi védekezésben játszhat szerepet, mivel bizonyos ideggázok szintén szerves foszfát alapúak. Ez utóbbi alkalmazás is sok vitát váltott ki. A fenti példák is jelzik, hogy igenis szükség van az alkalmazott területek széles körű társadalmi vitájára a GM haszonállatok létrehozásakor.

## **Összegzés**

A humán gyógyászatban hasznosuló GM háziállatok által termelt rekombináns fehérjék piacra kerültek, és egyre több ilyen termék megjelenése várható az elkövetkezendő években. A humán betegségmodell háziállatok, valamint a xenotranszplantációra alkalmas donor állatok előállítására is folyamatosan növekedő tendenciát mutat. Másrészt különösen az EU-ban erős társadalompolitikai és gazdasági gátakat kell még átvágni, mielőtt bizonyos biotechnológiai megoldások megjelenhetnek a fogyasztásra szánt állati eredetű termékek skáláján. Mindenképpen érdemes emlékeztetünkbe idézni, hogy a mesterséges termékenyítés, amely ma már széleskörűen elfogadott mind a humán gyógyászatban, mind az állattenyésztésben, legelső alkalmazásai idején sokak által súlyosan kifogásolt technológia volt.

## 9. Genetikailag módosított takarmánynövények

GUNDEL JÁNOS

A tudományos életben hosszú évek óta vizsgálják, hogy a biotechnológiai lehetőségeket hogyan és hol célszerű alkalmazni elsősorban a takarmánybázis növelése érdekében, szem előtt tartva, hogy a beavatkozás ne járjon esetleg az életminőség romlásával, környezetterheléssel/-szennyezéssel vagy más káros tünetekkel. A takarmánybázis növelésével egy időben ugyanis a takarmányok minőségét, a táplálóanyag-tartalmat növelni, összetételét javítani kell. Ennek érdekében olyan genetikai eljárásokat dolgoztak ki, amelyek lehetővé teszik, hogy az adott élő szervezet génállományába (baktérium, növény, állat, netán ember) idegen géneket ültessenek be, amelyek elindítják a kódolt anyag szintézisét. A génstruktúra módosításával különböző hatások erősíthetők vagy alakíthatók át a különböző takarmánynövényekben is, például fokozható a vírusokkal, baktériumokkal és parazitákkal szembeni rezisztencia, gyorsítható, lassítható, módosítható az érési folyamat, az összetevők mennyisége és/vagy aránya stb.

A világ népességének (állati eredetű) élelmiszerral való ellátása mind a mennyiségi, mind pedig a minőség iránti igény növekedése miatt, napjaink egyik égető problémája. Ezért szükségessé vált olyan technológiák alkalmazása, melyek fenntartható módon biztosítják, a környezetvédelem messzemenő figyelembevételével, a különböző élelmiszerek előállítását. A korábbi génmódosítási lehetőségek, a keresztezés, a szelekció vagy a mutációs nemesítés, már az 1980-as években kiegészültek a géntechnológiával.

Érdekes tény, hogy míg a géntechnológiával foglalkozó publikációk és a mögöttük álló alap- és alkalmazott kutatások száma az elmúlt 30 évben Nyugat-Európában volt több, addig a GM (takarmány) növények termesztése kontinensünkön, Amerikához viszonyítva, sokkal kevésbé jelentős.

Amennyiben kizárólag a takarmányozással összefüggő génmódosítási tevékenységeket és eredményeket akarjuk áttekinteni, akkor három nagyobb tudományterület különíthető el: a mikrobiológia, a növénygenetika, valamint újabban az állatgenetika is, ami célul tűzte ki olyan transzgenikus vonalakat (fajtákat) előállítását (például növényi gének beültetésével), melyek bizonyos takarmányozási módszereket alapvetően befolyásolnak, esetenként megváltoztatnak.

A tudományos eredmények megjelenése a takarmányozás, illetve az élelmiszer-előállítás gyakorlatában szintén három területre osztható. Az első az új takarmánynövény-fajták (mindenekelőtt a szója és a kukorica, de a búza, a repce, a cukorrépa és a burgonya is), a második a takarmány-kiegészítők (például az enzimek) és a harmadik a gyógyszerek csoportja. Az utóbbi kettővel nem ebben a cikkben foglalkozunk, mert azok teljesen más szabályozás alá tartozó területek, jóllehet közéjük tartoznak például a különböző növekedéshormonok (BST, PST), illetve többek között a géntechnológia felhasználásával előállított antibiotikumok (és egyéb gyógy-szerek), vagy az azokat

helyettesíteni képes újabb készítmények, melyek jelentősége a takarmányozás és azon keresztül az élelmiszertermelés (benne az élelmiszer-biztonság) szempontjából rendkívül nagy.

Tény, hogy a GM takarmányok megítélését és elfogadottságát befolyásolja a biológiai, biotechnológiai ismeretek mértéke, és a megfelelő tájékozottság. A fogyasztók ebben az esetben sem kapnak elegendő és megfelelő formában feldolgozott, közérthető információt. A tudományterület fejlődése sokkal gyorsabb, mint a fogyasztók, vagy sok esetben akár a szakemberek ismereteinek bővülése.

Európában az állatiermék előállításának és az ezeket feldolgozó iparnak jövőbeni versenyképessége a növénygenomikán, a biotechnológián és azok ötletes alkalmazásán fog múlni. A klímaváltozás káros következményeinek megelőzésében, a hatások mérséklésében, és a megújuló energiaforrások biztosításában a GM takarmánynövények szerepe felértékelődik. A Magyarországon jelenleg érvényes törvényi szabályozás, a GM fajták természetének korlátozásával (tiltásával), komoly versenyképességi hátrányt jelent a magyar gazdák számára. A hazai szakértők nagy többségének véleménye szerint alkalmazkodnunk kell az uniós gyakorlathoz a jogi keretek megváltoztatásával is, mivel nincs megalapozott tudományos, környezetvédelmi, és gazdasági indoka annak, hogy a magyar termesztoket megfosszuk a GM takarmánynövények használatával biztosított gazdasági előnyöktől.

Egyes vélemények szerint, a GM növények termesztése már 2007-ben körülbelül évi 12%-kal növekedett, és esetenként az összes vetésterületnek akár a 90%-át is elérte. Ez a növekedés az utóbbi 10 évben folyamatos és semmi jele annak, hogy rövid távon befejeződik. Az EU ezekből a takarmányokból nagyon sokat importál, elsősorban szóját és kukoricát. A GMO-k engedélyezésének folyamata az Egyesült Államokban körülbelül 15, míg az EU-ban körülbelül 30 hónapot vesz igénybe, ami az európai élelmiszer- és takarmányellátást nagymértékben veszélyezteti. Amennyiben az engedélyezési eljárás nem fog változni az EU-ban (a null tolerancia érvényben marad), akkor szakértők szerint drámaiak lesznek a következmények, a baromfiágazatban 44%, a sertéságazatban 35% lehet a veszteség: nincs ugyanis gyakorlati alternatívája a 35 millió tonna szója importjának.

A GM növények első generációjába olyan fajok és fajták tartoznak, amelyek a takarmányozás és/vagy az élelmezés szempontjából világviszonylatban is elsődleges helyet foglalnak el: a szója, a kukorica, a repce, és a gyapot. Ezeket a növényeket a peszticidek és herbicidek használatát teljes mértékben vagy részben helyettesítő képesség, esetleg rovarkártevők elleni védekezés jellemzi.

A GM növények második generációjában már a számunkra fontos táplálóanyag-tartalmakban, azok összetételében (például aminosav, zsírsav, vitaminok), a táplálóanyagok jobb értékesülésében, esetleg a káros anyagok (lignin, fitin, allergén anyagok) csökkentésében következik be változás.

Az első generációs GM növényekkel végzett kísérletek szerint az izogenikus és a génmódosított, de azonos területen termesztett takarmánynövények táplálóanyag-összetétele alig mutat eltérést (9.1. táblázat)

## 9. Genetikailag módosított takarmánynövények

Összetétel	Kukorica		Kukorica		Cukorrépa	
	Izogén	Rovarkártevő-rezisztens	Izogén	Gyomirtó-toleráns	Izogén	Gyomirtó-toleráns
Táplálóanyagok, g/kg szárazanyag						
Nyers fehérje	108	98	120	119	72	60
Nyers zsír	54	56	31	35	3	4
Nyers rost	23	25	34	30	56	46
Nyers hamu	15	16	19	18	30	30
N-mentes kivonható anyagok	800	805	796	798	839	860
Keményítő	710	708	692	701	n.a.	n.a.
Cukor	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	736	744
Aminosavak, g/kg szárazanyag						
Lizin	2,9	3,0	3,3	3,2	n.a.	n.a.
Metionin	2,2	2,1	2,6	2,5	n.a.	n.a.
Zsírsavak, az összes zsírsav %-ban						
Palmitinsav	12,4	12,5	11,5	11,8	n.a.	n.a.
Olajsav	31,1	28,6	27,7	27,4	n.a.	n.a.
Linolénsav	50,0	51,2	57,0	56,3	n.a.	n.a.

n.a. = nincs adat

### 9.1. táblázat: Izogén és transzgenikus rovarrezisztens (Bt), gyomirtó-toleráns (PAT) kukorica és cukorrépa táplálóanyag-összetétele (szakirodalmi adatok alapján)

Amerikai kutatók génmódosított (RR) és kontroll szemes-, valamint silókukoricát vizsgáltak két egymást követő évben, megállapítva, hogy a két év közötti eltérés nagyobb, mint a módosításból származó különbség. A második évben, a GM módosítástól függetlenül, több volt a szemes kukorica fehérje-, Ca- és P-tartalma. Ezek az adatok, a szerzők egyértelmű véleménye szerint bizonyítják, hogy a genetikai módosítás és a táplálóanyag-tartalom között nincs összefüggés.

A Bt kukoricában a kukoricamoly kártételének a csökkenésén kívül, a fuzáriumfertőzés (ezzel a fuzáriumtoxinok termelődésének) veszélye is kisebb, ami a takarmányozás hatékonyságának növelését eredményezheti. Olasz kutatók választott malacokkal beállított kísérletükben azonos körülmények között termesztett izogénikus és Bt kukoricát etettek. Az izogénikus kukorica fertőzöttebb volt fuzáriumtoxinnal (100%), mint a GM kontroll (fumonisin B1: 36%; deoxynivalenol: 86%), ami a nevelési eredményekben is megmutatkozott (nevelési végsúly 22,0–22,6 kg; az átlagos napi súlygyarapodás 375–396 g).

Különböző országok kutatói, elsősorban Bt kukoricával, illetve szójjával beállított baromfietetési kísérletekben szintén nem találtak szignifikáns eltérést az izogénikus és transzgenikus eredetű takarmányok között.

Német kutatók 2005-ben számoltak be egy olyan takarmányozási kísérletről, melyben 10 generáción keresztül etettek 40–50%-ban izogénikus vagy transzgenikus (Bt176) kukoricatartalmú adagokat fürjekkel anélkül, hogy a súlygyarapodásukban és egészségi állapotukban szignifikáns eltérést tapasztaltak volna. A hús és tojás minősége, valamint a tojás keltethetősége is azonos volt, de a szervek és testnedvek DNS-frakcióiban sem volt különbség kimutatható.

Kérdőzökkel – tehén, hízómarha, juh – beállított tejtermelési és hizlalási kísérletekben sem találtak eltérést, izogénikus vagy transzgenikus eredetű kukoricát tartalmazó takarmány etetésekor.

Egy-egy rövid és hosszabb tenyészedejű Bt kukoricából készült szilázs etetéséről – tejelő tehennel – számoltak be amerikai kutatók azt közölve, hogy a génmódosítás és a tenyészedő hossza semmilyen vonatkozásban nem befolyásolta sem a bendőfermentációt, sem a tejtermelést. Egy másik kísérletben ugyancsak egy Bt kukoricából készült szilázst hasonlítottak össze egy hagyományos kukoricaszilázssal. Ebben a napi adagok 40% szilázst, 28% azonos származású kukoricadarát, 10% lucernaszenát és 22% koncentrátumot (extr. szója, vérliszt, takarmányzsír, ásványi anyag és vitamin keveréke) tartalmaztak, 17,5% nyersfehérje-tartalommal. Bendőfisztulázott teheneket vizsgálva, a GM szilázst, a kontrollkukorica-szilázst, illetve kukoricadarát fogyasztó tehenek tejtermelésében (28,8 kg/nap), tejösszetételében, illetve szárazanyag-felvételében (22,8 kg/nap), valamint bendőfermentációjuk mutatóiban (pH, illó zsírsavtartalom és arány, NDF emésztés) nem találtak szignifikáns különbséget.

Sertésekkel beállított hizlalási és anyagforgalmi kísérletekben a takarmány 70%-ban tartalmazott kukoricamoly ellen génmódosított (Bt) vagy herbicid-toleráns (RR), illetve kontrollkukoricát. Sem a táplálóértékben, sem a hizlalási mutatókban nem volt eltérés. Az idegen DNS útját PCR technikával követték, és más, korábbi megállapításokkal megegyezően, az emberi táplálkozásra kerülő termékekben az már nem volt kimutatható. A hasonló metodikával beállított transzgenikus szójt tartalmazó takarmány etetése ugyanezekhez az eredményekhez vezetett.

A GM növények második generációjában a növény összetételét változtatják meg. Növekedhet a fehérjék (bennük az azokat alkotó különböző aminosavak) és a zsírok (az azokat alkotó zsírsavak) mennyisége és/vagy egymáshoz viszonyí-

tott aránya. A keményítőtartalom is több lehet, de jobban értékesülhetnek a különböző ásványi anyagok, a vitaminok, és más anyagok is. Csökkenthető a növények emészthetetlen hányada, például a lignin, vagy a sejtfalalkotók, bár ezzel növekedhet a sejtfal sérülékenysége és csökken az ellenálló képessége a kártevőkkel szemben. Fokozható egyes enzimek termelése (például fitáz), továbbá csökkenthető az antinutritív anyagok, például a glukozinolátok, vagy az alkaloidok mennyisége.

A fitinsav, a gabonafélék egyik legjelentősebb antinutritív anyaga, a P-emészthetőség gátlása mellett a Ca, Zn, Fe, de még a fehérje hasznosulását is nagymértékben csökkentheti az egygyomrú állatok szervezetében. Ennek pedig kettős fontossága van, egyrészt az állatok foszforszükségletének kielégítése, másrészt pedig, a nem hasznosult foszfor kiürülésével, a környezet terhelése szempontjából.

Második generációs GMO-ról beszélünk akkor is, amikor a fitinfoszfortartalmú gabonafélékbe viszik be az *Aspergillus niger* fitáz enzim termelését irányító génjét. Irodalmi adatok szerint ez az enzim normál körülmények között is szintetizálódik néhány takarmányfélében, de génmódosítással fitinfoszforban gazdag további kultúrákban is növelhető a fitázszint (például gabonafélékben, repcében, szójában, sőt még lucernában is). Búzakísérletekben megállapították, hogy a fitáz a mag endospermiumában szintetizálódik, mégpedig a magtelítődés időszakában. Ezzel a fitázaktivitás akár a normál szint négyszeresére is növekedhet, és ez nagymértékben stabil is marad. Ilyen takarmány etetésekor a trágyába kerülő foszfor mennyisége jelentősen csökkenhet, azaz a fitázenzimkiegészítés feleslegessé válhat a sertések és a baromfifélék takarmányadagjában.

Német kutatók munkája alapján a 9.2. táblázatban közöltek szerint lehet összefoglalni az első és második generációs GM takarmányok lehetséges takarmányozási értékét.

Paraméterek	GMO-generáció	
	1.	2.
Fontos összetevők		
- nyers táplálóanyagok	+	++
- genetikailag módosított összetevők (aminosavak, zsírsavak, vitaminok, enzimek, stb.)	--	++ <sup>§</sup>
- genetikailag módosított nemkívánatos anyagok (pl. lignin, inhibitorok, glükozidok, stb., vagy másodlagos anyagok, mint mikotoxinok, peszticidek, stb.)	(+)	++ <sup>§</sup>
Emészthetőség, táplálóanyag-transzformációs vizsgálatok, módosított összetevők értékesíthetősége a különböző állatfajokban	(+)	++
In vitro vizsgálatok a takarmányérték becsléséhez	(+)	(+)
Takarmányozási kísérletek különböző állatfajokkal		
- állatok teljesítménye és a belőle készült élelmiszer minősége	(+)	++
- állategészség	(+)	(+)

Megjegyzés: a szimbólumok jelentése: -- nem szükséges; (+) hasznos lehet; + javasolt; ++ szükséges;

<sup>§</sup> a módosított komponensek

## 9.2. táblázat: GM takarmányok lehetséges értékelése (különböző szakirodalmi források alapján)

Az első generációs GMO-kra vonatkozóan számos állatkísérlet és vizsgálat alapján megállapítható, hogy az izogén és transzgén növények között, táplálkozási szempontból, nincs szignifikáns eltérés. Az ebben a témában megjelent nagyon nagy számú közlemény egyike sem utal, még hosszú ideig folyó kísérletek esetén sem, egészségkárosodásra, vagy egyéb, az izogén takarmányhoz képest negatív eredményre. Német tudósok 2006-ban megjelent véleménye szerint nyugodtan állítható, hogy a GMO-tartalmú takarmányok nem befolyásolják az állati termék minőségét és táplálkozási értékét (az esetleges eltérés mindig más ok miatt következett be, mint például a mikotoxin-kontamináció mértéke, vagy az állatoknak a kísérlet során bekövetkezett megbetegedése miatt).

A jövőben a második generációs GMO-k szélesebb körű elterjedése várható, különösen azoké, amelyekben az előnyös (kívánatos) összetevők növekszenek és az előnytelen alkotók – antinutritív anyagok – csökkennek. A 9.3. táblázatban különböző termények tulajdonságainak esetleges változtatási lehetőségeit mutatjuk be.



Növény	Változtatható jellemzők
Lucerna	+ fitáz; + resveratrol glükozid; lignin <sup>↑</sup>
Canola (repce)	E-vitamin <sup>↑</sup> ; laurinsav <sup>↑</sup> ; $\gamma$ -linolénsav <sup>↑</sup> ; + $\omega$ -3 zsírsav; + $\beta$ -karotin; 8:0 és 10:0 zsírsavak <sup>↓</sup> ; középhosszú láncú zsírsavak <sup>↑</sup>
Manióka (cassava)	cianogén glükozidok <sup>↓</sup>
Csillagfűrt	metionin <sup>↑</sup>
Kukorica	metionin <sup>↑</sup> ; fumonisin <sup>↓</sup> ; rovarrezisztencia; kedvező aminosav-összetételű fehérje <sup>↑</sup> ; kéntartalmú aminosavak <sup>↑</sup> ; C-vitamin <sup>↑</sup>
Burgonya	Keményítő <sup>↑</sup> ; nagy koncentrációjú amilóz keményítő <sup>↑</sup> ; inulinmolekulák <sup>↑</sup> ; kénben gazdag fehérje <sup>↑</sup> ; solanin <sup>↓</sup>
Rizs	+ $\beta$ -karotin; vas <sup>↑</sup> ; allergizáló fehérjék <sup>↓</sup>
Cirok	megnövelt táplálóanyag-emészthetőség
Szójabab	megnövelt aminosav-összetétel; megnövelt kéntartalmú aminosav-összetétel; olajsav <sup>↑</sup> ; immundomináns allergének <sup>↓</sup>
Batáta	fehérjetartalom <sup>↑</sup>
Búza	glutein <sup>↑</sup>

**9.3. táblázat: GM takarmányok összetételének lehetséges genetikai módosítása, humán táplálkozási és állattakarmányozási szempontok szerint**

Az irodalmi áttekintésből kitűnik, hogy világszerte nagy érdeklődés kíséri a génmódosítással előállított növények (takarmányok) új tulajdonságait, és azok kihasználhatóságát. A számos közlemény egyike sem utal e növények fogyasztása után megállapítható egészségkárosodásra. Jóllehet vannak ellenvélemények, de a megjelent közlemények döntő többsége szerint a GM növényt tartalmazó takarmányok nem befolyásolják kedvezőtlen irányba sem az állati termékek minőségét, sem pedig azok humán táplálkozási értékét.

## 10. A GM technika lehetséges szerepe a jövő biomassza-növényeinek előállításában, szaporításában és feldolgozásában

MÁRTON LÁSZLÓ ÉS FÁRI MIKLÓS GÁBOR

### Bevezetés

A biomassza-növények iránti (olajkorszak utáni) érdeklődés visszanyúlik a hetvenes évekig, amikor is az első olajkrízis megrázta az olaj- és szénenergia-függő modern világot.

Az újabb, mai érdeklődést az olajár-emelkedés és a szűkülő források mellett elsősorban a környezetvédelmi szempontok motiválják. A fosszilis energiát kísérő CO<sub>2</sub>-kibocsátás hatása mind markánsabban jelentkezik nemcsak a növekedő légköri CO<sub>2</sub> koncentrációjában, de már jól láthatóak a klímában jelentkező változások környezeti következményei is (a sarki jégsapkák, gleccserek csökkenése, óceán hőmérsékletének emelkedése, pusztuló korallzátonyok, emelkedő tengerszint stb.).

A pozitív változások bevezetésére, melyek a negatív tendencia fékezését, leállítását, esetleg visszafordítását célozzák, geológiai hosszúságú idő nem áll rendelkezésre. Egy generáció múlva 40–50%-kal több embert kell élelmezni és alapvető energiával ellátni, miközben – ha nem teszünk meg mindent – 2–6 C°-kal is növekedhet az átlagos felszíni hőmérséklet, ami már drámai változásokat eredményezhet, a sivatagosodás és a jelenlegi mezőgazdasági területek jelentős lecsökkenése, átrendeződése képében. A zöldenergia-források maximális felhasználásával (szél, víz, ár-ápany, napelemek, sőt ide tarthat az atomenergia is) jelentősen csökkenthető a CO<sub>2</sub>-kibocsátás mértéke, azonban a jelenlegi tendenciák leállításához ez nem elegendő, a CO<sub>2</sub> fokozott megkötése és fosszilizálása is szükséges. Ez pedig – a mai technikai tudás szintjén – leghasználhatóbb módon a növények fotoszintézisén keresztül valósulhat meg, mely folyamat éves átlagban 150 000 TW, a Napból földre jutó teljesítményből meríti e munkához elegendő energiát.

Az emberiség éves energiafogyasztása jelenleg mintegy 15 TW, mely 2030-ra eléri a 20 TW/évet. A légköri széndioxid megkötésén kívül a fotoszintetikus fényenergia-átalakítás természetes és mesterséges folyamatát éppen ezért energiatermelési szempontok figyelembevételével is kutatják világszerte. E kutatások központi területe jelenleg a biomassza-, és a fotoszintetikus alapú hidrogéntermelés (H<sub>2</sub>-termelésre optimalizált természetes, félmesterséges és mesterséges rendszerek, továbbá folyékony üzemanyag termelése természetes fotoszintetikus folyamatokkal).

A szántóföldi növénytermelés leginkább egyéves növényeken alapul, ami azért nem csökkenti a CO<sub>2</sub>-szintet, mert az intenzív talajművelés több CO<sub>2</sub>-ot mobilizál, mint a megkötés. Sajnos az élelmiszerhiány elkerülésére nem sokat lehet változtatni a jelenleg termelt mezőgazdasági haszonnövények spektrumán. Ha azonban

a legzöldebb energiaátalakítást is felhasználjuk, ami a növények fotoszintézise, és ezt évelő növénykultúrákkal valósítjuk meg, amelyek föld feletti részei nem csak energiaforrást szolgáltatnak, de a föld alatti részek jelentősen növelik a talaj szervesanyagfelhalmozását, a szénmérleget illetően jelentős egyensúlyt biztosítva.

Ebben az átmeneti időszakban minden lehetőséget meg kell ragadni, hogy a pozitív tendenciák kialakuljanak, és elkerüljük a környezeti katasztrófát. A GM technológiák használatát nem adhatjuk fel holmi szentimentális elvrendszerek alapján, hiszen segítségével árnyaltabbá és hatékonyabbá tehetjük a "zöld" korszak fenntartható álláspontját, s ezzel mind az élelmiszertermelés, mind az igazi, zöld-biomasszán alapuló energiatermelés szempontjából az eddig tudományosan igazolt, leghatékonyabb és leggyorsabban bevezethető eszközrendszert adnánk fel.

### **A rendelkezésre álló marginális területek aránya és a jelenlegi technológiák mérlege**

Környezetvédelmi és mezőgazdasági szakértők 2010-ben kiszámították, hogy Európa, az USA, Afrika, Kína, India és Dél-Amerika térségében mintegy 320-702 millió hektár olyan ún. marginális terület található, amelyeken vagy felhagytak már a mezőgazdasági termeléssel, vagy olyan alacsony termőképességűek, hogy jövedelmező mezőgazdasági termelésre - jelen állapotukban - alkalmatlanok. Amennyiben a füves pusztákat, szavannákat, bokros természetes vegetációkat - az ún. LIHD-területeket - is energiatermelőként hozzászámítják az ún. marginális területekhez, akkor ezek együtt 1,107-1,411 millió hektárt tesznek ki. Ezek a területeken - hagyományos növénykultúrákat és agrotechnikákat felhasználva - a biomasszára alapozott agroüzemanyag-termeléssel a jelenlegi folyékony üzemanyag világszükségletének 26-55%-át lehetne elméletileg megtermelni. Egyetértés van a felelősen gondolkodó szakemberek és nem szakemberek körében: a természet évmilliók alatt felépített javait már nem lehet tovább pusztítani; még az energiaínség jelenlegi intenzív korszakában sem.

Fenti elméleti számítások nyomán az agrárközgazdászok ezért felhívták a tudományos körök figyelmét arra, hogy a természetes vegetáció további károsítása csak akkor kerülhető el, ha csupán a 320-702 millió hektárnyi marginális agro-ökoszisztémán állítják majd elő azt az energiamennyiséget, amelyet a világ igényel. Ennek érdekében - állapították meg amerikai tudósok 2009-ben - a rendelkezésre álló leghatékonyabb biológiai, genetikai és egyéb nemesítési módszerek felhasználására van szükség, továbbá új, és adekvát mezőgazdasági, földművelési módszereket kell majd kifejleszteni. Kiszámítható és tervezhető prognózis tehát az, hogy a következő ötven évben a mindenkori legfejlettebb technikák összességével fogják majd előállítani, szaporítani és termelni a jövő biomassza- és energianövényeit. A biomassza kérdésköre közvetlenül összefügg a természetett növényfajok genetikai felépítésével, melyek GMO vonatkozásait jelen tanulmányunkban az alábbiakban részletezzük.

## **Milyenek legyenek a jövő biomassza- és/vagy energianövényei?**

A biomassza célú növénytermesztésnél komoly technikai probléma jelentkezik. Több mint 10 ezer éves a növénynevelés, de addig, csak amit hasznosítottunk, – leggyakrabban a termést vagy bizonyos növényi részeket – céloztunk meg, és igyekeztünk minél kisebb biomassza mellett minél több hasznosított részt előállítani a haszonnövénnyel. Energia szempontjából ezek a részek csak jelentéktelen hányadot képviselnek, mert a növény a CO<sub>2</sub> megkötésével, redukciójával létrehozott kémiai energiát a szénláncok formájában tárolja, amely döntően cellulóz-lignin-hemicellulóz formájában a sejtfalakban van jelen. Ha tehát energiaátalakítás (“energianyerés”) a cél, oda kell fordulnunk, ahol az energia van, azaz a biomasszához, amely döntően a sejtfal C-C kötések energiájának felszabadítása, átalakítása. A jelenlegi haszonnövények többségénél a ligno-cellulóz sejtfalanyag csak a melléktermékek szintjén (szalma, szár, maghely, hulladék) jelentkezik, amely rendszerint drága a szállítás és összegyűjtés költsége miatt.

A biomassza hozzájárulása az energiafelhasználáshoz a jelenlegi 10% körüliről akár 80%-ra is emelhető lenne Magyarországon, ha az erre alkalmas területeket bevonnánk a biomassza alapú energiatermelésbe.

Az ún. harmadik generációs biomassza-növényeket már eleve az intenzív és környezetkímélő biomassza-termelés céljából választjuk ki és nemesítjük tovább. Mivel elkerülhetetlen, hogy a biomassza-termelés marginális minőségű termőföldekre szoruljon vissza, és ne versengjen az élelmiszer-termeléssel, a szárazságtűrés vagy pont az ellenkezője, az elárasztás-, a belvíztűrés fontos szempont lehet. Más szélsőséges termőhelyi viszonyoknak is legyen ellenálló, például magas só, szélsőséges pH, agrokémiai maradványok, nehézfém-szennyeződés, amelyek élelmiszer-növények termelését nem teszik lehetővé, vagy nem tanácsos az élelmiszerként történő felhasználásuk. Csak évelő kultúrák jöhetnek számításba, mert az évenkénti talajművelés lerontja a CO<sub>2</sub>-megkötést, valamint az évelő, speciálisan a lágyszárú kultúráknak jelentős a folyamatos fenntarthatósága és – különösen a fűfélék – talajjavító hatásúak is lehetnek, rehabilitálják a marginális minőségű termőföldet.

## **Miben segítheti a GM technika a fenntartható biomassza-ipart?**

A GM technológia jelentősége és hozzájárulása az optimális biomassza-növények kialakításában és energiatermelésre történő optimalizálásában óriási lehet, mert rendkívül gyors és eredményre törő nemesítési munkára van szükség az idő rövidsége miatt. Ez pedig az új genetikai szabályozási utak szomaklonális, epigenetikus és GM alapú módszereinek felhasználását is indokolja. A rekombináns DNS technológiák fejlettsége a génállomány mind precízebb átalakítását és a génműködések finomhangolását teszik lehetővé, amivel gyorsan pótolható a hosszú évszázados nemesítési munka hiánya.

## Fontosabb kutatási-fejlesztési területek

A GM technológia felhasználására nemcsak a könnyen és látványosan megváltoztatható paraméterek jönnek számításba, mint például a fermentálható cukor- és keményítőtartalom növelése, hanem a fermentáció szempontjából optimális keményítőszerkezet és anyagszere kialakítása, ahol egyébként már komoly előrehaladás történt a magalkohol előállítására céljából.

Korszakalkotó sikerek születtek már, ahol a biomassza GM növényekben sikerült létrehozni olyan komplex metabolikus változásokat, melyek a sejtfal összetételét és szerkezetét érintették. Egyfelől például a lignintartalom növelésével magasabb energiaszint elérésére került sor, ami a közvetlen égetésnél és a termolízisnél mint energiatöbblet jelentkezik. Másfelől komoly eredményeket sikerült elérni a cellulóz és hemicellulóz részarányának növelésében is, ami pedig a cukrosítás (kémiai vagy enzimes lebontás) alapanyaga. A fermentációs eljárások során ebből élesztővel vagy etanolt, vagy újabban más mikrobák felhasználásával hosszabb szénláncú alkoholokat és más termékeket is elő lehet állítani.

Ezeknek a termékeknek abban áll a jelentőségük, hogy energiaigényes desztillálás nélkül is el lehet választani a víztől, könnyű tisztítani és közvetlenül felhasználhatók folyékony üzemanyagként. Jelenleg az etanolkinyerés határfoka a gőzrobbantásos rendszerekben a legjobb, 1 tonna alkohol 4 tonna szárazanyagból, azaz például az arundó energianövény termésátlagra számítva körülbelül 10 tonna etanol hektáronként, ami szubtrópusi és trópusi termésátlagok mellett felmehet akár 25-35 tonna etanolra is. Ez többszöröse a magetanolnak, de még a cukornád etanol eredményességének is. Ez csak az ún. alaptípusra vonatkozó adat, könnyen kiszámítható, ha majd az újgenerációs GM növények bekerülnek a termelésbe, milyen dramatikus változást fog ez jelenteni az etanolpiacon.

Jövőbe mutató azon GM növények előállítása is, ahol nemcsak a sejtfal szerkezet hozzáférhetősége és összetétele változott meg, hanem magát a cellulózt lebontó enzimet is a növény állította elő, illetve megfelelő körülmények között maga végezte a bontást cukorra. Más esetekben növényekkel szintetizáltatták meg a drága lebontó enzimet, és azt adták hozzá a lebontási reakcióhoz. A magasabb lignintartalmú GM növények és lignin melléktermékek pirolízis bontásából kikerülő ún. szingáz feleslege, amelyet közvetlenül elektromos energiára és fűtésre használnak, polimerizálható és a régi Fisher-Tropsch eljárás mai változataival ugyancsak folyékony üzemanyaggá alakítható.

A másik terület, ahol a GM technológia már nagyban hozzájárult a növények méretének megváltoztatásához (hiszen a biomassza-termelésnél a növény által a tenyésztés alatt elért méret, azaz a növekedés üteme az elsődleges szempont): sikerült mind a hormontermelést és -hatást (például ARGOS), mind a sejtszétválást irányító gének működésének szabályozásával óriási növekedést elérni. A sejtfalösszetétel arányainak eltolódása a GM növényekben nemcsak több vagy kevesebb terméket (a lignin/cellulóz arány eltolódása), hanem például jobb emészthetőséget is jelentett, ami a cellulóz és hemicellulóz hozzáférhetőségének megváltozását indikálja.

Az ún. siRNS technológia GMO-s alkalmazása forradalmat indított el a biomassza-energia területén is. Ez egy olyan jelentőségű technológia az anyagcsere-folyamatok szabályozásában és annak dramatikus átalakításában, mint a restriktív endonukleázok bevezetése volt annak idején. Így többgénes funkciók is regulálhatók, kiüthetők, hangolhatóak igény szerint.

Még nem történt áttörés, azonban nagy erővel folyik a C3- és C4-növények fotoszintézis-mechanizmusának kutatása, hogy elérjük a legoptimálisabb vízhasznosítást a biomassza-növényeknél is. Rendkívül komplex regulációs folyamat ez, és még alapkutatási szinten is jócskán van mit tisztázni. Az siRNS-technológia minden bizonnyal forradalmat fog előidézni ezen a területen is, hiszen számos többgénes funkció szerepel ezekben a folyamatokban is.

Mivel a biomassza GM növények jó része nem is alkalmas további klasszikus növénynemesítésre (például sterilek, nincs is mag, vagy annyira aneuploidok, hogy kezelhetetlenek), nem marad más, mint a szomaklonális nemesítés és a klonális szaporítás. A hosszú klonális szaporítás gyakori velejárója lehet azonban a klonális leromlás, aminek egyrészt az epigenetikai változások halmozódása, másrészt a vírusok akkumulációja lehet a magyarázata. Érdekes módon azonban, a folyamatosan fenntartott embriogén sejtenyészetekben, vagyis az ezekből regeneráltatott növények között, nagyfokú homogenitás és stabilitás tapasztalható, így ha a GM növények előállítására ilyen tenyészeteket használunk, majd ezekből fejlesztünk ki tömeges mikroszaporítási eljárásokat, az említett hátrányoktól megszabadulhatunk. A klonális (epigenetikus) öregedés elkerülhetővé válik, és folyamatosan megfiatalított növényeket ültethetünk ki.

A másik alternatíva, a klasszikus vegetatív szaporítás, ami nagyméretű rizómás növények esetében a fás rizómák feldarabolásával vagy szárdugványokkal csak nagyon nehézkesen és drágán valósítható meg, és gyakran nem is ad megbízható szaporítóanyagot (például nincs rajta életképes rügy vagy vírusfertőzött, ami más növényekre is átkerülhet).

A jövő ígéretes biomassza-növényeinek előállítása során valószínűleg az embriogenezisért felelős gének működésének GM technika alkalmazásán keresztül történő programozásán vezet majd az út, mint ahogy az már korábban sikerrel járt egyes modellfajoknál. A GM technika ilyen esetben egy lehetőség, azonban nem minden esetben nélkülözhetetlen módszer. A Debreceni Egyetem Növényi Biotechnológiai Tanszékén kifejlesztett szerkezeten, az APO-n (Artificial Plant Ovary) és egy nemzetközi együttműködésen alapuló, az elmúlt években kifejlesztett új szaporítástechnológiai módszer lehetővé tette az arundónak, az egyik legígéretesebb biomassza-növénynek a tömegszaporítását, amely szinte minden éghajlati feltétel mellett rekord mennyiségű biomasszát eredményezett (10.1. és 10.2. ábra).



**10.1. ábra:** A szomatikus embriogenezis molekuláris biológiai alapjainak, genetikai szabályozásának és irányításának megértése a modern növényi biotechnológia kiemelkedő fontosságú területe. Szinkronizált szomatikus embriókról telepített arundó (*Arundo donax L.*, *giant reed*) *syn-plant* biomassa-ültetvény a Debreceni Egyetem AGTC Jövő Növényei Bemutató Kertben

A folyamat egyik speciális biológiai kulcsa a folyamatos embriogenezis állapot kontrollált indukciója és fenntartása volt, a másik pedig az ilyen tenyészetek szinkronizált, homogén regeneráltatása gyökeres, ún. *syn-plant* növényekké. Ezen új biotechnológiai eszközök minden nagyüzemi igényt kielégítő termelési rendszert eredményeztek, kipróbálásuk világszerte megkezdődött. A biomassa-növények más körére is alkalmazható lehet ez az eljárás, amelynek kidolgozása, például mályvafélékre, folyamatban van a Debreceni Egyetemen.



**10.2. ábra:** A Debreceni Egyetemen kifejlesztett “mesterséges növényi ovárium-technológia” (APO) áttörést eredményez a GM-alapú, klonális biomassa-ipar szaporítóanyagának előállításában is (*Populus sp.*, *Eucalyptus sp.* stb.)

## 11. Biopeszticidok és biotrágyák

HORNOK LÁSZLÓ ÉS POSTA KATALIN

A **biopeszticidok** olyan készítmények, amelyek hatóanyaga valamilyen mikroorganizmus, baktérium, gomba, protozoon vagy vírus. Ezekkel az anyagokkal számos növénykórokozó mikroba vagy állati kártevő ellen lehet védekezni, de egy adott, biológiai védekezésre alkalmas organizmus a legtöbb esetben specifikusan hat a célszervezetére. A **biotrágyák** is mikroorganizmusokat tartalmaznak, ezekkel a talaj termékenységét lehet növelni; a biotrágyákban található mikrobák tevékenységének eredményeként nőhet a kezelt növények tápanyagtartalma is.

Többféle előnye van az ilyen készítmények használatának. A biopeszticidok (i) természetüknél fogva kevésbé ártalmasak, mint a kémiai növényvédő szerek, (ii) a kémiai szerekhez képest (amelyek nemcsak a célszervezeteket károsítják) szűk a hatásspektrumuk, (iii) nem perzisztensek, (iv) nem okoznak olyan környezeti ártalmakat, mint a kémiai peszticidok, és (v) biztonságosan használhatók integrált növényvédelmi (IPM) technológiákban. A biotrágyák (i) olcsó készítmények, (ii) nem jelentenek veszélyt a környezetre, (iii) gazdagítják a talajt és (iv) segítik a fenntartható gazdálkodást. Ennek ellenére a biopeszticidok és a biotrágyák elterjedése korlátozott, mert ezek a készítmények nem hoznak gyors és látványos eredményeket. Hátrányuk az is, hogy a biopreparátumok különösen érzékenyek a környezeti behatásokra és az alkalmazási technológiákra.

### A biológiai növényvédelemben és növénytáplálásban alkalmazott főbb mikroorganizmusok

Legelterjedtebben a *Bacillus thuringiensis* baktériumot használják biopeszticidként. E baktérium törzsei változatos toxikus fehérjéket termelnek, és specifikus ölő hatást fejtenek ki egy vagy néhány rokon rovarfaj lárváin. Egyes *B. thuringiensis* törzsek fitofág molylepkefajok lárváit pusztítják, mások bogarak lárvái ellen hatékonyak, ismét mások a szúnyoglárvákat ölik. Az, hogy egy adott *B. thuringiensis* törzsnek mely rovarfaj a célszervezete attól függ, megkötődik-e a toxinja az érzékeny faj(ok) lárvájának bélhámsejtjein található receptorokon, és aktiválódik-e a toxin az emésztőcsatornában. Növénykórokozó gombákat is alkalmaznak rovarok elpusztítására, de sokkal kisebb léptében és főként üvegházakban. A *Verticillium lecaniit* üzemi mértékben használják levéltetvek és fehérlegyek ellen. A *Metarhizium anisopliae* és a *Beauveria bassiana* gombafajok bogarak (például burgonyabogár) és bagolylepkék lárvái ellen hatékonyak. Az Amerikai Egyesült Államokban Tick-EX G és Tick-EX EC néven forgalmazznak *M. anisopliae* spórákat tartalmazó készítményeket. Baculovírusokat is használnak növénykórokozó rovarok specifikus irtására. Ezeket a vírusokat táplálkozással veszik fel a lárvák, így megfertőződnek, majd 5-8 nap múlva elpusztulnak.

A dísnövények, gyümölcsfák és zöldségnövények számos faján a gyökérgolyvát okozó *Agrobacterium tumefaciens* ellen hatékony védelmet biztosít az



*A. radiobacter* K84 törzs, az agrocin 84 bakteriocin termelője.

IPM technológiákban jól használhatók azok a hiperparazita gombák, amelyek a növénykórokozó gombák természetes ellenségei. Európában, Észak-Amerikában, Izraelben és a Távol-Keleten kereskedelmi forgalomban vannak az *Ampelomyces quisqualis*, a *Coniothyrium minitans*, a *Pythium oligandrum*, valamint *Gladiolium*- és *Trichoderma*-fajokat tartalmazó biopreparátumok. A *Cryphonectria parasitica* hipovírust hordozó, ún. hipovirulens törzseit is sokhelyütt alkalmazzák Európában és Észak-Amerikában a gomba gesztenye kéregrákosodását okozó agresszív változatainak visszaszorítására.

Gyomnövények kórokozó gombákkal történő biológiai pusztítása ígéretes megoldást kínál arra, hogy a mezőgazdasági területen tenyésző, gyakran egzotikus vagy idegen eredetű fajok terjedését visszaszorítsuk. Az ilyen mikroherbicidok azonban csak akkor lehetnek valóban sikeresek, ha specifikusak a leküzdeni kívánt célszervezetre, és gazdanövénykörük szűk marad. A sikeres biológiai gyomirtás legszebb példái a selyemkóró (*Asclepias spp.*) és a papsajtmályva (*Malva pusilla*) visszaszorítása citrusültetvényekben és gyümölcsösökben. Mikroherbicid készítmények Európában és Észak-Amerikában is kaphatók, de használatukat megfelelően izolált gyümölcsösökre korlátozzák, hogy elkerüljék e növénykórokozó gombák egyéves kultúrákra való áttejedését.

A biotrágyák közül a nitrogén-biotrágyák (amelyek N-megkötő baktériumokat, például *Azotobacter*-, *Azospirillum*-, *Rhizobium*- and *Shinorhizobium*-törzseket tartalmaznak) nitrogénben gazdagítják a talajt, a foszfor-biotrágyák (mint a mikorrhiza gombák, főként *Glomus*-fajok, továbbá a *Bacillus*-nemzetségbe tartozó baktériumok) növelik a talaj P-tartalmát, a növekedésserkentő rhizobaktériumok (PGPR) pedig oly módon segítik a növények fejlődését, hogy mikroelemeket mobilizálnak, és kiszorítják a növénykórokozó mikrobákat a gyökérszónából. Az *Azotobacter*- és *Azospirillum*-fajok szabadon él, illetve asszociatív nitrogénmegkötő szervezetek, amelyeket széles körben alkalmaznak gabonafélékben, zöldségfélékben és dísznövénykultúrákban. Biotrágyákban általában szelektált vagy indukált mutációkkal feljavított mikrobatörzseket használnak, olyanokat, amelyeknek jobb a kompetitív képességük és/vagy rezisztensek kémiai növényvédő szerekkel szemben. A *Rhizobium* (*Azorhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Shinorhizobium*) fajok tartós szimbiózisban élnek pillangósvirágú növényekkel és nitrogént kötnek az általuk indukált gyökérgümőkben.

### **GM (géntechnológiai úton módosított) mikrobák alkalmazása a biológiai növényvédelemben és növénytáplálásban**

A biológiai készítményekről általában azt tartják, hogy biztonságosabbak, ezzel szemben hatásuk többnyire alulmúlja a kémiai szereket, és kevésbé kiszámítható az aktivitásuk, ami gátolja a szélesebb körben való elterjedésüket. Az ilyen készítmények hatékonyságának és kezelhetőségének javítására alkalmas eljárások egyike a géntechnológiai úton módosított (GM) mikrobák előállításának és használata. A GM mikrobák olyan szervezetek, amelyekbe rekombináns DNS technológia segítségével vittek be eredeti vagy módosított géneket. A GM mikrobáknak olyan

tulajdonságaik és funkcióik is lehetnek, amelyek a természetes szülőikben nem alakulhattak volna ki.

Sok példa ismert GM mikrobákon alapuló biopeszticidek és biotrágyák kísérletes körülmények között történt sikeres kipróbálására, kereskedelmi forgalomba azonban csak néhány ilyen preparátum került eddig.

A vad típusú baculovírusok nagyon lassan pusztítják el a lárvákat, emiatt nehézkes a gyakorlati alkalmazásuk. Vannak azonban olyan GM vírustörzsek, amelyekbe toxingén(ek)e)t építettek be; e gének terméke(i), miközben specifikusak a célrovar lárvájára, sokkal gyorsabban pusztítják el azokat. Ilyen transzgénes preparátumok (Hz NPV, Se NPV) kereskedelmi forgalomba is kerültek az USA-ban, ahol *Heliothis*- és *Spodoptera*-fajok lárvái ellen alkalmazzák ezeket gyapotban, szőlőben, zöldségfélékben és dísznövénykultúrákban. Skorpióból származó gének beépítésével olyan hipervirulens gombákat állítottak elő, amelyek elpusztították az ilyen gombákat fogyasztó, kávécsérjéket károsító rovarokat, ráadásul ezek a transzgénes gombák izoláltan tarthatók, nem kell számítani ellenőrizetlen terjedésükre.

Több, rekombináns DNS technikával módosított *B. thuringiensis* törzset regisztráltak az USA-ban (CRYMAX™, Lepinox™, Raven™): ezek a GM törzsek vagy egy specifikus *cry* (inszekticidfehérjét kódoló) génkombinációt vagy módosított/kiméra *cry* génkonstrukciókat tartalmaznak, s emiatt erősebb toxikus hatással vannak a célszervezetre. Helyspecifikus rekombinációval sikerült minden idegen DNS-elemet eltávolítani a rekombináns *cry* plazmidből, miután beépítették azt *B. thuringiensis* törzsekbe, amivel elérték, hogy ezek a GM mikrobák gyakorlatilag nem transzgénes szervezetekké váltak. Egy másik megoldást is használtak a *B. thuringiensis* aktivitásának kiaknázására, amikor a Bt-toxin génjét *Clavibacter xylife* vitték át, s ezzel a mikrobával védekeztek kukoricamoly ellen.

Az *A. radiobacter* K84 által termelt agrocín K84 rendkívül hatékony a kórokozó *A. tumefaciens* ellen. A bakteriocin termeléséért felelős gének azonban plazmidon találhatóak csakúgy, mint az agrocínrezisztenciát kódoló gének. Ez a plazmid természetes körülmények között átkerülhet *A. tumefaciens*-be, rezisztencia alakul ki, s ezzel elvész a biológiai védekezési eljárás hatékonysága. Ezt a problémát úgy oldották meg, hogy az átvitelért felelős *tra* régiót kiejtették a plazmidből: ez a GM készítmény, amelyet „No Gall” néven hoztak forgalomba, nem volt alkalmas arra, hogy az agriocínrezisztencia átkerüljön belőle a patogén törzsekbe. Fokozott sejtfalbontó enzimaktivitást mutató és/vagy peszticidrezisztenciát hordozó *Gliocladium* és *Trichoderma* törzseket is előállítottak géntechnológiai úton, s *Serratia marcescens*-ből átvitt kitináz génnel fegyverezték fel az amúgy ártalmatlan *Pseudomonas fluorescens* PGPR-baktériumot, amely így gombás megbetegedések ellen biztosított védelmet a növényeknek.

A szilikát baktérium néven ismert *Bacillus mucilaginosus* többfunkciós biotrágyaként használható, mivel oldhatatlan káliumot, foszfátot és egyéb elemeket képes mobilizálni. NKTS-3 néven előállítottak egy transzgénes törzset, amelybe egy fitáz expressziós kazettát építettek be; a GM törzs fokozott extracitoplazmás fitázaktivitást mutatott, képes volt szervesen foszfátsók felszabadítására, és a gyökerek foszfátfelvételének a növelésére. A GM *Rhizobium*-törzsek több

nitrogént kötnek, mert sikerült fokozni bennük a *nifHDK* nitrogénáz génklaszter expresszióját; Mexikóban engedélyezték ezeknek a törzseknek a szabadföldi kipróbálását. Géntechnológiai úton fokozták a *R. leguminosarum* kataláz aktivitását, ami azzal járt, hogy az ilyen GM törzsek által indukált gyökérgümők nitrogénmegkötő képessége 1,7-2,3-szeresre nőtt.

### A GM mikrobák szabadföldi kibocsátásával kapcsolatos aggályok

A mikroorganizmusok nagy reprodukciós képessége, valamint a mikrobapopulációkon belül megvalósuló különleges génáramlási lehetőségek miatt a GM mikrobákkal szemben még nagyobb bizalmatlanság tapasztalható a közvéleményben, mint amit a GM növényekkel vagy állatokkal szemben érzékelhetünk. Minthogy a piac nehezen fogadja el a GM mikrobákat, a nagy biotechnológiai cégek kezdenek kivonulni erről a területről. Való igaz, a horizontális génátvitel közönséges esemény a baktériumok világában, és ez a mechanizmus működik olyan baktériumnemzetségekben is, amelyekben növényi és állati/emberi kórokozók is találhatóak. A fokozott rezisztenciával felruházott GM mikrobák ellenállóbbak azokkal a kompetitív szervezetekkel szemben, amelyek a vad típusú törzsek túlszaporodását megakadályozzák, így a GM törzsek, ha kikerülnek a szabadföldre, felboríthatják a természetes mikroflóra egyensúlyi állapotát. Továbbá, az antibiotikum-rezisztenciát hordozó génkonstrukciók a váratlan és nemkívánatos génszökés veszélyét hordozzák. Másfelől viszont, az ellenőrizetlen génátvitel éppen géntechnológiai beavatkozással előzhető meg (fentebb említettünk egy ilyen beavatkozást az *A. radiobacter* esetében), és az antibiotikus rezisztenciát hordozó szekvenciák is inaktiválhatók a transzgénes szervezetekben (amint azt a *B. thuringiensis* GM törzsein meg is valósították). Az is igaz, hogy a fokozott mikrobaellenes hatású GM törzsek befolyással lehetnek nem célszervezeteknek számító mikroorganizmus-közösségekre, de ilyen vagy nagyobb változásokat más beavatkozások, mint a monokultúrás termesztés, a talajművelés vagy a növényvédőszer-kezelés is kiválthatnak.

A jogos aggályok ellenére a gyorsan fejlődő gazdaságú térségekben, így az Egyesült Államokban, Indiában vagy Kínában kevésbé vonakodnak GM-alapú biopeszticidok vagy biotrágyák alkalmazásától. Eltekintve az ilyen szervezetek gyakorlati alkalmazásától, a világ más részein is érdemes kutatómunkát folytatni ezekkel a mikroorganizmusokkal, hiszen a kísérletek során kifejlesztett módszereket, génkonstrukciókat, termékeket és technológiát az ipari mikrobiológia és a molekuláris növénynevelés igen jól tudja hasznosítani.

### További információ

- Cummings, J. (2003): GM microbes invade North America. *Science in Society*, 19: 39.
- Garay-Munoz, C. és mtsai (2010): Mode of action of *Bacillus thuringiensis* - genetically modified *Cry1AbMod* and *Cry1AcMod* toxins: role of alkaline pH in toxin oligomerization. *Southwestern Entomologist*, 35: 383-386.
- Hirsch, P. E. (2005): Release of transgenic bacterial inoculants - rhizobia as a case study. *Plant and Soil*, 266: 1-10.
- Hunter, P. (2009): Fight fire with fire. Can biopesticides fill the void left by banning chemical pesticides and herbicides. *EMBO Reports*, 10: 433-436.
- Thomas, M. B. and Read, A. F. (2007): Fungal bioinsecticide with a sting. *Nature Biotechnology*, 25: 1367-1368.

## 12. A GM mikrobák szerepe a fermentációs technológiában

KOVÁCS KORNÉL

A biomassza lényegében a napenergia átalakított, raktározott formája. A fotoszintetizáló élőlények a napenergia segítségével gyártanak szerves molekulákat, ilyenkor a molekulák kémiai kötéseiben tárolódik a fényenergia. A megújuló energiahordozók termelésekor ezt a kémiai energiát alakítjuk tovább, ameddig olyan forma lesz belőle, amit már fel tudunk használni a mindennapi életünk során, például a közlekedési eszközökben, a villanykörtében stb. Energiatermelésre leggyakrabban a biomasszának azt a frakcióját használjuk fel, amelyet az élőlény maga is energiatárolási célra állít elő. Ezek a cukrok és a belőlük képződő polimerek, a keményítő és cellulóz.

A keményítőiparban a keményítő feldarabolása cukorra a biotechnológia egyik fontos feladata. Rengeteg élelmiszeripari termék tartalmaz keményítőlebontási termékeket. Enzimeket használunk a keményítőbontásra, ezeket az enzimeket genetikailag módosított mikroorganizmusokból nyerjük nagy mennyiségben, és viszonylag olcsón. A cukrok a legtöbb mikroba számára kiváló szénforrásként szolgálnak, így a legkülönbözőbb termékek előállításában használható szén- és energiaforrások. Kevés olyan növény van, mint például a cukorrépa, cukorcirok vagy a cukornád, amelyekből közvetlenül kinyerhetjük a cukrot. Számos olyan növényt termesztünk, amelyek keményítőt tartalmaznak nagy mennyiségben, például a kukorica, burgonya vagy gabonafélék. A keményítő cukorra történő hidrolízisét cukrosításnak nevezik.

Amikor a keményítőbontó enzimek még nagyon drágák voltak, erős savakkal bontották el a keményítőben levő, cukrokat összetartó kémiai kötéseket. Enzimekkel a folyamat sokkal pontosabban, alaposabban és melléktermékmentesen elvégezhető. Többféle enzimet használnak, melyek különböző édességi fokú szirupokat eredményeznek, és eltérőek a technikai paramétereik. A termékek nemcsak a különböző élelmiszerekbe kerülnek be, a cukrokból emellett alkoholt (ami kiváló megújuló energiahordozó), édesítőszeret vagy zsírhelyettesítőt is lehet gyártani. Az enzimatis keményítőlebontás persze sokáig gazdaságtalan eljárás volt. A helyzet a GM enzimgyártó rendszerekkel változott meg gyökeresen, ma olcsón, kiváló minőségben és gyakorlatilag tetszés szerinti mennyiségben lehet ipari enzimeket előállítani.

A növényekben képződő keményítő összetételét és tulajdonságait is meg tudjuk változtatni genetikai módosításokkal. Kukoricából és burgonyából is van már olyan változat, amelyben a raktározott keményítő tulajdonságait úgy sikerült megváltoztatni, hogy enzimatis lebontásuk gyorsabb, egyszerűbb lett. Ha ezeket a keményítőforrásokat használjuk bioüzemanyag gyártására, a folyamat hatékonyabban végezhető el, ami a technológia gazdaságosságát javítja.

A következő generációs megújuló energiahordozók alapanyagként lignocellulóztnak használni. A lignocellulózból keletkezik a legtöbb a Földön, ezért

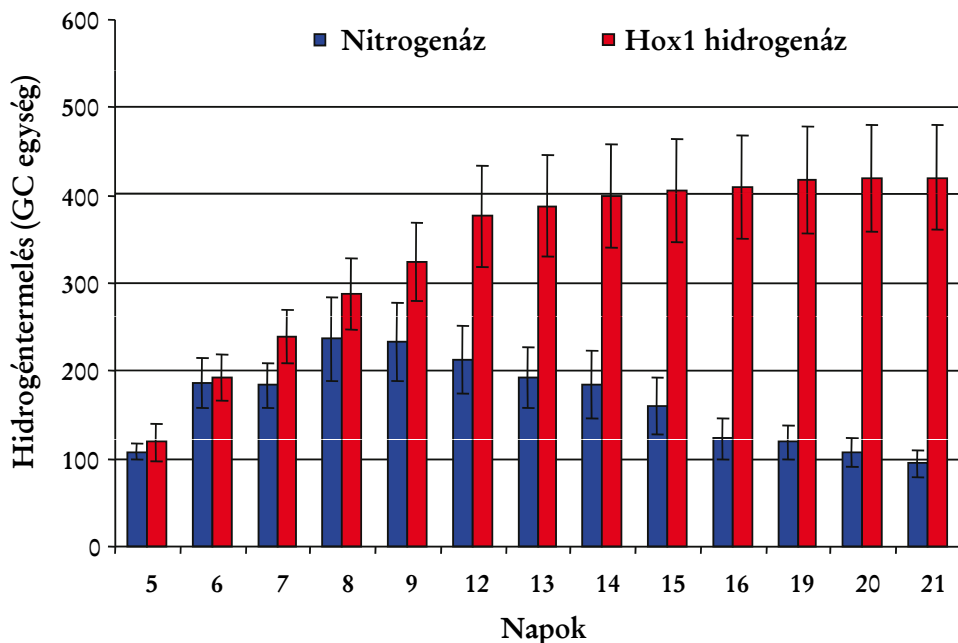
olcsó. Szerkezete azonban meglehetősen stabil, ezért a ma ismert mikrobák közül csak kevesen, és azok is nagyon lassan tudják hasznosítani. A világ számos laboratóriumában kutatják a hatékony lignocellulóz-bontás lehetséges útjait. Megfelelő átalakítás után a hidrolizált lignicellulózból etanol, butanol, biometán vagy biohidrogén is nyerhető. Ezzel a globális környezeti katasztrófákkal fenyegető, nagymértékű fosszilis energiahordozó-felhasználásunkat tudjuk helyettesíteni, ismét élhetővé tenni a Földet.

Energiatermelést a napenergia közvetlen hasznosításával vagy a biomassza fermentációjával érhetünk el. A fotoszintetizáló mikroszervezetek, mint az algák, cianobaktériumok vagy fotoszintetizáló baktériumok is genetikailag módosíthatók. A cél ilyenkor az energiatermelő anyagsereutak módosítása úgy, hogy az energia nagyobb része a számunkra hasznos energiahordozó előállítására fordítódjon. Egy kiváló és friss példa az izobutilaldehid előállítása egy cianobaktériummal. A cianobaktériumok az algákhoz hasonlóan teljes fotoszintézist végeznek, testük anyagait a fényenergia segítségével a légkörből kivont széndioxidból építik fel. A szén-dioxid felhasználásával önmagában is nagy szíveséget tesznek, hiszen ez a gáz nagymértékben felelős a globális felmelegedésért. Egy alaposan tanulmányozott cianobaktérium, a *Synechococcus elongatus* genomjába négy enzimet kódoló gént ültettek be baktériumokból. Így egy teljesen új anyagsereutat hoztak létre, és a gazda cianobaktérium a szén-dioxidból izobutilaldehidet gyárt. A termék illékony, tehát kinyerése könnyen megoldható. Ez a vegyület számos fontos anyaggá átalakítható, például izobutanollá, ami a benzin potenciális kiváltója lehet.

Az alternatív energiahordozók közül környezetvédelmi szempontból a hidrogén emelkedik ki. Ez ugyanis felhasználáskor vízzé ég el, ami egyáltalán nem szennyezi a környezetet, ráadásul a hidrogén viszonylag jól tárolható és szállítható, már a mai technológiákkal is. Hidrogént biológiai úton is elő lehet állítani: az algák és cianobaktériumok a napenergiát vízbontáson keresztül hasznosítják. A reakcióban bizonyos körülmények között hidrogén is keletkezhet. A felhasználáskor a két gáz vízzé alakul, ezzel záródik a ciklus, amelyet a kimeríthetetlen napenergia hajt.

A biológiai hidrogéntermelés molekuláris alapjainak megértése és az ismeretek hasznosítása nagyon fontos az alap- és alkalmazott kutatások szempontjából egyaránt. A hidrogén-anyagsere kulcsenzime a hidrogenáz, amely a biológiában előforduló legegyszerűbb reakciót katalizálja, azaz elektronokból és protonokból molekuláris hidrogént tud előállítani. Az egyszerűnek tűnő feladatot meglehetősen bonyolult molekuláris rendszer végzi. A hidrogenázok metalloenzimek, az aktív helyükön fématomokat tartalmaznak, ami vas vagy vas-nikkel kombináció lehet. A többi metalloenzimhez hasonlóan, ezek is nagyon érzékenyek, a levegő oxigénje, hőmérséklet-emelkedés vagy a kémhatás változása gyorsan inaktiválja őket. Az érzékenység viszont nem jó tulajdonság a biotechnológiai alkalmazás szempontjából. A fémtartalmú enzimekben a fehérjekörnyezet ruházza fel a fémionokat azokkal a különleges tulajdonságokkal, amelyek lehetővé teszik a katalitikus működést. Ezért a hidrogenázkutatás egyik alapkérdése a fehérje-fém kölcsönhatás természetének megismerése. A feladat nem egyszerű, mert a

rendelkezésre álló kísérleti módszerek egy része csak a fém centrumot, másik része pedig csak a fehérjében bekövetkező változásokat tudja megmutatni. A különféle molekuláris biológiai és biofizikai módszerek kombinálása eredményre vezethet. A fehérjerész véletlenszerű és tervezett megváltoztatása mutagenézissel, valamint az enzim idegen gazdában való termeltetése látszik alkalmas molekuláris biológiai beavatkozási stratégiának a stabil katalizátor létrehozására. Emellett szükség van az anyagcsereutak “átszervezésére”, hogy az energia a hidrogéntermelés felé terelődjön a sejtben (12.1. ábra).



12.1. ábra: Egy fotoszintetizáló baktérium (*Thiocapsa roseopersicina*) hidrogéntermelésének összehasonlítása. A kék oszlopok a napi termelt hidrogén mennyiségét mutatják a természetes, vad törzs esetében. Egy GM változat (piros oszlopok) más mechanizmussal, kitartóbb hidrogéntermelésre képes

A biomassza sötét fermentációja általában anaerob biotechnológiai eljárásokkal valósul meg, amelynek során kis értékű alapanyagokból, mint a szerves hulladékok, értékesebb anyagokat állítunk elő. Ha a környezetbe kerülő, másra nem használható “hulladékokat” alakítjuk át, azzal a technológia gazdaságosságát növeljük, hiszen az értékes anyag termelésével egyben környezetvédelmi, hulladékkezelési problémákat is megoldunk. Az anaerob fermentációs eljárások is alkalmasak különféle megújuló energiahordozók előállítására. Egy ilyen, rohamosan fejlődő fejlesztési irány a butanol előállítása. Bizonyos *Clostridium*-fajok komoly mennyiségben képesek butanolt gyártani, amikor az anyagcseréjüket ún. oldószergyártó módba kapcsolják át. Az oldószergyártás (szolventogenezis) során azonban a

butanol mellett etanol, aceton és valamennyi szerves sav is keletkezik, amire ez esetben nincs szükségünk. Annak érdekében, hogy a baktérium lehetőleg csak tiszta butanolt gyártson, azokat az alternatív anyagcsereútvonalakat, amelyekre nincs szükségünk, az ott fontos kulcsenzimek kiütésével, inaktiválásával zárjuk le. Így növelni lehet a folyamat gazdaságosságát, de persze ügyelni kell arra is, hogy a baktériumok változatos megoldásokat ismernek és alkalmaznak arra, hogy az anyagcseréjükbe való beavatkozási szándékainkat kivédjék.

Az élelmiszeriparban a termékek előállításában és tartósításában egy másik anaerob baktériumcsoport, a tejsavbaktériumok jeleskednek. Számos élelmiszer előállításában használjuk őket, például a sajt készítés elengedhetetlen segítői. A tejben legnagyobb mennyiségben levő fehérjekomponens a kazein. A kazein egy nagyon hidrofób fehérje, a vizes közegben maradását egy másik fehérje segíti, amit Kappa-kazeinnek neveztek el. A Kappa-kazeinben hidrofób és hidrofil részek is találhatóak, a hidrofób fehérjerész kötődik a kazeinhez és beburkolja a hidrofil részt kifelé, a vizes fázis felé mutatva. Ahhoz, hogy a tejből a sajtgyártás érdekében a kazeint kinyerjük, ezt a Kappa-kazeint el kell távolítani. A Kappa-kazeint egy fehérjebontó enzim, a rennin vagy más néven kimozin tudja szelektíven lebontani. A védőfehérjétől megfosztott kazein ilyenkor kicsapódik a tejből, kiszűrhető, ebből készül a sajt. Kimozint termelnek a kérődző állatok borjai, az oltógyomorban képződő enzim számukra is a tej hasznosítását teszi lehetővé. A hagyományos, évszázadok óta gyakorolt sajtgyártási technológia ezt a megfigyelést hasznosította, a kazein kinyerését borjúgyomorral indították. Az ipari léptékű élelmiszer-tartósítási igény és nagyüzemi sajtgyártás az 1960-as években indult meg, ehhez már nem volt elegendő a borjúgyomorból kinyerhető kimozin mennyisége. Mikroorganizmusokat ruháztak fel az enzim-előállítás képességével úgy, hogy az enzimfehérjét kódoló géneket ilyen gazdában fejeztették ki. A termelt enzim megkülönböztethetetlen az állatokból kivont kimozintól, felhasználásával az eredeti enzimkivonathoz jobb termékeket lehetett készíteni. Az első rekombináns kimozin enzimet 1981-ben szabadalmaztatták, ma élesztőkben termelik. 1988-ban a kimozin volt az első GM enzim, amelynek élelmiszeripari felhasználását engedélyezték. A termék ugyanúgy viselkedik, mint a borjúból származó enzim, de aktivitása pontosabban szabályozható és szennyeződést sem tartalmaz. Ma a sajtgyártás 90%-ban genetikailag módosított rendszerben termelt kimozint használ. Ebben az esetben viszonylag könnyű volt a GM termék elfogadtatása, hiszen a termelő GM mikroba nincs jelen a sajtgyártás során, csak az általa termelt és kiválasztott kimozin, ami ráadásul tökéletes mása a borjúgyomorból izolálható enzimnek. Maga az enzim is lebomlik a sajt érlelése során, tehát a végtermékben már nincs jelen.

A tejsavbaktériumok az ember életében fontos szerepet játszanak, nemcsak nyers táplálékainkban találjuk meg őket, hanem emésztőszervrendszerünkben is állandó társaink. A tejfeldolgozás mellett a hústermékek és más élelmiszerek tartósításában is fontosak. Ezek az élelmiszer minőségű baktériumkultúrák javítják a termék eltarthatóságát, tápértékét, ízét és minőségét. Tejsavbaktériumokat használnak különböző élelmiszer-adalékok és aromavegyületek előállítására is. Ezek a parányi lények, probiotikumként, az őket fogyasztó emberek általános egészsé-



gi állapotát javítják. A tejsavbaktériumok, más mikrobákhoz hasonlóan, spontán mutációkon mennek keresztül, ilyenkor megváltozott tulajdonságú törzsek jönnek létre. A mutációk gyakorisága különböző környezeti hatásoktól függ, ilyenek a növekedési körülmények, sugárzások vagy a mutagén vegyületek előfordulása és felvétele. Régóta bevált eljárás a spontán mutánsok előállítására, amelyek közül a kedvező tulajdonságokat mutató leszármazottakat válogatják ki a további élelmiszeripari felhasználásra. Például egy ilyen, nem kontrollált *Lactobacillus* törzs képtelen a tejsavtermelésre, de sokkal többet gyárt a diacetil nevű vegyületből, amely a vaj ízét adja. Ezért ezt használják a fontos zamatanyag termelésére. Hasonló módon a természetes törzsek nemkívánatos tulajdonságait meg lehet változtatni spontán mutánsok létrehozásával, és az azt követő fáradtságos szelekciós munkával. A hagyományos joghurt fermentációjánál a tejcukor csak részlegesen bomlik le. Ilyenkor felhalmozódik a termékben a galaktóz, amelyet bizonyos anyagcsere-betegségben szenvedő emberek nem tudnak megemészteni. Kemény munkával olyan *Streptococcus* törzset szelektáltak, amely a galaktózt tudja hasznosítani, így a probléma megoldhatóvá vált. Mindezek a törzsek természetesen szintén GMO-k, csak előállításuk kiszámíthatatlan és nagyon munkaigényes.

A random mutagenézis alternatívája a DNS célzott megváltoztatása. A genetikai módosítás lehet egyetlen bázispár megváltoztatása, mutáció, új gének beillesztése a kromoszómába, vagy DNS-szakaszok eltávolítása, aminek eredményeként bizonyos képességek elvesznek. A nagyipari élelmiszer-termelés egyik komoly problémája, hogy a fermentációs eljárásoknál használt baktériumkultúra könnyen befertőződik bakteriofágokkal, ezért a hasznos mikrobák elpusztulnak. Az ipari törzseket fág rezisztencia génekkel lehet transzformálni, ezzel megvédjük őket. A mai szabályozás szerint, ha ezek a gének egy másik tejsavbaktériumból származnak, akkor az előállított GMO az ipari termelésben felhasználható, egyébként csak legfeljebb hosszadalmas engedélyezési eljárás után. Az élelmiszereink meghatározó tulajdonsága annak textúrája. Ha olyan géneket viszünk be például, amelyek exopoliszaccharidokat termelnek, a termék viszkozitása tetszés szerint szabályozható.

Ami az élelmiszer-termeléssel kapcsolatos veszélyeket illeti, hangsúlyozni kell, hogy a random mutagenézissel előállított törzseket nem tekintik GMO-nak, pedig nyilvánvaló, hogy kiszámíthatatlan genetikai változások az ilyen törzsekben is előfordulhatnak. A mesterségesen és célzottan bevitt idegen gének átjutása más mikrobákba, horizontális génátvitellel, szintén nem zárható ki, ez riasztja az engedélyező szerveket. Ha azonban a bevitt genetikai elemek, például olyan tejsav- (vagy egyéb) baktériumokból származnak, amelyekkel régóta együtt élünk, akkor új veszélyeztető elem nem kerül a rendszerbe.

## 13. GMO-k mint gyógyszeralapanyagok és funkcionális élelmiszerek

TAMÁS LÁSZLÓ ÉS OSZVALD MÁRIA

A XX. század végén, a hagyományos nemesítéssel szorosan összefogva, új módszertani lehetőség jelent meg a nemesítés tudományában. Ez a géntechnológiai úton történő nemesítés. Segítségével laboratóriumi körülmények között, célzott módon illeszthető be egy gén vagy gének csoportja egy minden más tulajdonságában kiváló növény örökítő anyagába, melyből az hiányzik. A nemesítő által kiválasztott tulajdonsághoz köthető vagy azt befolyásoló, hasznos tulajdonságot hordozó gén származhat ugyanabból a növényből, de annak másik fajtájából (búza-búza), közeli rokon fajtából (búza-rizs), egy másik növény családból (búza-amarantusz), de akár egy teljesen eltérő élőlényből is (búza-baktérium).

Az első géntechnológiai úton módosított növények olyan új tulajdonságokkal rendelkeznek (permetezőszerrel, kórokozókkal, rovarokkal szembeni ellenálló képesség), melynek eredményeként a termés mennyisége stabilizálható, a kártevők okozta termésveszteség csökkenthető. Az elmúlt 15-20 évben azonban új szempontok is előtérbe kerültek a géntechnológiai módszerrel nemesített növények kapcsán. A kutatások a termés mennyiségén túl, annak minőségére és a minőség javítására irányulnak. Az ehhez szükséges ismeretek jelentős része mind fehérje-, mind génszinten, valamint a génműködés szabályozásának szintjén is a kutatók rendelkezésére áll. Ezek segítségével a növényi termékek s a belőlük készült élelmiszerek minősége jól tervezhetően javítható és a fogyasztói igényeknek megfelelően módosítható. Az így nemesített növények felhasználása a fogyasztó, a társadalom számára hasznos lehet, hiszen az újfajta alapanyagok alkalmazása az alábbi előnyökkel járhat, többek között:

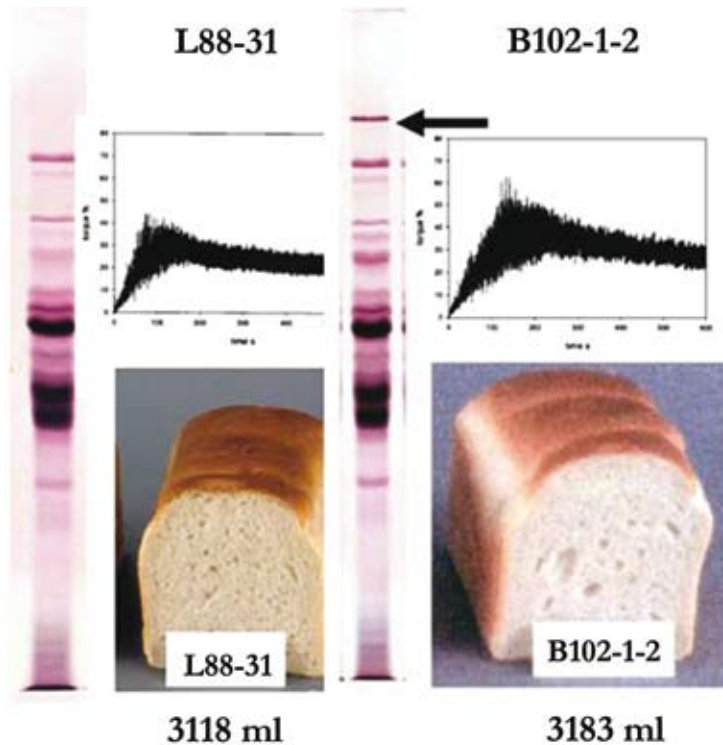
1. Egészségesebb élelmiszerek, melyek védik az egészséget, vagy rendszeres fogyasztással megelőzhető bizonyos betegségek.
2. Allergiás betegségben szenvedők által is fogyasztható, a korábban megszo-  
kothoz hasonlító termékek.
3. Táplálkozástani értékükben javított élelmiszerek, melyek segítik az egészsé-  
ges, kiegyensúlyozott táplálkozást.
4. Külső megjelenésükben szebb, jobban eladható termékek, melyek előállításá-  
együtt járhat a feldolgozás energiaigényének csökkenésével is.
5. Hosszabb ideig árusítható zöldségek, gyümölcsök, melyek lassabban rom-  
lanak a boltok polcain, s így kevesebb áru megy veszendőbe.

A minőségi tulajdonságok javítására irányuló kutatások első és nagyon ígéretes eredménye volt a hosszú ideig eltartható, ezért a szállítás során és a bolt polcán nem romló paradicsom előállítása. A Flavr Savr néven ismertté vált paradicsomot az Egyesült Államok erre illetékes szervezete (*Food and Drug Administration*) megvizsgálta, és 1994-ben azt a hivatalos véleményt fogalmazta meg, hogy ezen

paradicsom fogyasztása ugyanolyan biztonságos, mint a hagyományos módon nemesített paradicsomoké. Kereskedelmi forgalmazását engedélyezte. A Flavr Savr paradicsom ízét hagyományos nemesítési módszerrel tovább javították, de mégsem lett sikertörténet belőle, mert a paradicsom nem minden minőségi tulajdonságában váltotta be a hozzá fűzött reményeket. Komoly piaci előnyt jelentett ellenben a feldolgozás során elért jelentős mértékű költségcsökkenés. A GM paradicsomból készült pürét ezért 20%-kal olcsóbban árulták a boltokban. Európában, például az Egyesült Királyságban is lehetett kapni a megfelelően jelölt paradicsompüré konzervet 1996 és 1999 között.

A búzalisztból készült kenyér és pékáru Magyarországon, de Európa más országaiban is fontos, mindennap fogyasztott élelmiszer-ipari termékek, melyek külső megjelenése is meghatározza azok eladhatóságát. A búza, és a belőle készült liszt minőségét többféleképpen jellemzik. A molnárok számára lényeges kérdés a szemkeménység, míg a pékek számára a liszt vízfelvevő képessége és a tészta dagasztási tulajdonságai fontosak. A pékek a két utóbbi tulajdonságot adalékanyagok hozzáadásával képesek befolyásolni. A múlt század végén a táplálkozás terén elindult szemléletváltozás azonban egyre kevésbé fogadja el ezt a gyakorlatot.

A vásárlói igényeket magas fokon kielégítő termék előállítására alkalmas, adalékanyagot nem igénylő liszt származhat géntechnológiai úton nemesített búzából is. A liszt funkcionális tulajdonságainak javításához szükséges tudás rendelkezésre áll. A dagasztás során kialakuló siker szerkezetét, annak erősségét, így a kenyér fizikai megjelenését is meghatározó fehérjék jól ismertek. Kísérletesen igazolták, hogy a legerősebb hatással bíró HMW glutenin alegységfehérje mennyiségének növelése a lisztben jelentősen megváltoztatja a tészta dagasztási paramétereit, javítja a végtermék minőségét. Az 1996-ban előállított transzgenikus búza segítségével bizonyították, hogy a liszt funkcionális tulajdonságai stabilan módosíthatók. A kiterjedt nemzetközi együttműködés keretei között folytatott kísérletekben magyarországi kutatók is részt vettek. Megállapították többek között, hogy a transzgenikus búzából előállított liszt hozzákeverése gyengébb minőségű liszthez jelentősen javítja annak funkcionális tulajdonságait. A GM búza alkalmas javító minőségű búzaként való felhasználásra, melyre komoly kereslet van a világpiacra. Az elmúlt 15 évben különös körültekintéssel elvégzett kísérletek és vizsgálatok alapján kijelenthető, hogy lehetséges olyan GM búzavonalak előállítása, melyek alapvetően nem különböznek a hagyományos nemesítéssel létrehozott búzafajtáktól (13.1. ábra)



**13.1. ábra: A búza Ax1 HMW glutenin alegységfehérje mennyiségének növelése pozitív hatású a búzaliszt sütőipari minőségére.** (Shewry, P. R. és mtsai, 2008, *Plant Biotechnology: Transgenic Crops*. Food Biotechnology Book Series: Advances in Biochemical Engineering/Biotechnology, 111: 149)

A transzgénikus búza (102-1-2) lisztjéből sült kenyér térfogata magasabb, mint a nem transzgénikus búzalisztból sült kenyéré. A transzgénikus búzában megjelenő extra fehérjét nyíl jelzi a fehérjék elektroforetogramján. A dagasztás során regisztrált görbe (keretes ábra) eltérő, mely mutatja, hogy a transzgénikus búzalisztból készült tészta erősebb, rugalmasabb.

A búza és más gabonafélék fontos élelmiszer-alapanyagok, de fogyasztásuk veszélyekkel is járhat az arra érzékenyek számára. Napjainkban egyre több ember szenved a búzaliszt fogyasztásával kapcsolatba hozható valamilyen allergiás betegségben. Ennek nagyon sok formája van, melyek közül talán a legismertebb a gluténérzékenység, vagy cöliákia. Egy másik betegségecsoport, az előzőtől eltérő tüneteket okozó lisztintolerancia, a lakosság körülbelül 10-15%-át érinti. A tudomány kísérletekkel igazolta, hogy az allergiát a lisztben lévő fehérjék váltják ki, de nem minden fehérjetípus allergén minden beteg számára. Az érzékenyek számára a búzalisztból készült termékek fogyasztása nem ajánlott, sőt sok esetben tilos. Sajnálatos módon ezek helyettesítése, kiváltása jelenleg nagyon nehézkes és költséges.

A ma elfogadott álláspont szerint a kukorica és a rizs szemterméséből készült termékek allergén hatása jóval kisebb, azokat a búzalisztre érzékenyek többsége fogyaszthatja. Kukorica-, illetve rizslisztből azonban nagyon nehéz a búzalisztből készíthető termékekhez hasonlólt előállítani, mert a speciális tulajdonságú tartalékfehérjék hiányoznak belőlük. E probléma megoldása lehet a kukorica és a rizs szemtermésének módosítása géntechnológiai módszerrel. A módosítás következtében lisztjükben megjelenik egy vagy több búzafehérje, aminek eredményeként tézta készíthető belőle, bár gyengébb minőségben. Ezeket a termékeket az allergiás betegek jól meghatározható köre fogyaszthatja, így javítható életminőségük.

A Magyarországon folyó kutatások arra a kérdésre keresnek választ, hogy a transzgénikus rizslisztben megjelenő búza HMW glutenin alegységfehérje hogyan befolyásolja a rizstészta dagasztási tulajdonságait, és az allergiás betegek mely csoportja fogyaszthatja az ebből készült termékeket.

A világ egyik nagy problémája az éhezés. A Föld lakosságának egy hatodát érinti, több mint egy milliárd embert. Még ennél is több embernek azonban nem az élelmiszer mennyisége, hanem annak a minősége okoz gondot. A FAO adatai szerint az emberek fele nem jut hozzá megfelelő táplálkozási értékű élelmiszerhez, s az ún. láthatatlan éhezéstől szenved. Az elfogyasztott élelmiszer számukra nem biztosítja az emberi szervezet egészséges fejlődéséhez, az egészség megőrzéséhez nélkülözhetetlen összetevőket. Ez többek között úgy védhető ki, ha a táplálék fehérjemennyiségén túl a fehérje aminosav-összetétele, valamint a mikro- és nyomelemtartalma is javul. Az egészséges étrendhez ezenkívül megfelelő mennyiségű- és minőségű vitamin, zsír, zsírsav, olaj, antioxidáns és rostanyag bevitele szükséges. Ezt a megfelelő arányban elfogyasztott zöldség, gyümölcs és hús biztosítja, mely a lakosság jelentős része számára elérhetetlen. Az egyik lehetséges megoldás az élelmiszerek minőségének javítása adalékanyagok hozzáadásával. Az ipar által előállított, az élelmiszeriparban felhasznált mesterséges anyagokkal szemben azonban egyre erősebb a társadalmi ellenállás. Hosszabb távon fenntartható megoldást jelenthet, ha a hiányzó magas értékű komponenseket maga a növény állítja elő. Az élelmiszernövények táplálkozási értékének növelését biofortifikációnak nevezzük. Ennek két megközelítési módja a hagyományos és a géntechnológiai módszerrel támogatott nemesítés. Mindkettő számos előnnyel jár, bár korlátaik is vannak. A két módszer azonban jól kiegészítheti egymást. Az így előállított növények termesztésével a szegény, nehéz körülmények között, távoli vidékeken élő emberek is hozzájuthatnak olyan, helyben termesztett táplálékhoz, mely javítja életminőségüket. A biofortifikáció hatalmas ígéret nemcsak a szegények számára, hanem a fejlett világ lakosságának is.

Az alábbiakban néhány példa olvasható a megnövelt táplálkozási értékű transzgénikus növények felhasználási lehetőségeiről.

A minőségi alultápláltság egyik jellemzője a táplálék alacsony mikroelem-tartalma. Például a cink hiánya a WHO adatai szerint évente közel 800 ezer gyermek halálát okozza, de a vérszegénységet okozó vashiány is óriási probléma világszerte. A géntechnológiai módszerrel nemesített növények termesztésével jelentősen csökkenthető a halálozások száma, a betegek aránya. A GM növényben

irányítottan létrehozott változás eredményeképpen, például a raktározott formában jelen lévő mikroelemek az emésztőrendszer számára hozzáférhetővé válnak, s így felszívódhatnak a tápcsatornában.

Az elfogyasztott táplálék fehérjetartalma sok esetben elegendőnek látszik, azonban annak aminosav-összetétele nem megfelelő. A fehérjét felépítő aminosavak közül az emberi szervezet tízet nem képes előállítani, így azokat külső forrásból kell biztosítani. Ezeket nevezik esszenciális aminosavaknak. A gabonafélék tartalékfehérjei esszenciális aminosavakban szegények, ezért táplálkozástani értékük alacsony. A gabonafélék biofortifikációjára felhasznált fehérjégenek általában kétszikű növények tartalékfehérjeit kódolják. E fehérjék közös jellemzője, hogy az átlagnál magasabb arányban tartalmaznak esszenciális aminosavakat.

Magyarországon is sikeres kísérleteket folytattak a búzaliszt táplálkozástani értékének növelésére géntechnológiai úton. A GM búza tartalmazza a WHO által is nagy táplálkozástani értékűnek mondott, egy amarantusz növényből (*Amaranthus hypochondriacus*) származó, AmA1 fehérje génjét. A búza szemtermésének lisztet adó szövetében (liszttest) termelődött fehérje hatására a liszt esszenciális aminosav-tartalma, valamint annak funkcionális tulajdonságai is javultak.

Az alacsony értékű, nem kiegyensúlyozott táplálék fogyasztásának további következménye lehet a vitaminhiány, mely betegségek sorát eredményezheti. Ilyen például az A-vitaminhiányra visszavezethető vakság, mely a világban évente körülbelül 250-500 ezer gyermek vakságát okozza. Az egyik, széles körben elterjedt megoldás az étrend kiegészítése többnyire szintetikus eredetű vitaminokkal. Ezeket azonban a növény is képes nagy mennyiségben szintetizálni, a természetes körülmények között előforduló koncentráció többszörösét termelni és raktározni a megfelelő szövetekben, ha rendelkezik a folyamathoz szükséges enzimekkel. A géntechnológiai módszerrel erre felkészített növénynek több előnye is van. Az így szintetizált vitamin természetes anyag, és a vitaminnak kizárólag az aktív térszerkezeti formája keletkezik. Ezenkívül a folyamat energiaigényét a növényben, mint bioreaktorban, a Nap biztosítja. Kutatásokkal bizonyított, hogy az alapélelmiszernek számító rizs liszttestében megnövelhető az A-vitamin provitaminja, a béta-karotin mennyisége. A kizárólag a liszttestben felhalmozódó színes anyag miatt a hántolt rizs sárga színű. Innen kapta a nevét, „Aranyszemű rizs”. Sem ez a rizs, sem a később előállított „Aranyszemű rizs 2”, mely a béta-karotint 23-szoros mennyiségben tartalmazza, nem kapható kereskedelmi forgalomban.



13.2. ábra: Nem transzgénikus (fehér) és transzgénikus (sárga) rizsszemek

A növények nemcsak élelmiszer- és ipari alapanyagként, hanem gyógyításra is használhatók. Ebben, a gyógynövények mellett egyre nagyobb szerepe lesz a genetikailag módosított növényeknek is az elkövetkező évtizedekben. A gyógyszeralapanyagok, gyógyszermolekulák egy csoportjának előállítása baktérium-, gomba- és állati sejtenyészetek helyett teljes növény felhasználásával is történhet. A növényi sejtek mint kis bioreaktorok szintetizálják a speciális molekulát, melyet tisztítás után vagy tisztítás nélkül hasznosítanak. A szintézishez szükséges program géntechnológiai módszerrel beültethető a sejtmagba, vagy a növényi sejtben nagy számban lévő kloroplasztiszok genetikai állományába. A kloroplasztisz-transzformált GM növények általában nagyobb mennyiségben termelik a sejt számára idegen anyagot. A GM növények által előállított értékes molekulák lehetnek gyógyászati alapanyagok (tripszin), monoklonális antitestek (immunoglobulin) és ehető vakcinák (kolera ellen immunitást biztosító fehérje). A gyógyszeripari alapanyagot termelő transzgénikus növény szántóföldi termesztése számtalan előnnyel jár. Hasznosítja például a természet erőforrásait (napfény, csapadék, talaj). Kisebb környezeti terhelést jelent, kevesebb szennyező anyagot termel, mint a hagyományos fermentor. A növény magjában, szemtermésében szintetizálódó rekombináns fehérje hűtés nélkül is hosszú ideig stabil, jól tárolható. A vakcina-antigént termelő növény további előnye, hogy a hatóanyag tisztítás nélkül is alkalmazható, használata nem igényel injekciós tűt, melynek megsemmisítése költséges.

Kezdetben a jól transzformálható dohány volt a legnépszerűbb célnövény, de számos hátránya miatt az utóbbi években más növényeket alkalmaznak gyógyszer, gyógyszeralapanyagok előállítására, (banán, burgonya, cukornád, kukorica, borsó). Fontos, hogy az idegen molekula nagy tömegben termelődjön, a termés könnyen gyűjthető, szállítható és raktározható legyen.

Az első gyógyászati célra használható fehérjét (emberi növekedési hormont)

termelő GM dohányt 1986-ban állították elő. Napjainkra több ezer tudományos közlemény jelent meg, melyek több mint száz gyógyításban használható molekula (hormon, immunoglobulin, interferon, interleukin, növekedési faktor, humán autoantigének, valamint vírus és baktériumok elleni antigének) előállításáról és alkalmazásának eredményeiről szólnak. A növényben, illetve annak kloroplasztiszában termelt fehérjék közül sokat klinikai vizsgálatokban is ellenőriztek, s az eredmények nagyon biztatóak.

Magyarországon a kutatások ehető vakcina előállítására irányulnak. Az immunizálásra szolgáló, betegséget nem okozó bakteriális eredetű fehérjéket transzgenikus rizsvonalakban szintetizáltatták. Bizonyították, hogy a GM rizs szemtermésének liszttestében elegendő mennyiségű rekombináns antigén fehérje termelődik ahhoz, hogy néhány gramm nyers rizs elfogyasztása megfelelő számú ismétlésben védelmet nyújtson *E. coli*- vagy kolerafertőzéssel szemben.

### Összegzés

A géntechnológiai módszerrel nemesített növények mind a fejlődő, mind a fejlett világ fogyasztói számára hasznosak, mert a fogyasztói igényeket a speciális elvárásoknak megfelelően képesek biztosítani. A fejlődő világban élő ember ezáltal könnyebben jut tápanyagban gazdagabb, egészséges élelmiszerhez, amit saját maga is megtermelhet. A fejlett világ embere olcsóbban juthat magasabb fogyasztói igényeit kielégítő élelmiszerhez, amely egyúttal egészségmegőrző táplálkozását is szolgálhatja.

A GM növények alkalmazása jó alapot biztosíthat a hosszú távon fenntartható fejlődéshez, mert alkalmazásával csökkenhet az üvegházhatású gázok kibocsátása, a feldolgozás során felhasznált energia mennyisége, a környezet terhelése (növényi biofermentorok alkalmazása).



## 14. A GM növények gazdasági hatásainak áttekintése

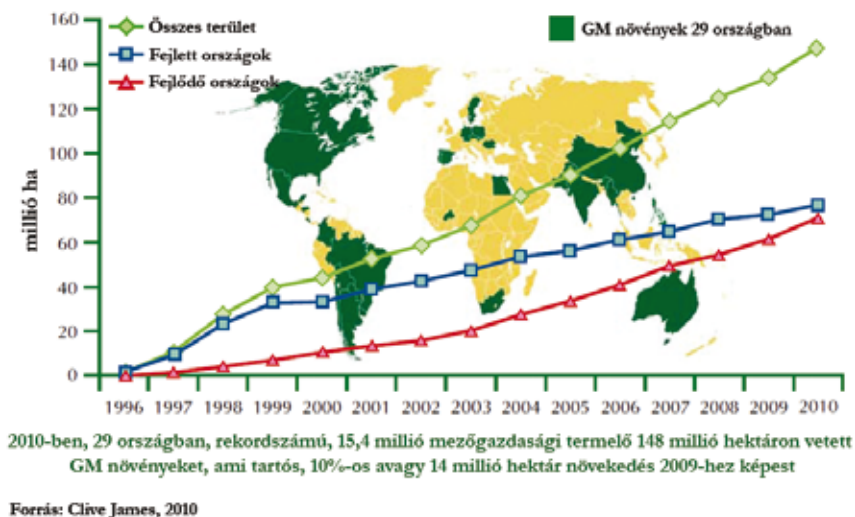
POPP JÓZSEF ÉS POTORI NORBERT

A világ gyorsan növekvő élelmiszer-szükségletének kielégítése hosszú távon csak a korlátozottan rendelkezésre álló erőforrások fenntartható használatával valósítható meg. A mezőgazdaságnak a jövőben sokkal hatékonyabban és körültekintőbben kell gazdálkodnia a megművelhető földterülettel, a szűkös vízkészletekkel, a gyorsan fogyatkozó fosszilis energiahordozókkal, és sok térségben a korábbinál lényegesen kevesebb műtrágyát és kemikáliát juttathat ki a környezetbe. Ehhez persze nem az archaikus gazdálkodási módszerek és struktúrák újraélesztésére, hanem az innovatív technológiák széles körű alkalmazására és társadalmi változásokra van szükség – vallják a francia agrárgazdasági kutatóintézet (INRA) és a fejlődő országokkal együttműködő nemzetközi agronómiai kutatási központ (CIRAD) egyik közös, 2010 januárjában kiadott tanulmányának szerzői.

Az innovatív technológiák közül kiemelendő a géntechnológiával módosított (GM) növények termesztése. A GM vonalak (vektorkonstrukciók) száma az elmúlt években rohamosan nőtt, és a várakozások szerint megháromszorozódik az elkövetkező fél évtizedben, 2015-re elérheti a 120-at. Haszonnövényeink közeljövőben piacra kerülő hibridjei olyan új minőségi tulajdonságokkal rendelkeznek majd, mint a fagy- és hidegtűrés, szárazságtűrés, sőtűrés, vírusrezisztencia, gombarezisztencia, lassú érés, emberi vagy állati fehérjék termelése, enzimek előállítása stb.

### Elterjedésük a világban

A GM növények, illetve ezek származékai (önmagukban és keveredve egyaránt) évről évre nagyobb volument képviselnek a nemzetközi kereskedelemben, és egyre jelentősebb részesedéssel bírnak a világ takarmány-, illetve élelmiszerláncában. Az agrár-biotechnológiai alkalmazások felkarolásán munkálkodó nemzetközi szolgálat (ISAAA) becslése szerint világszerte összesen 25 ország mintegy 14 millió gazdaságában termesztettek GM növényeket 2009-ben és 57 országban használták fel ezeket. A GM növények vetésterülete 134 millió hektárt tett ki, a globális szántóterületből képviselt részarányuk elérte a 9%-ot. A 2010. évi adatok szerint 148 millió hektárra nőtt a GM növények vetésterülete. A fejlődő országokban 61,5 millió hektárra kerültek GM fajták. A biotechnológia legfontosabb alkalmazói Argentína, Brazília, India, Kína, Paraguay és Dél-Afrika (*14.1. ábra*).



14.1. ábra : A biotechnológiai növények vetésterülete a világon (millió ha 1996-2010)

A GM növények közül a szójabab foglalta el a legnagyobb területet 2009-ben, 69 millió hektárt, ami a termény globális vetésterületének 77%-ával volt egyenlő. Második helyen, 41 millió hektárral a GM kukorica állt, részaránya a kukorica összes vetésterületéből 26%-ra emelkedett. Majd a GM gyapot és a GM repce következett 16 millió és 7 millió hektárral, amivel 49%-os, illetve 21%-os részarányt képviseltek a globális vetésterületből.

A herbicidtoleráns GM növényeket összesen 83,6 millió hektáron, a rovarrezisztens fajtákat 21,7 millió hektáron, míg a két- és háromvonalas GM hibrideket már 28,7 millió hektáron vetették.

Az Egyesült Államokban és Argentínában a szójaterület 91%-án, illetve 98%-án termesztettek GM fajtákat 2009-ben. Braziliában a szójabab vetésterületének 71%-ára került GM vetőmag, pedig a GM fajták termesztését hivatalosan csak 2005-től engedélyezték. Az Egyesült Államokban a kukoricaterület 85%-án, Argentínában 50%-án nőttek GM fajták 2009-ben. Bár a brazil kormány csupán 2008 februárjától engedélyezte a MON810 kukorica termesztését, a GM fajták részaránya az ún. nyári kukorica esetében elérte a 30%-ot, a téli kukoricánál (safrinha) az 53%-ot 2009-ben. Mindezekén túl még említést érdemel, hogy a világ vezető repcemagexportőr országában, Kanadában a GM repce ugyanebben az évben már 93%-kal részesedett a vetésterületből.

Az Európai Unióban az egyetlen termesztett GM növény a rovarrezisztens MON810 (Bt) kukorica. Bár termesztése szintén engedélyezett, a piacon nem beszerezhető a herbicidtoleráns T25 kukorica. A MON810 kukorica vetésterülete 94 850 hektárt (az összes kukoricaterület 1,1%-a) tett ki 2009-ben, ami 12%-os csökkenést jelentett a 2008. évihez és 14%-os visszaesést a 2007. évihez képest. A GM kukoricát termesztő tagállamok sorából 2008-ban lépett ki Franciaország,

ahol 2007-ben még 21 147 hektáron termesztették a Bt kukoricát. Németország, ahol 2008-ban 3 173 hektárt foglalt el a GM fajta, 2009-ben moratóriumot hirdetett. A MON810 kukoricát a legnagyobb területen, összesen 76 057 hektáron Spanyolországban termesztették 2009-ben. A sorban másodikként Csehország (6 480 hektár), majd Portugália (5 094 hektár), Románia (3 344 hektár), Lengyelország (3 000 hektár) és Szlovákia (875 hektár) következett. Megjegyzendő, hogy Romániában az EU-csatlakozás előtti években 90-110 ezer hektáron termesztettek jórészt GM (RR) szójababot. Ehhez képest a növény vetésterülete az elmúlt két évben csupán 45 ezer hektár körül alakult, mivel a herbicidtoleráns RR szójabab termesztése az Európai Unióban nem engedélyezett.

### Gazdasági előnyek

Az Egyesült Államok Nemzeti Tudományos Akadémiája (NAS) 2010-ben átfogó tanulmányt publikált a GM növények környezeti, gazdasági és társadalmi hatásairól. Ennek szerzői arra a következtetésre jutottak, hogy a biotechnológia alkalmazásának, a GM növényfajták termesztésének a konvencionális mezőgazdasági gyakorlatban használatos hagyományos fajtákkal összevetve fontos környezeti és gazdasági előnyei vannak – mégha ezek nem mindig egyetemesek, sőt, idővel erodálhatnak is.

A tanulmány megállapítja, hogy a GM növények termesztése általában kevésbé terheli a környezetet, mint a hagyományos növényeké. A herbicidtoleráns GM vonalak térnyerése elősegíti a kíméletesebb talajművelésre történő átállást, aminek köszönhetően fékezhető a talajerózió. A Bt vonalak elterjedésével párhuzamosan csökken a rovarirtó szerek felhasználása, aminek hatása a környezetre, az élővilágra kedvező. A Bt-vonalakkal szemben egyes rovarokban kialakult rezisztencia gazdasági, illetve agronómiai következményei egyelőre csekélynek mondhatók. Ugyanakkor kétségtelen, hogy a GMO-szennyeződés a toleranciaszintek szigorúsága miatt komoly problémát jelent a hagyományos fajtákat előnyben részesítők (termelők, feldolgozók, felhasználók) számára.

Kiemelendő, hogy a GM vetőmagvak használatából és a kapcsolt termesztési technológiák alkalmazásából eredő gazdasági előnyök rendszerint meghaladják a többletköltségeket. A rugalmasabb, költségkímélőbb gyomirtásnak, továbbá a kártevők okozta termés kiesés csökkenésének köszönhetően a GM növényfajták hektárhozama a hagyományos fajtákénál rendszerint magasabb, így a betakarított termék tonnája vetített termelési költségük alacsonyabb.

A nagyobb hozamokból és az alacsonyabb termelési költségekből származó hasznot Brookes és Barfoot (PG Economics) 51,9 milliárd dollárra becsüli az 1996-2008 közötti időszakban. Növényvédőszer-hatóanyagokból 356 millió kilogrammal kevesebbet kellett kijuttatni, ami 8,4%-os megtakarítást jelent. A szántóföldi növénytermesztés globális kibocsátásának ezen időszakban megfigyelt növekedése a géntechnológia alkalmazása nélkül 62,6 millió hektárral nagyobb földterület megművelését feltételezte volna.

A NAS kutatói aláhúzzák, hogy a GM növények hatása a hagyományos növények és az állati eredetű termékek piacára még nem egyértelmű, ezért további ilyen

irányú vizsgálatokra van szükség. Emellett rámutatnak, hogy az agrár-biotechnológia társadalmi hatásait a tudomány mindezekéig nem kutatta kellő alaposással.

### **Engedélyezésük lassúságából eredő hátrányok**

Míg a főbb takarmányexportőr országok meglehetősen gyorsan zöld utat adnak egy-egy újabb GM fajta bevezetésének a köztermesztésbe, az Európai Unió engedélyezési eljárása lényegesen lassúbb és nehezekebb, hónapokkal vagy akár évekkel hosszabb lehet, ami mára oda vezetett, hogy számos GM fajta termelése, forgalmazása, felhasználása a világ több országában engedélyezett, ugyanakkor a Közösségben tilos.

Az Európai Unióban nem engedélyezett GM szervezetek véletlenszerű előfordulása egyáltalán nem tolerált. Ez azonban az elmúlt években egyre gyakrabban okozott fennakadást elsősorban az emberi fogyasztásra szánt rizs, továbbá a takarmányozásban fontos kukorica és a szójabab, illetve e termények származékainak (szójadara, kukoricaglutén, kukoricatörköly stb.) behozatalában. Ugyanis a kereskedelem csak nehezen (és drágán) tudja garantálni a 0,0%-os határértéket a tiltott GMO-összetevőkre.

Vegyük példaként a kontinensünk haszonállattartásban legfontosabb és túlnyomórészt importált fehérjeforrást, a szójababot. Az Európai Unió relatív súlya a szójabab globális kereskedelmében az évek során folyamatosan csökkent: a 2007/2008-2009/2010. gazdasági években harmadik országokból behozott, egy-egy szezonban átlagosan közel 13,8 millió tonna szójabab a termény nemzetközi forgalmának 16,8%-át képviselte, míg egy évtizeddel korábban, az 1997/1998-1999/2000-es gazdasági években 32,8%-os részaránnyal az EU-15 még a legnagyobb, legfontosabb vásárló volt. Ezzel szemben Kína rohamosan növekvő, a 2007/2008-2009/2010. gazdasági években átlagosan 43,1 millió tonna körüli behozatala már a nemzetközi kereskedelemben került szójabab 52,8%-ával volt egyenlő. Az ázsiai kereslet töretlen élénkülésének érzékelhető következménye, hogy az exportőrök számára egyre kevésbé fontos az EU piaca, az EU által támasztott követelmények. Az import forrásai tekintetében pedig az Egyesült Államok, Brazília, Argentína és Paraguay mellett nincs igazán alternatíva, hiszen ezen országok piaci részaránya 95% körüli.

A helyzetet jól illusztrálja, hogy Brazília biológiai biztonságot felügyelő szervezete (CTNBio) 2010-ben három új GM szójafajta termesztésére adott engedélyt a dél-amerikai országban, amelyek közül kettő, a Bayer herbicidtoleráns LibertyLink A5547-127 és a Monsanto kombinált herbicidtoleráns és rovarrezisztens Bt/RR2Y fajtájának piaci bevezetését a fajtatulajdonosok még többek között az Európai Élelmiszer-biztonsági Hivatal (EFSA) jóváhagyásától tették függővé, míg a harmadikét, a BASF és az Empraba közös, CV 127 herbicidtoleráns vonalét már nem.

A GM szójabab vetésterületének egyre növekvő túlsúlya értelemszerűen kihat az Európai Unióban jelölésre nem kötelezett vagy GMO-mentes szójabab, szójaolaj és szójadara nemzetközi kereskedelmére. A jelölésre nem kötelezett termények, illetve termékek előállításának és célba juttatásának költségei ugyanis lényege-

sen magasabbak, hiszen a termelésre, a feldolgozásra, a tárolásra és a szállításra, a keresztszennyeződések elkerülendő, sokkal szigorúbb előírások vonatkoznak. Az exportőrök a többletköltségeket természetesen érvényesítik az árakban. A jelölésre nem kötelezett vagy GMO-mentes szójadaráért felszámított prémium az elmúlt években ugrásszerűen emelkedett: 2004-ben tonnánként még csak 5 dollárral, 2005-ben és 2006-ban már 10 dollárral, míg a terménypiacokon az árak 2007/2008. gazdasági évi szárnyalása óta, a kínálat gyors szűkülése miatt 50-80 dollárral kértek többet a szójabab feldolgozásakor keletkező, magas fehérjetartalmú takarmány-alapanyagért.

A takarmánypiaci szakemberek abban egyetértenek, hogy amennyiben az Európai Unióban az engedélyezés gyakorlata nem változik, azaz továbbra is a zéró tolerancia vonatkozik a (még) nem engedélyezett, de az exportőr országokban már termesztett GM terményekre, a Közösség állattenyésztése időszakonként (és egyre gyakrabban) lemondhat olcsó fehérjebázisának egy részéről. Ennek következménye az állati eredetű termékek, elsősorban a baromfi- és sertéshús előállításának további csökkenése lehet. Ma az állattenyésztés adja az EU mezőgazdasági termelési értékének 40%-át. Az ágazat nemzetközi versenyképességének gyengülésével csökkennek a mezőgazdasági jövedelmek, visszaesik a foglalkoztatás és emelkednek a húсарak. Ugyanakkor például Brazíliában vagy Argentínában, ahonnan az Európai Unió egyre több, a Közösségben még nem engedélyezett GMO felhasználásával előállított állati eredetű terméket importálna, még gyorsabban nőhet az állattenyésztés kibocsátása.

Noha e fenyegetéssel az Európai Bizottság tisztában van, a 2010 júliusában nyilvánosságra hozott, azóta is sokat vitatott új jogszabálytervezete értelmében a GM növények engedélyezési eljárásán egyelőre mégsem változtatna, ugyanakkor a termesztés korlátozását vagy akár tiltását a tagállamok hatáskörébe helyezné. Továbbá ajánlásokat fogalmazna meg nemzeti koegezisztencia intézkedések és ún. „GMO-mentes térségek” kialakítására, és a hatályos jogszabályokat kiegészítené azzal, hogy a tagállamoknak jogában áll korlátozni vagy tiltani az összes vagy egyes GM növények termesztését bizonyos térségekben vagy akár területük egészén, amennyiben ez „közérdek” – tehát nem szükséges a káros egészségügyi vagy környezeti hatás bizonyítása. Az Egyesült Államok szerint a tagállamok e „negatív önrendelkezése” a GM növények termesztésének engedélyezéséről ütközik az Európai Unió Világkereskedelmi Szervezetben (WTO) tett vállalásaival.

Az Európai Bizottság egy másik, 2010 októberében publikált jogszabálytervezete szerint azon GMO-k legalacsonyabb előfordulását, amelyeket a harmadik országokban már engedélyeztek és a Közösségben engedélyezésük folyamatban van, a takarmányokban 0,1%-ra emelné, míg az élelmiszereknél továbbra is 0,0%-ot írna elő. Ez ellen nemcsak az Egyesült Államok, de Kanada, Argentína és Brazília is tiltakozik, arra hivatkozva, hogy a logisztikai láncok izolálása jelentős többletköltséget ró a termelőkre, kereskedőkre, élelmiszer- és takarmánygyártókra egyaránt, és az Európai Unió nem okozhat ilyen zavarokat a nemzetközi kereskedelemben. A tagállamok többsége egyébként a 0,1%-os limitet kiterjesztené az élelmiszerekre is. A pragmatikus szakértők pedig elfogadhatónak tartanák akár a 0,5%-os határértéket.

## Amiről Magyarország lemarad...

Ha nem lenne moratórium Magyarországon, a GM fajták termesztésére az árbevétel/jövedelem remélt növekedése és/vagy bizonyos kényelmi megfontolások ösztönöznék a gazdákat. Az árbevétel/jövedelem a növényvédőszer-ráfordítás, a gép- és munkaerőköltségek csökkenésének és/vagy a termés mennyiségi és minőségi mutatói javulásának köszönhetően emelkedne.

Vegyük példaként az amerikai kukoricabogarat (*Diabrotica virgifera virgifera*), amely Magyarországon az egyik legnagyobb kártevő. A kukoricabogarat az európai kontinensen 1992-ben figyelték meg először, Szerbiában. Azóta Kelet-Európa nagy részén elterjedt: Szerbiától Lengyelország déli részéig, Auszriától Ukrajnáig összesen 11 országban bír állandó populációval. Magyarországon az első példányát 1995-ben azonosították Mórahalom térségében.

A kukoricabogár imágója gyakorlatilag az ország egész területén fellelhető, de kártétele rendszerint lárvája terjedésének a határán a legsúlyosabb. A termés kiesés nagyságát az időjárás erősen befolyásolja: a veszteség olyan évszázatokban a legnagyobb, amikor száraz a június, mert ilyenkor a kukorica a lárva által lerágott gyökerek helyett nehezen fejleszt újakat.

A kukoricabogárral szemben a legjobb védekezés a vetésváltás, de azon térségekben, illetve területeken, ahol a tengeri hozza a legnagyobb jövedelmet, és ezért többször vetik a növényt önmaga után, inkább a vegyszeres védekezés a jellemző (monokultúra esetén a fertőzött területeken rendelet írja elő a kötelező védekezést). Magyarországon a teljes kukoricaterület 15%-án védekeznek talajfertőtlenítéssel, 14%-án csávázással. A Gabonakutató Kft. vizsgálatai alapján a csávázással 5-21%, míg a talajfertőtlenítéssel 9-22% többlethozamot lehetett realizálni 2007-2009 között. A talajfertőtlenítés költsége hektáronként 16-21 ezer forint, a csávázásé 9-10 ezer forint között mozog. E két eljárással becslések szerint évente 2,8 ezer tonna kemikália kerül a környezetbe.

Ráadásul e technológiák kevésbé hatékonyak a biotechnológia által kínált megoldásnál: Dillen, van Looy és Tollens, a leuveni katolikus egyetem kutatóinak óvatos becslései szerint a kukoricabogárral szemben rezisztens GM (Bt) kukorica alkalmazásának elutasítása – a talajfertőtlenítés és csávázás ellenére – éves átlagban 15 millió euró értékű termés kiesést okoz Magyarországon.

Mivel jelentős vetőmagexportőr ország vagyunk, számunkra természetesen fontos a vetőmagvak genetikai tisztasága, és a GM kukorica termesztése fenyegetést jelenthet a hibrid kukorica vetőmagjának előállítására. Noha a vetőmag-előállítás esetében érvényes szántóföldi izolációs követelmények elvben kizárják az idegen pollen átjutását a táblákra, a zéró tolerancia betartása a gyakorlatban mégis nagyon nehéz. Az EFSA évek óta javasolja, hogy az Európai Bizottság 0,5%-os határértéket írjon elő a hibrid F1 vetőmagra.

Ami Magyarországon takarmányalapanyag-behozatalát illeti, a kukoricától eltekintve (e terményből exportőrök vagyunk) nálunk is ugyanaz a helyzet, mint az Európai Unióban általában: 2009-ben 654 ezer tonna szójadarárt és 74 ezer tonna egyéb olajosmag-származékot importáltunk, ami a hazai takarmány keverékgyártás összes alapanyag-felhasználásának közel 20%-át tette ki. A behozott

szójadara bő 90%-a GMO-kat tartalmaz; ilyen takarmány-összetevőket már több mint egy évtizede használ a magyar állattenyésztés.

Magyarországon azért nem termesztenek több szójababot, mert ehhez északon nincs elég meleg, délen pedig sokhelyütt nincs elegendő pára, amit a virágkötés időszakában igényel a növény. Ezt öntözéssel sem lehet pótolni. Azon területeken, ahol a kukorica bőségesen terem (jellemzően ezek alkalmasak a szója termesztésére is), a tengeri árából több szóját lehet vásárolni, mint amennyit ugyanezen a földeken meg lehetne termelni.

Megszoktuk, hogy az új technológiákat többnyire általános, gyakran indokolatlan ellenkezés fogadja. Pedig ha nem akarunk lemaradni a nemzetközi versenyben, komolyan kell vennünk a GM növények kutatás-fejlesztését. A növény-nemesítés társadalmi, gazdasági és piaci igényeket, érdekeket elégíti ki. Társadalmi igény az élelmiszer-szükséglet kielégítése, a megfelelés bizonyos, térben és időben változó, elvárt minőségi paramétereknek, továbbá a környezeti terhelés csökkentése. Gazdasági érdek a növények termőképességének növelése, a hozamok stabilizálása. És végül a piac versenyképes termékeket keres. A koegzisztencia (ésszerű) többletköltség felvállalásával megvalósítható, a biológiai és fizikai génáramlás által előidézett problémák a növény-nemesítésre, vetőmagtermesztésre, árutermelésre, feldolgozásra, felhasználásra és kereskedelemre, vagyis a termékpálya valamennyi szakaszára megfelelően kidolgozott intézkedésekkel kivédhetők.

## Összegzés

A GM növényfajták termesztésének a hagyományos fajtákkal összevetve fontos környezeti és gazdasági előnyei vannak. A meghatározó szója- és kukoricaexportőr országok számára az EU piaca és követelményei egyre kevésbé fontosak. Magyarországon éves átlagban 15 millió euró értékű többlethozamot lehetne elérni a Bt kukorica termesztésével. A kézirat leadása után megjelent információ szerint ([www.isaaa.org](http://www.isaaa.org)) 2010-ben a világ GM termőterülete meghaladta a 148 millió hektárt.

## 15. A géntechnológiával módosított élő szervezetek és a környezet

BALÁZS ERVIN ÉS SÁGI LÁSZLÓ

A géntechnológiai úton módosított (GM) élőlények környezeti kibocsátásával kapcsolatban gyakran elhangzó észrevétel, hogy a tudomány művelői is eltérően ítélik azt meg. Ez a tény a tudomány eredendően demokratikus természetén túl abból is fakad, hogy az életközösségekkel (ökológiával) foglalkozó szakemberek fenntartással fogadják az olyan emberi beavatkozásokat, melyek a természetes élőhelyeket bármilyen formában átalakítják, esetleg lerombolják, legyen az autópálya, lakópark, futballpálya, gyár, bevásárlóközpont vagy mezőgazdasági tevékenység. Fellépésük az élőhelyek védelmében nemes és értékelendő, melyre minden felelősen gondolkodó személynek tekintettel kell lennie. Az ellentét azonban egy gazdálkodó és egy ökológus esetében nyilvánvaló, ha meggondoljuk, hogy egy természetes élőhelyet a mezőgazdász úgy alakít át, hogy onnét minden növényt eltávolít, és helyükbe jobbra csak egy vagy néhány növényfajtát ültet, melyet azután különböző mechanikai, kémiai és biológiai módszerekkel megvéd a természetes ökoszisztémákból származó és számára káros növényektől, kórokozóktól és kártevőktől. Ez az ellentét szinte feloldhatatlan, hacsak a két fél nem akar valamilyen kompromisszumra, jó esetben megegyezésre jutni. Függetlenül attól, hogy a Föld lakossága milyen ütemben növekedett az elmúlt évezredek során és különösen az elmúlt évszázadban, korunkban mindenesetre meglehetősen idejétmúltnak tűnne, ha napi betevőnket még mindig gyűjtögetésből szereznénk be.

A mezőgazdaság termelékenységének növekedése tette lehetővé azt, hogy a Föld népessége elfogadható mennyiségű és minőségű élelemhez jusson azzal együtt, hogy napjainkban még mindig milliók halnak meg alultápláltság vagy éhezés következtében. A mezőgazdaság évezredes fejlődése során általában a természettel összhangban végezte tevékenységét, bár nem ritkán egyes irányai a tapasztalatok birtokában később módosításra szorultak. A kémia felfedezései és azok iparszerű, intenzív és túlzott kemizációhoz vezető mezőgazdasági alkalmazásai, valamint az ezekből eredő káros környezeti hatások a növényvédelem és tápanyag-utánpótlás átgondolását igényelték. A múlt század hatvanas éveiben nagy publicitást kapott „Néma tavasz”, Rachel Carson könyve hívta fel a társadalmak figyelmét arra, hogy a szükségtelen kemizáció helyett a biológiai növényvédelemre és az ökológiai szemléletre építő mezőgazdaság alapjait kell kidolgozni. Most, hogy a biológia tudományának évszázadába léptünk, és a molekuláris biológia vívmányait a korszerű növénynevelés is felhasználja, a bírálók nagyrészt éppen a kemizációra visszavezethető negatív környezeti hatásokra hivatkozva kifogásolják a géntechnológiai módszerek révén új tulajdonságokkal felvértezett növények mezőgazdasági felhasználását. Az ellenző véleményekben megfogalmazott fontosabb kérdéskörökben tömören az alábbiakat tartjuk meggondolandónak.



**Bár több mint másfél évtizede és egyre nagyobb területen természetnek a világon GM növényeket (2010-ben már 148 millió hektáron), alapvetően még mindig nincsenek elég megbízható időtartamot átfogó tapasztalataink.**

A kritikusok adósak az indoklással, hogy mi tekinthető elég megbízható időszaknak, és miért: tíz év, ötven év, száz év, vagy ennél is több? A válasz természetesen függ az adott fajtól, hiszen egy baktérium 20 percenként osztódik, a rövid életciklusú lúdfű (*Arabidopsis*) 6 hét után hoz magot, míg más növények évente csupán egy nemzedéket nevelnek. Hány generációt kellene figyelembe venni? – tehető továbbá fel a kérdés. A nemesítők több évtizedes tapasztalata alapján egy kiváló növényfajta általában 7-10 évig marad köztermesztésben, míg fás szárú növények esetében ez értelemszerűen jelentősen hosszabb. Ebből az is következik, hogy miközben a megbízható időtartamról folyik a vita, az első generációs GM növényfajták lassan már le is cserélődnek az újabb és jobb GM fajtákra.

Másrészt nem szabad arról sem elfelejtkeznünk, hogy az európai kontinens mezőgazdaságát meghatározó növényfajok több mint 95 százaléka más kontinensekről származik, ami az idők folyamán lényegesen átalakította a növénytakaró képét, és ami új lendületet kapott a nagy felfedező utak révén, elsősorban Amerika felfedezésével. A korábban Ázsiából származó csonthéjasokhoz, a Kis-Ázsiából eredő búzához, vagy az Afrikából átkerült tehénborsóhoz csak néhány évszázada csatlakoztak az Újvilág növényei: a bab (Mexikó, Guatemala), a burgonya (Peru, Chile), a paradicsom (Peru és Mexikó), a paprika (Bolívia és Mexikó) és a kukorica (Mexikó), hogy csak a legfontosabbakat említsük.

Mióta is vannak tehát „megbízható” termesztési vagy környezeti hatásokhoz kapcsolható tapasztalataink kultúrnövényeinkről? – vethetnők fel. Az időparadigma kérdésének elemzésekor erre a földtörténeti viszonylatban egyetlen pillanatnak felfogható pár évszázadra tekintve egy magyar példát is megemlíthetünk: a napjainkban hungarikumnak tartott paprikanövény európai elterjedése mintegy 200 éves múltra, a napóleoni háborúk idejére nyúlik vissza, amikor az európai kikötők blokádja miatt az indiai feketebors-szállítmányok elakadtak, és azt a csípős fűszerpaprika termesztésével tudták kiváltani. Magyarországi elterjedése pedig csupán a XIX. század végén valósult meg, egyrészt a bolgárkertészek betelepülésének köszönhetően, másrészt a Kárpát-medence kiváló éghajlati és környezeti adottságaihoz történt gyors alkalmazkodásával, az itteni másodlagos géncentrum kialakulásával. De említhetnénk a kivi mindössze pár évtizedes hazai történetét is. Kifogásolta-e valaha valaki, hogy ennek a hazai flórában teljesen idegen fajnak a több tízezres génállományát behozzuk – nem beszélve a növényvel együtt érkező szimbiotákról, kórokozókról és kártevőkről – miközben heves indulatokat vált ki, ha egy már évszázadok óta köztermesztésben lévő növényt egy-egy gén beültetésével még kedvezőbb termesztéstechnológiai tulajdonságokkal ruházunk fel? Nos, nem kérdezte meg senki, és mégis minden gond nélkül termesztjük a kivit – hasonlóan az élelmiszer-biztonsági és ökológiai ismeretek nélkül honosított elődökhöz.

## **A biológiai sokféleség fennmaradása veszélybe kerül a GM növények köztermesztésével, vetik fel a modern biotechnológia ellenzői.**

Kétségtelen tény, amint a bevezetőben is rámutattunk, hogy minden természetes élőhely átalakítása vagy lerombolása együtt jár az adott terület biológiai sokféleségének jelentős csökkenésével vagy elvesztésével, függetlenül attól, hogy a területen GM növényt, vagy hagyományos fajtát termesztünk, netán biogazdálkodást végeznek. A természetes élőhelyek fajgazdagsága mindig messze meghaladja az agroökoszisztémákban található fajok számát. Ez a tény abból fakad, hogy a különböző emberi beavatkozások megzavarják az adott élőhely világát, legyen az fizikai beavatkozások (szántás, talajlazítás stb.) vagy a kemizáció (tápanyag-utánpótlás, gyomirtás, növényvédelem) révén. Itt érdemes arra a széles körű, több éves kísérletre utalni, melynek során Németország jelentős burgonyatermő területein különböző burgonyafajtákat, valamint az egyiknek GM változatát termesztették, és a talajok élővilágának változását mérték fel mind fajszámban, mind pedig fajonkénti egyedszámban. Az igen alapos kísérletek alapján arra a következtetésre jutottak, hogy nagyobb az eltérés az egyes fajták termőtalajának biológiai sokfélesége között, mint a GM változat és az eredeti, nem módosított fajta talajának élővilága között: utóbbi páros esetében nem volt kimutatható statisztikailag igazolható különbség, ellentétben a különböző fajták talajával. Nem GM növényekkel végzett kísérletek arra is rámutattak, hogy a vetésforgó egyes növényeinek váltásával jelentős változások mutathatók ki a talajok mikroba-összetételében és fajgazdagságában. A klimatikus hatások, mint a szárazság, fagy és a belvíz a talajok élővilágában szintén igen komoly ingadozásokat eredményeznek. Tehát a GM növények termesztése távolról sem okoz olyan mérvű és visszafordíthatatlan változásokat a mezőgazdasági és távolabbi környezet biológiai sokféleségében, ahogy azt az ellenzők állítják és áhítják, különösen nem a növényvédő szerek és az intenzív talajművelés összehasonlításában.

A biológiai sokféleség megőrzése érdekében éppen az a legcélszerűbb, ha az amúgy is egyre csökkenő mezőgazdaságilag művelhető területen minél hatékonyabb technológiával biztosítjuk – urambocsá’ akár GM növények termesztésével is – az élelmiszer-ellátást, ezzel netán még vissza is adva a természetnek bizonyos, például a termelésre kevésbé alkalmas élőhelyeket. Ezzel a GM növények közvetve szervesen is hozzájárulhatnak a biológiai sokféleség növeléséhez.

A biodiverzitás csökkenésének vádja értelmezhető úgy is, hogy a sikeres GM növények beszűkíték a termesztett fajták kínálatát és genetikai alapját. Ez a folyamat különben már a hagyományos nemesítés kezdeteitől a tájfajták fokozatos eltűnésén át napjainkig folyamatos. Az Egyesült Királyságban csak az elmúlt 20 évben tíz tenyészhető madárfaj tűnt el – lehet, hogy végérvényesen. Ezzel szemben, ha megfigyeljük a világszerte termesztett GM növényfajták számának időbeli változását, és ráadásulként hozzávesszük mindazokat, amelyek az engedélyezési eljáráson átesve már csak jóváhagyásra várnak, akkor semmiképpen sem mondhatjuk, hogy a GM növények szűkítik a fajtakínálatot. Végezetül érdemes megismételni, hogy a jelenlegi GM termékek többnyire korábban előállított és sikeres fajtáknak csupán módosított változatai, ezért sem nem tesznek hozzá, sem pedig

nem vesznek el a teljes fajtaválaszték genetikai variabilitásából, azaz ebből a szempontból indifferensnek tekinthetők.

**Gyakori vádként fogalmazódik meg, hogy ha egyszer kibocsátunk egy GM élőlényt, azt többé nem tudjuk a természetből visszahívni.**

Ez az aggodalom sem tartalmaz reális felvetéseket, mert a növénytermesztés évente folyamatosan von ki fajtákat a köztermesztésből. Épp a magyar mezőgazdaság történelmének kevésbé fényes lapjaira hivatkozva cáfolható ez az állítás, amikor a múlt század ötvenes éveiben politikai nyomásra köztermesztésbe kényszerített gyapot természetese néhány év után megbukott. Azóta sem gyapotot nem találni a hazai flórában, sem pedig génjeinek fennmaradásáról nem számolt be senki, annak ellenére, hogy 50 éve még több ezer hektáron termelték az országban.

Itt érdemes arra is rámutatni, hogy a kultúrnövények éppenséggel segít(het)ik a vad változatok megőrzését, melynek jó példája a kukorica egyik őseinek, a teosintének gyakorlatilag változatlan fennmaradása. A teosinte Mexikó egyes területein közönséges gyomnövény, míg néhány magas hegyoldalban még természetett takarmánynövényként ismert. A kukorica képes beporozni a teosintét, de nem változtatja meg lényegesen genetikai állományát – nem is tudná, hiszen például a csömorfológiáért felelős gének közül a kukorica csupán ötben tér el a teosintétől a klasszikus genetika szerint –, ezzel viszont biztosítja az ősi faj fennmaradását, ami még így is a kihalás küszöbén áll.

**Ide tartozik annak a kérdésnek a tisztázása is, hogy a beépített tulajdonság átkerül a természetes ökoszisztémákba, s ott kedvezőtlen következményei lesznek.**

Először azt kell leszögeznünk, hogy a virágpor (pollen) azon tulajdonságát, miszerint képes rokon fajokat beporozni, egy géntechnológiai módosítás – legalábbis azok, melyeket eddig alkalmaztak – nem változtatja meg. Mivel tehát ez a növények természetes képessége, ezért a kultúrnövények bármilyen más (nem GM) tulajdonsága, például egy indukált vagy spontán mutációval előállított gyomirtó-szer-tolerancia, ugyanígy átkerülhet a természetes élőhelyekbe. Ezenkívül a növények szaporodásbiológiai tulajdonságait is figyelembe kell venni: vannak szélporozta, továbbá rovarbeporzású, illetve önbeporzó fajok. Az utóbbiaknál zárt rendszerben történik a megtermékenyülés, így a GM tulajdonság ki- és/vagy bejutása elhanyagolható vagy kizárt. A szélporozta növényeknél figyelembe kell venni a virágzás időpontját, valamint a virágpor életképességét is. A fű- és gabonafélék pollenjének életképessége például a természetben igen korlátozott, nemigen haladja meg a 2 órát. A pollennel való génátvitelt ezenkívül a természetben számos jól meghatározott tulajdonság korlátozza. Egyébként hangsúlyozni kell, hogy a növények csak saját fajukat vagy néhány rokon fajt képesek megtermékenyíteni, így ha egy növénynek nincs az adott kontinensen vad rokona, az nem is veszélyeztetheti a faj biológiai sokféleségét. A fentiekben a kukoricánál már rámutattunk, hogy a kultúrnövény hasznos is lehet vad őseire, jelen esetben a teosintére.

Más a helyzet a rizsnél, mert hatékony termesztésének egyik fő korlátozója a vad rizs gyomként való terjedése. A vad rizs, melyet jelenleg csak gyomirtással tudnak visszaszorítani, szabadon porzódik be a nemesített rizzsel, így ha gyomirtó szernek ellenálló GM rizst termesztünk, akkor nagy a valószínűsége, hogy ez a tulajdonság átkerül a vad rizsbe, és a gyomirtás lehetősége korlátozódik. Hogy ez milyen mértékben következhet be, azt számos tényező befolyásolja. Több évszázados megfigyelések alapján a termesztett növények tulajdonságai csak igen korlátozott mértékben kerülnek át a rokon vad fajokba azon egyszerű oknál fogva, hogy vagy nem azonos időben virágoznak, vagy – ha esetleg mégis képesek megtermékenyülni – ez a természetes védekezési reakciók miatt nem következik be, vagy steril, esetleg csökkent életképességű utódokat hoznak, melyek hamar elpusztulnak. Így a vad fajokba átkerülő tulajdonságok nem maradnak fenn tömegesen és hosszú távon a természetben.

### **A természetre nézve káros új vírusváltozatok alakulhatnak ki egy vírusellenálló GM növényben, állítják az ellenzők.**

A vírusellenálló GM növények rezisztenciája egy adott vírus genetikai állományából származó nukleinsavszakasz beépítésével érhető el, például a vírus burkát alkotó köpenyfehérje génjének felhasználásával. A vírusok a természetes evolúció során valóban felhasználják az egyes vírustörzsek közti géncserét, rekombinációt. Habár már ismeretesek az egyes rekombinációs helyek, az ún. „forró pontok” a vírusok genetikai állományában, de új vírusváltozatot az elmúlt közel 20 év alatt sem találtak GM növényekben. Ennek számos oka van: egyrészt a beépített virális nukleinsavszakaszcsoportról készült másolatok a növényi sejten belül másutt találhatóak (a sejtmagban), mint ahol a vírus szaporodása végbemeleg (a citoplazmában), így térben fizikailag el van választva egymástól a két rekombinálódónak vélt nukleinsav-frakció. Másrészt a vírusok evolúciója során új vírustörzsek csak akkor képződhetnek, ha a vírus hatékonyan tud szaporodni: ehhez pedig fogékony növényre van szüksége. Ezzel szemben az ellenálló GM növényekben olyan alacsony szintű (ha van) a vírusszaporodás, hogy az még napjaink igen érzékeny molekuláris módszereivel is csak nehezen kimutatható, amint nemzetközi együttműködés keretében végzett vizsgálatainkban igazoltuk (Dietrich és mtsai, 2007, Environmental Biosafety Research, 6: 207). Ennek értelmében tehát éppen a vírusellenálló GM növényekben nem állnak fenn az új vírusváltozatok előállításához szükséges rekombináció feltételei (15.1. ábra). Ez egyben azt is jelenti, hogy az új vírusváltozatok létrejötte éppen a nem GM növényekben valószínűbb a különböző vírustörzsek egymás közti rekombinációjával.



**15.1. ábra: Transzgenikus vírusellenálló dohánynövények (háttul), az első sorban a fertőződött, nem módosított vonalak (Balázs Ervin felvétele)**

**A gyomirtó szereknek ellenálló GM növények elterjedésével a növényvédőszer-felhasználás nemhogy csökken, hanem növekszik, sőt egyre nagyobb mértékben alakulnak ki rezisztens gyomok, valamint a szabadalmat birtokló vállalat tartja kézben a piacot, vélelmezik az ellenzők.**

Ebben a kérdésben árnyaltan kell fogalmazni, hiszen egyfelől a korszerű, mikromennyiségben ható gyomirtó szerek felhasználása lényegesen csökkentette a termőterületek vegyszerterhelését a hagyományos herbicidekkel összehasonlítva. Másfelől azáltal, hogy rohamosan növekvő területen termesztenek gyomirtó szereknek ellenálló GM növényeket, ezen gyomirtó szerek abszolút volumene ténylegesen növekszik. Itt azonban az a döntő, hogy az összes gyomirtószer-felhasználás jelentősen alacsonyabb a toleráns GM növényeket termelő országokban (Kanadában például évi 6000 tonnával, ez több mint Magyarország teljes évi felhasználása!), mert a korszerűtlen és nagy adagban kijuttatott gyomirtókat le lehetett cserélni környezetbarátabb és hatékonyabb gyomirtó szerekre. Ennek

jó példája a több mint 35 éve regisztrált és azóta folyamatosan forgalmazott glifozát hatóanyag. Népszerűsége kedvező tulajdonságainak köszönhető: széles hatású, nem szelektív, levélen keresztül ható, a növényben minden irányban mozgó (szisztémikus) gyomirtó szer. Hatóanyaga gyakorlatilag nem toxikus az emlősökre, madarakra, rovarokra és a legtöbb baktériumra nézve sem. Nem halmozódik fel állati szövetekben, és bizonyíthatóan nem rákkeltő. A glifozátnak nincs tartós hatása a talajon keresztül, mert a hatóanyag erősen kötődik a talajszemcsékhez, és emiatt nem mosódik a talajvízbe sem. A kezelés után kelő kultúrnövényeket ezért nem károsítja.

A glifozátot a talajban élő mikroorganizmusok természetben előforduló alkotóelemeire (ammónia, foszfát, széndioxid és glioxalátok) bontják. A glifozát hatóanyagának felezési ideje (ami alatt az alkalmazott hatóanyag fele elbomlik) a talajban átlagosan 45 nap. Viszonylag gyors lebomlása miatt a szer nem halmozódik fel a talajban, és 6 hónapon belül a hatóanyag 90 százaléka átalakul természetes anyagokká. A lebontást végző baktériumokat a szer nem károsítja, ellenkezőleg, foszforforrást jelent számukra. Felhasználása lényegében akkor keltett nagyobb médiafigyelmet, amikor elkészültek az első glifozátrezisztens GM növények, és azok köztermesztésbe kerülésével a glifozát is a professzionális mezőgazdaság része lett, különösen a legfontosabb és nagy gazdasági jelentőségű növényeknél, mint a szója, a kukorica és a repce. Nem véletlen, hogy a kanadai repcetermesztés szinte kizárólagosan glifozátnak ellenálló GM fajtákra épül épp környezetkímélő voltuk miatt, nem is beszélve a gazdaságosságról. A glifozát széleskörű alkalmazásával – amint azt számos növényvédő szernél már tapasztalhattuk – idővel megjelennek a szerre rezisztens gyomnövények, melyekkel szemben az általános növényvédelmi gyakorlatnak megfelelően alternatív szereket kell alkalmazni. Ez nem köthető csak a GM növények termesztéséhez, ugyanilyen elkerülhetetlen a nem GM kultúrák permetezésénél is. Éppen ezért fejlesztették ki a kétféle gyomirtó szerre toleráns új GM növényeket, melyekkel megoldható a legerjedtebb szerek váltakozó használata, és ez lényegesen csökkenti a (kettős) rezisztencia kifejlődésének esélyét.

A glifozátnak ellenálló GM növények termesztésével vált lehetővé a kímélő talajművelés, mely iránt a múlt század kilencvenes éveiben – az energiaválság hatására – nőtt meg világviszonylatban is az érdeklődés. A technológia elsősorban a fejlett műszaki háttérrel rendelkező országokban terjedt el. Ennek magyarázata az, hogy a kímélő talajműveléshez a hagyományostól eltérő gépekre van szükség, illetve hogy a beruházás megtérülése nagyobb területen történő gazdálkodás mellett gyorsabb. A minimális talajművelés előnyei közé tartozik a szélsőséges időjárási körülményekre visszavezethető talajpusztulás megakadályozása, a növénytermesztés időjárás-függőségének csökkentése, a kedvező talajszerkezet megőrzése és a talajélet védelme. Jelentősnek mondható a széndioxid-kibocsátás és az üvegházhatás javulása a talajműveletek számának csökkentése és az alacsonyabb gázolaj-felhasználás révén.

A herbicidnek – jelen esetben a glifozátnak – ellenálló GM növények elterjedése ellen hangoztatott egyéb kifogások arra vezethetők vissza, hogy a glifozát tulajdonjoga egy multinacionális vállalat birtokában van, és ez a piacon globális monopolhelyzetet jelentene, de a szer szabadalmának lejártával, 2000 óta ez a kifogás sem áll már szilárdan.

**A rovarellenálló GM növények minden sejtje egy bakteriális toxint termel, mely káros a környezetre, a növényt fogyasztó állatokra, sőt magára az emberre is, állítják a kritikusok.**

Kezdjük a tényekkel. A talajlakó *Bacillus thuringiensis* (Bt) baktérium egy olyan kristályos fehérjét raktároz, melyet a tudomány Bt-toxinként írt le, mivel az mérgező adott rovarcsaládokra, sőt egyes fajait képes elpusztítani is. A biológiai védekezés ama formáját, amikor magát a baktériumot vagy az abból készített toxinykészítményt permetezik ki, nemhogy elítélik, hanem még támogatják is a géntechnológia ellenzői. Ha azonban az adott rovarokra mérgező toxint egy növényi sejt termeli, akkor azt máris méregnek titulálják. Mi ez, ha nem kettős mérce a javából? Ettől eltekintve, két alapvető tényt kell ismernünk, legyen szó biológiai védekezéstről vagy GM növényről. A Bt-toxin rovarcsalád-specifikus és más rovarra vagy élőlényre nem mérgező, mivel ezekben hiányzik az a bélhám-sejteken található receptor, amihez a toxinfehérjének kötődnie kell ahhoz, hogy hatását kifejtse. Mivel emberben sem létezik a toxint kötő receptor, ezért a tápcsatornában a Bt-toxinnak semmi esélye sincs. A toxin ilyenkor csak közönséges ártalmatlan fehérjének tekinthető, ami egyszerűen lebomlik ezekben a szervezetekben, az embernél például a gyomorsavban. A természetben különböző Bt-fehérjék ismertek, amelyek génjeit számos gazdaságilag fontos növénybe építették már be, így a kukoricába is. Hazánkban a kukoricamolynek ellenálló GM kukoricára (MON810) bejelentett ideiglenes és korlátozott moratórium szimbolikus értékű, hiszen a kukoricamoly kártétele Magyarországon csak bizonyos évjáratokban jelentős, és ezekben az esetekben kémiai védekezéssel ez a kártétel megelőzhető. Nem mellékesen azért muszáj megemlíteni, hogy a kukoricamoly kártételénél jelentősebb a következménye: a moly rágásai okozta sérüléseken át a fuzárium gomba fertőzésével együtt járó mikotoxin-termelés a takarmányok szennyezésével óriási gazdasági károkat okoz, mert a takarmányt először megtermelik, és aztán egy része használhatatlanná válik (aki pedig mégis feletetné, az csak tovább növeli a károkat). Ezzel ellentétben áll egy másik Bt-fehérje, mely egy hazánkban nagyságrendekkel jelentősebb kártevő, a kukoricabogár ellen jelentene/jelenthetne felbecsülhetetlen gazdasági és környezeti hasznot. Közismert tény, hogy a Bt-toxint tartalmazó GM növények termesztésével világszerte jelentős vegyszer- (és költség) megtakarítás érhető el, köszönhetően a permetezések elhagyásának. Egyetlen szemléletes adat: Kínában 2009-ben a Bt-gyapot termése („csak” 7 millió gazdáról beszélünk!) 10 százalékkal nőtt, miközben a felhasznált rovarölőszerek mennyisége 60 százalékkal csökkent.

A Bt-toxin növényvédelmi alkalmazásával kapcsolatosan joggal vetődik fel a rovarokban kialakuló rezisztencia kérdése. Szinte kivétel nélkül, idővel minden egyes növényvédő szerre kisselektálódznak a szernek ellenálló egyedek és annak populációi. Ezt laboratóriumi körülmények között bizonyították is. A Bt-toxin elleni rovarrezisztencia kialakulását lassíthatjuk vagy megakadályozhatjuk, ha a rovarellenálló GM növényekkel együtt fogékony növényeket is termesztünk, ún. refugiumokat, „menedékeket” kialakítva. Ezen a nem védett területen biztosítható, hogy fennmaradjon a Bt-toxinra érzékeny rovarpopuláció. Ezt elérhetjük úgy,

hogya a területen mintegy 20 százalékban a fogékony növényfajtát vetjük el, vagy pedig a táblák szélén ültetünk ilyen növénytörzseket. Ehhez hasonlóan vetésváltással is lehet csökkenteni a rezisztens rovarpopuláció kialakulását, ahogy ezt ma már a hagyományos növényvédelmi technológia is alkalmazza, hiszen a Bt-ellenálló rovarpopuláció kialakulása nem a GM növényekhez, hanem csupán a növényvédőszerként használt Bt-toxinhoz kötött. Nincs tehát ez másképp a biogazdálkodásban használt Bt-preparátumokkal sem.

Gyakran felmerülő kérdés még, hogy a Bt-toxint termelő GM növény milyen hatással van a nem célzott élőlényekre, ebben az esetben olyan rovarokra, melyek az agro-ökoszisztémákban jelen vannak, és fontos szerepük van (például a katicabogarak, fátylóka stb.). Itt meg kell különböztetni, hogy milyen toxint termel a növény, és az mely rovarcsoportokra mérgező, mert csak azokra lehet hatása, amelyek a kártevővel közeli rokonságban vannak. Például a (nálunk betiltott) MON810 GM kukoricában található Bt-toxin a lepkefélék családján belül vizsgálva 60 faj mintegy 10 százalékára hatástalan, csakúgy mint bármilyen egyéb rovarra. A kukoricamoly esetében értelem szerűen a kukoricatáblákon előforduló különböző lepkék a veszélyeztetettek, de nem összességében. Időnként emlegetik a Pannon ökorégió védett fajtát, a nappali pávaszemet, melynek tápnövénye a közönséges csalán, a kukoricaültetvényekben és azok környékén is előforduló gyomnövény. Ha a Bt-fehérjét tartalmazó kukorica pollenje a csalán levelére nagy mennyiségben kerülne, akkor annak fogyasztásával a nappali pávaszem hernyója valóban elpusztulhat. Erre mesterséges laboratóriumi körülmények közt vannak bizonyítékok, ám a szabadföldön, a valóságban csak kivételesen, és akkor is csak rövid ideig fordul elő, hogy olyan nagy mennyiségű pollen (min. 300 négyzetcentiméterenként!) rakódjon a csalánlevelre, melynek fogyasztásától a hernyó esetleg károsodna. Miközben az átlagos pollenszám négyzetcentiméterenként egyébként is 100 alatt marad, ez az érték szeles időben akár a századrésztől zsugorodik, de még egyetlen 10 milliméteres csapadék is 70-80 százalékkal csökkenti a szabadföldi kísérletek tanúsága szerint. Tegyük végül helyére a kérdést azzal, hogy a mezőgazdasági és a háztartási rovarirtószerek, sőt a biogazdálkodásban használt Bt-preparátumok ennél a GM pollennél lényegesen károsabbak a védett lepkékre és más hasznos rovarokra. A rovarirtó permetezések akár totális pusztulást okozhatnak az adott művelt területen, és a természet ezt is kiheveri: egy idő múlva egyszerűen új egyedek vándorolnak be a táblára. Ugyancsak nagyobb veszélyt jelentenek a rovarokra az éghajlati és a gyakori időjárás-változások: ilyenkor óriási egyedszámú rovarpopulációk pusztulnak el - észrevétlenül. És akkor nem szóltunk még arról a napi szinten előforduló jelenségről, amikor hasznos és védett rovarok, vándorló lepkék milliói végzik világszerte az utakon száguldó autók szélvédőjén és motorházán. A lepkékért aggódó környezetvédők ugyan miért csak a GM növények ellen tüntetnek (mint látjuk, alaptalanul), miközben joggal tehetnék ezt például a világszerte terjeszkedő autópálya ellen (15.2. ábra)?





**15.2. ábra: Autóhűtőrácsan elpusztult bogáncslepkék**  
(Balázs Ervin felvétele)

A Bt-toxint termelő GM növények betakarítása után a tarlón a növényi részekben maradó és lassan lebomló toxinfehérje talajéletre gyakorolt hatását is gyakran hozzák ellenérvnek. Itt is utalunk arra, hogy a Bt-toxin legfeljebb csak azon élőlényekre fejtheti ki biológiai és adott esetben toxikus hatását, amelyek a célszervezettel, a kártevővel azonos rovarcsaládba tartoznak. Ezt viszont nem érdemes túldimenzionálni, mivel a taljban a kártevővel rokon fajok csak ritkán fordulnak elő. A Bt-fehérje a taljban hosszabb ideig is megmaradhat, mert kötődik az agyagásványokhoz, ami lassítja a lebomlását, de ugyanakkor – éppen kötött állapota miatt – ez biológiailag inaktív, tehát nem mérgező. Homoktalajokban viszont a Bt-fehérje sokkal gyorsabban lebomlik. Mindezidáig nem ismert megbízható (értsd: valós körülmények között, helyes kontrollokkal elvégzett és megismételt) kísérleti adat, mely értékelhető negatív hatást tudott volna kimutatni a Bt-fehérje maradványának talajéletre kifejtett hatásával kapcsolatban.

**Végezetül gyakran felhozott ellenérv a beépített gének más élőlénybe való átkerülésének veszélye, különös tekintettel a talajlakó mikrobákra és az ún. horizontális génátvitel jelenségére**

Tudományos ismereteink bővülésével jól leírt jelenséggé vált a mikrobák közötti géncsere folyamata. Mivel ez szerves része az evolúciónak, ezért lehetséges, hogy ha egy GM mikrobát kibocsátunk a szabadba, akkor a transzgén átkerülne más mikrobákba is. Egy GM növénybe épített gén átkerülése mikroorganizmusokba azonban számos ok miatt korlátozódik, például a DNS felvételéhez szükséges fogadóképesség (kompetencia) miatt. Nem térünk ki részleteiben az antibiotikum-rezisztencia génekre, mert azokat ma már vagy nem használják a genetikai módosítás során, vagy utólag eltávolítják a GM növényekből. Itt csupán annyit említünk meg, hogy csak olyan antibiotikum-rezisztencia gént

használt fel a tudomány a GM növények előállítására során, melyeket sem az állat, sem pedig a humán gyógyászat már nem alkalmazott intenzíven, tehát nem veszélyeztették az antibiotikumok gyógyszeres felhasználását. Sajnos jól ismert, hogy az antibiotikum-rezisztencia gyorsan kialakul a természetben, s ma már ez tényleges humán egészségügyi problémákat vet fel, de – hangsúlyozzuk – ez nem kapcsolható a növény-biotechnológiában felhasznált antibiotikumokhoz. Egyébként ismeretes, hogy az ember bélflórájában a mikrobák mintegy 50 százalékban már ellenállóak valamilyen antibiotikumra, tehát egy GM növény biológiai jelentőségéhez képest elhanyagolható az az egyébként is minimális esély, amit a bélflóra mikrobapopulációjának antibiotikum-ellenállóságán változtathatna. Itt érdemes arra a francia felmérésre utalni, hogy soha nem művelt (préri) talajokban a mikrobák több mint 50 százaléka rendelkezett valamilyen antibiotikum-rezisztenciával, míg egy mezőgazdaságilag rendszeresen művelt terület talajának összetételében ugyanez az érték épphogy meghaladta a 2 százalékot.

Természetesen még számos kérdést vehetnek fel a GM technológia ellenzői, itt csak a leggyakrabban megfogalmazott általános kifogásokra reflektáltunk, feltárva ezek hiányosságait, továbbá azt, hogy nem vagy csak elvétve tartalmaznak komoly érveket, melyek a GM növények negatív környezeti hatásait megdönthetetlenül igazolnák.

A környezeti hatásokkal foglalkozó ellenvetések szinte kivétel nélkül olyan lehetőségekre hívják fel a figyelmet, melyek egyike sem kizárható, és ezért korrekt vizsgálatokra szükség van, de megvalósulásuk nagyon valószínűtlen és hatásuk ezért jelentéktelen. Ennél lényegesen fontosabb azonban, hogy az alternatív géntechnológiai megoldások az iparszerű mezőgazdasági technológiákhoz képest jóval kevesebb kockázatot hordoznak, sőt állítható, hogy mind a környezet, mind az állat- és humán egészség szempontjából sokkal biztonságosabbak.

### **További információ**

Park, J. L., McFarlane, I., Phipps, R. H., Ceddia, G. (2011): The role of transgenic crops in sustainable development. *Plant Biotechnology Journal*, 9: 2–21.

## 16. A géntechnológiai szabályozás menete

BALÁZS ERVIN

*Hazánkban a géntechnológia törvényi szintű szabályozása Közép-Kelet Európában elsőként született meg 1998-ban, biotechnológiai kutatási eredményeink gyakorlati felhasználása érdekében. A géntechnológiai tevékenységről szóló törvény – az Unió azonos törvényeivel jogharmonizációban – és annak szigorú szabályai nem indokolják a magyar moratórium fenntartását.*

A magyar tudományos elit már a kezdet kezdetén felvetette a géntechnológia szabályozásának szükségességét: a múlt század hetvenes éveinek közepén a Magyar Tudományos Akadémia akkori elnöke, Szentágothai János professzor kezdeményezte a tudós testület állásfoglalását e kérdésben, egy időben az amerikai kutatók által jegyzett és asilomari levélként ismert állásfoglalással (1975). A géntechnológia alapjait feltáró amerikai kutatók a biológiai fegyverek betiltásának időszakában erkölcsi felelősségükre hivatkozva kérték kormányukat a géntechnológia szabályozására, még annak árán is, hogy saját kísérleteikre moratóriumot hirdettek, amíg a kérdéskört nem rendezik. Az Amerikai Egyesült Államok kormánya – felismerve a molekuláris biológia eredményeit és rendkívüli lehetőségeit az emberiség jövőjét illetően – sürgősen megkezdte jogalkotási munkáját. Ennek eredménye lett az amerikai egészségügyi tárca által kiadott útmutató (NIH Guidelines, 1975), mely kezdetben igen szigorú volt, s csak rendszeres és ellenőrzött felülvizsgálata eredményezte, hogy a korábban korlátozó feltételek mellett végzett kísérletek ma már szabadon végrehajthatók egyszerűbb körülmények között. Az amerikai példát követte a gazdaságilag fejlett országok szervezete, az OECD, amikor 1986-ban közzétette ajánlásait a rekombináns DNS biztonsági megfontolásai kérdésében. Ezek az ajánlások útmutatóként szolgáltak az egyes országok szabályozási törekvéseihez, és meghatározták azokat a kereteket, melyek figyelembevételét javasolták. Ezekre a megfontolásokra épített az Európai Unió is, amikor 1990-ben kiadta két, még ma is meghatározó értékű direktíváját a genetikailag módosított (GM) mikroba zártkörű felhasználása és a GM élőlények korlátozott mértékű kibocsátása tekintetében (EU 219/1990 és EU 220/1990).

A kérdéskör fontosságára való tekintettel – figyelembe véve saját szakmai területeit – szinte mindegyik nemzetközi szervezet kidolgozta ajánlásait: így megtette ezt az Egészségügyi Világszervezet (WHO), a Mezőgazdasági és Élelmiszeripari Világszervezet (FAO), de természetesen nem maradt ki a sorból az Egyesült Nemzetek Környezetvédelmi Programja (UNEP) sem. Ez utóbbi dokumentum, a nemzetközi technikai útmutató (International Technical Guidelines for Safety in Biotechnology, 1995) az, mely elsősorban a lehetséges környezeti hatások kérdéseire koncentrált. Ezt figyelemreméltó nemzetközi aktivitás követte, amennyiben a technológiát annak gazdasági, környezetvédelmi és humán-egészségügyi előnyei miatt fejleszteni vagy alkalmazni kívánó országok sorra hozták nemzeti szabályait, rendeleteiket, sőt sok esetben törvényeiket is.

Az elmúlt évszázad kilencvenes éveinek politikai fordulata a közép- és kelet-európai országokban is annak megfogalmazódásához vezetett, hogy – az uniós csatlakozás reményében – törekedjenek a géntechnológia alkalmazásának szabályozása terén is illeszkedni az akkori tagországok szabályaihoz. Ez eredményezte azt a regionális aktivitást – melyet egyébként Hollandia, Németország, az Egyesült Királyság és Ausztria szakértői támogattak –, hogy a géntechnológia alkalmazása mihamarabb szabályozott körülmények között folytatódjék régióinkban. A szabályozás kialakítása érdekében évente szerveztek tudományos konferenciákat a régió országai szakértőinek bevonásával, és jelentős szakmai segítséget nyújtottak ahhoz, hogy a gazdasági térség is felzárkózhasson az Unió más országaihoz.

Hazánk e téren úttörő szerepet játszott nemcsak a regionális értekezletek házigazdjaként és szervezőjeként (1995 Keszthely, 1996 Budapest, 1997 Szmolenyice, 1998 Bled, 1999 Pruhonice), hanem abban a tekintetben is, hogy a régióban elsőként fogalmazta meg és adta ki a géntechnológiai tevékenység szabályozása terén a kormányrendeletét, melyet 1998 márciusában fogadott el a parlament. Nem kis büszkeséggel jegyezhetjük meg, hogy mind a Szlovák Köztársaság, mind pedig Szlovénia szakértői a magyar kormányrendelet szövegét figyelembe véve alkották meg országaik szabályozását. A magyar kerettörvény is abban a szellemben íródott, hogy nem a végtermék újdonsága, hanem az előállítás folyamata alapján kell szabályozásunkat kialakítani, ahogy azt az Unió is szabályozza. A törvény alapvető érdemei közé tartozott a teljes átláthatóság biztosítása, a géntechnológiai tevékenység engedélyeztetési rendszerének nyilvános közzététele, és a géntechnológiai bizottság létrehozása. A bizottság kinevezett tagjait ekkor még a Magyar Tudományos Akadémia, az érintett minisztériumok és nagyszámú társadalmi, civil szervezet delegálta. Érdekes módon a felhasználói oldal képviselőit – érdekeltségre hivatkozva – kihagyták, de részt vehettek olyan civil mozgalmak képviselői, akik épp ellenérdekeltek voltak a géntechnológia alkalmazásában. Később ideiglenesen módosították a végrehajtási utasítást, így a bioipar képviselője is helyet kapott a bizottságban. Ez a helyzet csak rövid ideig élt, amíg az uniós csatlakozással egy időben az Unióban megindított törvénykezési revízió, valamint a jogharmonizáció érdekében megkezdődött az alapjaiban jónak mondható magyar szabályozás átírása. Ezt jelentős mértékben tovább bonyolította a közben megfogalmazódott ún. koegzisztencia (a GM és nem GM növények egymás mellett történő termesztése) szabályozásának igénye is. Hazánkban is bekövetkezett az, ami a nemzetközi szabályozás terén történt, hogy a szakemberek e folyamatban háttérbe szorultak, és szerepüket voluntarista zöld mozgalmak képviselői vették át. Így alakult át a magyar géntechnológiai bizottság irányítása is, melynek következtében a kezdetben engedélyezett szabadföldi kísérletek további folytatása, illetve az új kérelmek befogadása nagy számban megghiúsult. A bizottság javaslatai alapján a hatóság olyan követelményeket fogalmazott meg a kísérletekhez, melyek szakmailag megalapozatlanok és nemcsak hogy értelmetlenek lennének, hanem bizonyítják azt is, hogy a bizottság tagjai nincsenek tisztában a növénynevelés alapvető fogalmaival. Tovább bonyolította a helyzetet az, hogy a koegzisztencia szabályozása érdekében olyan rendeleteket hoztak, melyek tudományosan megalapozatlanok, mint például a genetikai izolációs távolságok

oly mértékű értelmetlen kiterjesztése, mely megakadályozza a lehetőségét is annak, hogy kivitelezhető legyen egy szabadföldi kibocsátás. Hasonló akadály az is, amikor megkövetelik minden szomszédos föld tulajdonosainak és művelőinek hozzájárulását a GM növény esetleges termesztéséhez. Ez a hazai birtokviszonyok átláthatatlansága miatt lehetetlenné teszi azt, hogy valaki ilyen kísérleteket végezhesen, nem beszélve az esetleges termesztésről. Nem titkolható el, amit egy parlamenti képviselő mondott a törvény módosításakor, hogy nem ellenzik a GM technológiát, de olyan feltételeket fognak előírni, ami lehetetlenné teszi az alkalmazást. Sajnos ez meg is történt. Napjainkban elenyészőre zsugorodott a szabadföldi kísérletek kérelme és folytatása, és a magyar kutatók a szomszédos országokban állítják be kísérleteiket. Az elmúlt hónapokban történt politikai változás, mely átstrukturálta a kormányzati szervezetet, „ex lex” állapotba hozta a géntechnológia szabályozását is, mivel a géntechnológiai bizottság tagjait küldő minisztériumok megszűntek, s értelemszerűen a bizottság egyes delegáltjai ezzel illegitimmé váltak. A magyar tudomány nemzetközi megítélése is rendkívül negatív lett azáltal, hogy hazánk zöld politikai nyomásra moratóriumot hirdetett egy olyan génmódosított kukorica (MON810) termesztésére, melynek jelentősége a hazai termesztésben ugyan nem számottevő, de politikai-társadalmi hatása annál nagyobb, mert kockáztatja egy majdani gazdaságilag is nyereséges GM növény széles körű felhasználásának társadalmi támogatottságát. Joggal fogalmazódik meg az a kérdés is, hogy míg a kereskedelmi egyezményeknek megfelelően egy GM termék takarmányozási célra importálható, addig a magyar gazdák miért lettek elzárva ettől a gazdaságilag versenyképes technológiától?

A természet védelme érdekében igen jelentős esemény volt a második millennium évében elfogadott biobiztonsági protokoll. A Biológiai Sokféleség Egyezmény (Convention on Biological Diversity, CBD) keretében jogosan megfogalmazott igény, hogy a biológiai sokféleség védelme érdekében a GM élőlények országok, régiók és kontinensek közötti terjedése/terjesztése szabályozást követel meg. Ez a Cartagena protokoll néven jegyzett szabályozás (2000) egyébként napjainkig az egyetlen jogilag elismert nemzetközi dokumentum, melyet hazánk a témában ratifikált (2004). Nem hagyható megjegyzés nélkül, hogy ezt a szabályozást is a tudományos közösség kezdeményezte felelősségének tudatában, s részt vett a tárgyalások kezdetén annak megfogalmazásában. Sajnálatos módon azonban a tudományos szféra egyre inkább háttérbe szorult, és teret kapott a jogalkotók, a politikusok részvétele, nem beszélve a civil mozgalmak befolyásolásairól (nem elhallgatva azok pozitív vonásait). Ma már, ha egy érdeklődő meglátja a CBD szakértői listáját (<http://www.cbd.int/countries/?country=hu>), szinte senkit sem talál azon tudományos szakemberek közül, akik kezdeményező szerepet játszottak, majd részt vettek a Cartagena protokoll megfogalmazásában. Ez a helyzet alapvetően meghatározza a Cartagena protokoll végrehajtásának szakmai kifogásait megfogalmazó társadalmi kritikákat. Az egyezmény az elővigyázatos megközelítés fogalmának szellemében került elfogadásra, amit később az Unió törvénykezéseiben már az elővigyázatosság elvére változtatott meg, egyébként önhatalmúlag, ami jelentős értelmezési különbségek miatt is ellentétes álláspontot gerjeszt az Újvilág és Európa között.

Nem lebecsülve a szabályozás szükségességét megállapítható, hogy egyes országok, és főleg az Unió rendeletei olyan bürokratikusak és túlszabályozottak, hogy ennek következtében egy GM növényfajta Uniós engedélyeztetése akár három évbe is beletelik, míg ugyanez az eljárás az Amerikai Egyesült Államokban vagy Kanadában nem több mint hat-nyolc hónap. Egy-egy eljárás költsége Amerikában megközelíti az 5 millió dollárt, míg az Unióban a 8 millió eurót. Ez olyan nagyságrendű összeg, ami ellehetetleníti azt, hogy egyetemi kutatás vagy kutatóintézeti műhely kezdeményezhesse egy GM növény engedélyeztetését, teret hagyva ezzel a tőkeerős, nagy multinacionális cégeknek. A génmódosítás technológiájának alkalmazása ezzel elsősorban csak jelentős gazdasági haszonnal kecsegtető és szabadalmilag védhető hibrid növényekre korlátozódik.

Az Unió felismerte az élelmiszer-biztonság fontosságát, különös tekintettel arra, hogy főleg élelmiszer-ipari felhasználásra jelentős mértékben importál termékeket és alapanyagokat más kontinensekről, melyek országai a mezőgazdasági művelés során az Unió országaiban már betiltott kémiai anyagokat is felhasználnak. Továbbá ezek az áruk olyan mikroorganizmusokkal lehetnek szennyezettek, melyek veszélyt jelentenek az európai emberek egészségére és környezetére egyaránt. A kockázatok elhárítása érdekében alapították meg az Európai Élelmiszer-biztonsági Hivatalt (2002), melynek tevékenysége kiterjed az élelmiszer-biztonság minden kérdéskörére. Működése és szakmai kompetenciája azonosnak tekinthető az Amerikai Egyesült Államok, Kanada és Ausztrália megfelelő kormányzati szerveivel. E hivatal egyik fontos feladata a GM élőlényekkel kapcsolatos szakmai állásfoglalás kialakítása. Sajnálatos módon és annak ellenére, hogy az Unió politikai döntésére szervezték meg e testületet, az Unió politikusai szkeptikusak, sőt sok esetben elfogultsággal vádolják meg a szakértői állásfoglalásokat, míg a tengerentúli társadalmak nemcsak hogy megbíznak a kormányzati szakmai állásfoglalásokban, hanem elfogadják és támogatják is azokat. Sokat segíthet a géntechnológia elfogadásában és megértésében a gazdaságilag fejlett országok szervezetének, az OECD-nek szakmai munkája, melynek során ún. konszenzus dokumentumok kidolgozásával segítik az egyes országok géntechnológiai szabályozását ([http://www.oecd.org/document/60/0,3746,en\\_2649\\_34387\\_46720508\\_1\\_1\\_1\\_1,00.html](http://www.oecd.org/document/60/0,3746,en_2649_34387_46720508_1_1_1_1,00.html)).

A több mint tizenöt éve megkezdődött kereskedelmi célú GM növénytermesztés, mely ma már meghaladja a 148 millió hektárt a világon, negatív környezeti és állat-, valamint humánegészségügyi hatás nélkül olyan mértékű tapasztalatok felhalmozódásával járt, hogy nyugodt szívvel megkezdhető egyes esetekben a szabályozás lebontása bejelentési kötelezettségre, vagy a szigorú szabályok egyszerűsítésére. Ennek egyes jelei már megmutatkoztak az Amerikai Egyesült Államokban a vírusellenálló GM növények deregulációjával. A jövőt tekintve a legfontosabb, hogy ne a szabályozás kedvéért szabályozzunk.

**A hazai szabályozások:**

- 1998. (III. 16.) évi XXVII törvény a géntechnológiai tevékenységről;
- 82/2003. (VII. 16.) FVM rendelet a géntechnológiai tevékenységre vonatkozó nyilvántartás és adatszolgáltatás rendjéről, valamint a géntechnológiai tevékenységhez szükséges engedély iránti kérelemhez csatolandó dokumentációról;
- 111/2003. (XI. 5.) FVM-GKM-ESZCSM-KvVM együttes rendelet a géntechnológiai módosításnak tekintendő, valamint annak nem minősülő eljárásokról és a géntechnológiai tevékenység ellenőrzésére jogosult hatóságokról;
- 128/2003. (XII. 19.) FVM rendelet a Géntechnológiai Eljárásokat Véleményező Bizottság szervezetéről és működéséről;
- 148/2003. (IX. 22.) Kormányrendelet a géntechnológiai bírság megállapításáról;
- 142/2004. (IX. 30.) FVM-GKM együttes rendelet a mezőgazdaság és ipar területén folytatott géntechnológiai tevékenység egyes szabályairól;
- 138/2004. (IX. 23.) FVM rendelet a géntechnológiai tevékenység engedélyezéséért fizetendő igazgatási szolgáltatás díjairól;
- 132/2004. (IV. 29.) Kormányrendelet a géntechnológiai tevékenység engedélyezési eljárás rendjéről, valamint az eljárás során az Európai Bizottsággal való kapcsolattartásról;
- 86/2006. (XII. 23.) FVM rendelet a géntechnológiával módosított, a hagyományos, valamint az ökológiai gazdálkodással termesztett növények egymás mellett folytatott termesztéséről.

## 17. GM növények – média – közönség

GIMES JÚLIA

A legújabb, 32 országban reprezentatív mintákon végzett kutatások eredménye szerint (Europeans and Biotechnology in 2010, Winds of change? [http://ec.europa.eu/public\\_opinion/archives/ebs/ebs\\_341\\_winds\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/public_opinion/archives/ebs/ebs_341_winds_en.pdf)) általánosságban a biotechnológiát és a géntechnológiát az európaiak többsége - 53 százaléka - pozitívan ítéli meg, miközben 20 százalék nem tud véleményt alkotni. A genetikailag módosított (GM) mezőgazdasági termékek sokkal rosszabbul állnak, az ellenzők minden országban nagy többségben vannak: átlagosan két-három jut egy támogatóra, és a nem túl izmos támogatottság is csökkenőben van. Amellett, hogy az európaiak számára kiemelkedően fontos a biztonságosság, nem látják, hogy a géntechnológiák alkalmazásának előnyei volnának a mezőgazdaságban. Míg a génterápiát (ahol az emberi genom módosításáról van szó, viszont a cél és jó esetben az eredmény is a gyógyítás) 63 százalékuuk támogatná és csak 37 százalék utasítja el, a GM élelmiszerek esetében nagyjából fordított az arány.

Mostanáig hat európai országban (Spanyolország, Portugália, Csehország, Szlovákia, Románia, Lengyelország) termeltek GM növényt összesen körülbelül 95 ezer hektáron, míg hat országban (Franciaország, Németország, Görögország, Luxemburg, Ausztria, Magyarország) tilalom van érvényben az ilyen termelésre. Magyarországon az európai átlaghoz hasonló, annál kicsit pozitívabb a GM élelmiszerek megítélése. 32 százalék támogatja, 68 százalék ellenzi (Európában 27:73), ha csak a véleményt nyilvánítókat számítjuk. A termelést tiltó országokra jellemző, hogy a lakosság körében is alacsony, az európai átlag alatti az elfogadottság (10-23 %), ez alól csak Magyarország kivétel (32 %).

A felmérésből az is kiderül, hogy az európai állampolgárok meglehetősen tájékozottak a GM élelmiszerekkel kapcsolatos kérdésekről. Körülbelül 50 százalékuuk nemcsak hogy hallott róla, de célzatosan információkat is keresett már a témáról vagy másokkal megbeszélte. Csak 18 százalék nem hallott még róla semmit. A tájékozottság nyilvánvalóan a Magyarországon is jellemző intenzív médiafigyelemnek és a folyamatos médiajelenlétnek köszönhető.

Az intenzív figyelmet jellemző adat, hogy az internetes kereső közel 30 ezer magyar nyelvű, magyarországi, az elmúlt évben megjelent találatot ad, ha a GMO kifejezést az élelmiszer, a növény vagy a kukorica szóval kombináljuk. A témának az országos médiában legalább 50-100 megjelenése van, a közhangulatnak és Magyarország hivatalos, minden politikai párt által támogatott álláspontjának megfelelően, zömében negatív szerepben.

A tájékoztatásban dolgozók meglehetősen nehéz helyzetben vannak, ha ezzel a kényes, sokféle érdek és szempont által befolyásolt kérdéssel kívánnak foglalkozni. A problémák egy része a média helyzetével/állapotával függ össze:

Az információáramlás felgyorsulása és az éles versenyhelyzet nem kedvez bármilyen téma elmélyült, sok időt és erőfeszítést igénylő feldolgozásának. A géntechnológia eredményeinek értékelése elsősorban tudományos kérdés. Ugyancsak tudományos kérdés volna, még ha más szakterülethez tartozik is, az ezen



eredmények gyakorlati használata esetén várható következmények, kockázatok meghatározása. A tudomány eredményei azonban gyakran nehezen érthetőek, nemcsak a hírek fogyasztói, de "termelői" számára is. A tudományos eredményeknek a közvélemény számára érthető formába történő, elvárható színvonalú feldolgozása sok időt igényel, sok idő azonban ritkán van. A háromnapos hírek már elavultak, a tudományos újdonságok híre is egy nap alatt körbeér a Földön, másnapra már új kell. Ilyen körülmények között nem meglepő, hogy gyakran megalapozatlan, téves, félrevezető információk jelennek meg. Az eredeti forrásokból dolgozni sokkal több munkát, információkat beszerezni, esetleg a téma szakértőivel konzultálni sokkal több időt igényel. A kényszerű gyorsaság mellett az erőltetett figyelemfelkeltési kényszer is a hírverseny következménye, és ez is a tájékoztatás minőségét rontja. A tudomány eredményei csak ritkán szenzációsak, általában hosszú sziszifuszi munkával és kis lépésekben halad a tudomány, és mivel erről tudósítani sem lehet szenzációsan, erős a késztetés a túlzásokra, figyelemfelkeltő bejelentésekre.

A másik nehézség, ami a GM növények és élelmiszerek sajtófeldolgozásakor jelentkezik, az magával a tudománnyal (illetve művelőivel) kapcsolatos. Az elmúlt évtizedben Magyarországon a tudósok hol szűkebb, hol szélesebb nyilvánosság előtt, vehemensen vitatkoztak a géntechnológiák hasznáról, veszélyeiről, engedélyezésének, korlátozásának szükségességéről, látszólag a konszenzus legkisebb esélye nélkül. Ezek, a szakemberek által közéleti, ismeretterjesztő és szaklapokban írt, egymással helyenként személyeskedésig menő módon vitatkozó cikkek, ha számukban nem is, de hatásukat tekintve mindenképpen nagy jelentőségűek a nyilvánosság tájékoztatásában. Egy újságíró vagy szerkesztő nem kompetens abban, hogy szakmai alapon eldöntse ezeket, a tudomány magas rangú, tekintélyes képviselői között zajló vitákat. Ugyanakkor, ha tájékozott a témában, tudnia kell ezekről a vitákról, és tudja azt is, hogy melyik tudós melyik szekértáborba tartozik. És adott pillanatban, az egymásnak ellentmondó vélemények közül bármelyikhez tud kellően fajsúlyos szaktekintélyt is találni. Így aztán a nyilvánosság számára szállított információ a sajtó munkatársának személyes meggyőződésétől, véleményétől inkább függ majd, mint a tudományosan alátámasztott eredményektől. Meglehet, hogy a GM növények és élelmiszerek veszélyességét és hasznosságát illetően még nem lehet kellően megalapozottan állást foglalni. De amíg ezen szakterületek elvileg egy nyelvet beszélő, professzionális képviselői sem tudnak ugyanazon adatokból legalább nagyjából hasonló következtetésre jutni, addig némileg alaptalanul kárhoztatják a sajtómunkások hozzáértését és felkészültségét. Pedig talán ebben a kérdésben esik egymáshoz legközelebb a vitázó felek álláspontja:

*"...a közéleti siker nem szükségszerűen a jó felkészültségből ered. Elég hozzá valamiféle közösség szövivői szerepébe kerülni; elég, ha a rapszodikus média szakértőnek nevez ki bennünket. ... A csak szakközegében megnyilvánuló kutató viszont nem válik hallhatóvá. Üzenete utolsók között jelenik meg az internetes kereséskor; ez a hang elvész az információs dagályban. ... hogyan írjam le, hogy mekkora számárságok jelennek meg a sajtóban ... Vajon miért ír cikket tájékoztatlan, aki*

*nem elég kitartó az elérhető dokumentumok elolvasásához... S miért fűz ehhez a becserkészetlen témához a szerkesztőség műkedvelő álláspontot? Szóval, mikorra várható a hazai szakújságírók megjelenése? Úgy tűnik: sohanapján.*“ (Darvas Béla: Legyen meg az akaratuk Élet és Irodalom, L. évfolyam 39. szám, 2006. szeptember 29.)

*“A kívülállók – például a média jelentős része – ezért hajlamos úgy ítélni, hogy a kérdés tudományosan eldöntetlen, a kutatók egyik fele kimutat, másik fele nem mutat ki veszélyeket. Ez azonban teljesen téves beállítás, mégpedig a média természete miatt az. Ha ugyanis bárhol a világon bárki előáll azzal, hogy a GM élelmiszerek fogyasztása veszélyes, ez azonnal főcímként jelenik meg a világsajtó nagy részében. Ezzel szemben a veszélytelenségről szóló kontrollkísérletek százainak semmiféle hírértéke nincs, illetve ha történetesen mégis beszámolna erről valamilyen sajtótermék, akkor a GM technológia elszánt ellenfelei azonnal megvádolnák a vizsgálatot végző kutatót, hogy a technológiában érdekelt multik fizetett ügynöke.”* (Venetianer Pál: Féljünk-e a génmanipulált élelmiszerektől? Első rész, Természet Világa, 136. évfolyam, 10. szám, 2005. október)

GM-kérdésekkel foglalkozni tehát a legnehezebb újságírói feladatok közé tartozik. A legnagyobb körültekintés és legalaposabb felkészülés esetén is jó esély van arra, hogy az újságíró kivívja a szakértő tudósok valamelyik csoportjának rosszsallását.

## 18. Genetikailag módosított haszonnövények: a Kezdet vagy a Vég?

„Sok húhó semmiért?”

SOMFAI BÉLA

A huszadik század közepén kibontakozó zöld forradalomnak a magas hozamú hibrid haszonnövények kinemesítésével elért eredményeit messze meghaladó lehetőségek valósultak meg napjainkban a géntechnológia rohamos fejlődésével. A DNS-lánc és összetevőinek molekuláris szintű meghatározása lehetővé tette az élőlények genetikai sajátosságainak azonosítását, és a kívánt tulajdonságokat meghatározó genetikai információk géntechnológiai eszközökkel történő átmosolását más élőlényekbe, olyanokba is, amikkel a természetes kereszteződés nem lehetséges. Az így létrehozott hibridekben vagy transzgenikus élőlényekben az új sajátosságok megjelennek és örökölhetővé is válnak. Ezzel a véletlenszerűségre és a természetes kiválasztódásra alapuló lassú természetes fejlődés mellett új, célirányos és mesterségesen előidézett gyors fejlődési lehetőségek nyíltak meg. Ezek már jelentős szerepet kaptak a gyógyászatban, a mezőgazdaságban történt bevezetésük pedig remélhetőleg lehetővé teszi majd az elmaradott országok gazdasági fellendülését, valamint a századunk közepére várhatóan még inkább kiéleződő élelmezési nehézségek kezelését. Az új technológia jelentőségét a számítógép és a világháló megjelenésével lehet összehasonlítani az emberiség életében.

Ugyanakkor a reményteli várakozás mellett aggályok is fölmerültek. Nem tudjuk pontosan meghatározni a természetes fejlődés irányát, sem célját, ezért az elért eredmények hosszú lejáratú következményeit sem lehet mindig előre pontosan megállapítani. A történelem pedig azt is bizonyítja, hogy a tudományos ismereteket és a technikai lehetőségeket nemcsak az emberiség hasznára, hanem kárára is föl lehet használni. Ez a tanulmány azonban nem a szándékos károkozás veszélyeivel foglalkozik, hanem az a célja, hogy a genetikai módosítás mezőgazdasági és élelmiszer-ipari alkalmazásával kapcsolatos aggodalmakat és indokolatlan ellenvetéseket megkülönböztesse az erkölcsi kötelességből fakadó szabályoktól, és az utóbbiak határait a lehetőségekhez mérten meghatározza, vagy legalábbis körvonalazza.

Első lépésben a nagyobb valláshagyományok és néhány mozgalom elvi állásfoglalását ismertetem: kifogásaikból ki fog tűnni, hogy az ellenvetéseket nemcsak az adott valláshagyomány vagy mozgalom ideológiai vagy erkölcsi feltevései határozzák meg, hanem nagy szerepet kap a géntechnológia eljárásainak helyes vagy helytelen ismerete, és azok tudományosan megalapozott vagy téves értelmezése is. Számukra ugyanis az a fontos, hogy mennyiben lehet ezt a technológiát és még inkább annak mezőgazdasági alkalmazását világ-, ember-, és istenképünkkel, valamint erkölcsi értékszemléletünkkel összeegyeztetni. Rendszerint ugyanis összefüggés létezik a vallásos vagy ideológiai meggyőződés forrásai, a vallásos közösség gyakorlata és hitvallása, illetve a hétköznapi, a politikai

és gazdasági élet kérdéseiben és más területeken, így a géntechnológia területén is kialakult vallásos vagy világnézeti állásfoglalások között. Ezért a természetellenesség kérdése és a vallásos vagy ideológiai meggyőződés, valamint az arra épülő tilalmak nem választhatók el teljesen egymástól. Több ilyen felfogás számára a genetikai információ élőlények közötti mesterséges, tehát „természetellenes” átültetése etikai problémát jelent, vagy minden esetben, vagy legalább akkor, ha az élelmiszerként használt állatokba vagy növényekbe történik. Ez különösen érzékeny problémává válik emberből átmásolt információk esetében, de az állati vagy növényi eredetű genetikai információk élelmiszerként használt élőlényekbe való átültetése is hasonló kifogás tárgya.

A muszlimok, hinduk és szikhek meggyőződése szerint az emberi vagy állati eredet meghatározza a génmásolatok etikai természetét, ezért az emberi vagy fogyasztásra tiltott állatokból származó genetikai információkat tartalmazó étel fogyasztása minden esetben megsérti nemcsak a természet rendjét, hanem vallásuk étkezési szabályait még akkor is, ha azokat növényekbe ültették át. Ezért a muszlimok számára a disznóból származó, a hinduk és szikhek számára pedig a szarvasmarhából származó genetikai információknak még a növényi élelmiszerekbe való átültetése is tilossá teszi ezek fogyasztását. A muszlimoknak ugyanis a disznóhús, a hinduknak és a szikheknek a marhahús fogyasztása tiltott. Az utóbbi valláshagyomány követői számára az élet egyéb formáinak a kötelező tisztelete miatt a növényi eredetű táplálékba átültetett bármilyen más állati eredetű génmásolat is tilossá teszi ezek fogyasztását.

A buddhista életfelfogás szerint felelősek vagyunk az élet minden formájának tiszteletéért és védelméért. Egyenlő mértékben elítélik tehát az élet minden formájában okozott kárt vagy azok elpusztítását még akkor is, ha az tudományos kutatások érdekeit vagy a betegség és szenvedés megszüntetését célozza, így például az embriók kutatás érdekében történő főláldozását is. Szerintük a szenvedés megszüntetésére irányuló orvosi vagy tudományos igyekezet kudarcra van ítélve, mivel ez a cél végső fokon csak lelki eszközökkel, a szenvedés türelmes elviselésével érhető el. Amennyiben – és csak ebben az esetben – a genetikai információk más életformákba történt átmásolása minden károkozás nélkül megvalósítható, és ha ez az emberi szenvedést megszünteti vagy csökkenti, akkor ez a szemlélet nem lát erkölcsi nehézségeket, föltéve hogy ennek eredményei és előnyei mindenki számára egyenlő mértékben elérhetővé válnak (Somfai Béla, 2006, „Religious traditions and stem cell research”. In: Judit Sándor (szerk.) *Society and Genetic Information, Codes and Laws in the Genetic Era*. CEU Press, Budapest, 85. old.).

A zsidó álláspont, noha nem teljesen egységes, négy alapvető irányelvre épül. Testi egészségünk Istentől kapott ajándék és ránk bízott feladat, testünknek ugyanis nem tulajdonosai, hanem csak használói és egészségünk őrzői vagyunk. A gyógyításra irányuló tevékenységben Isten társai vagyunk, és ehhez minden elérhető természetes és mesterséges eszközt föl kell használnunk. Harmadszor, mivel Isten képmásai vagyunk, a gyógyítás szempontjából minden ember egyenlő. Végül, mivel cselekedeteink lehetséges következményeit előre nem tudjuk mindig biztosan megállapítani, mindent meg kell tennünk azért, hogy a kár

okozásának lehetőségét elkerüljük. A genetikai információ mesterséges átmásolásának kérdésében véleményük szerint nem az információ eredete, hanem a befogadó élőlény külső megjelenési formája határozza meg az átmásolás erkölcsi jelentőségét. Amíg például egy tehén lényeges sajátosságai fölismerhetők (például négy patás láb és kérődzés), az tehén marad még abban az esetben is, ha emberi, állati vagy növényi eredetű genetikai információk hordozójává is vált. Mindent meg kell azonban tennünk, hogy a rövid és hosszú lejáratú károk létrehozásának lehetőségét elkerüljük. Ezeknek a szempontoknak az érvényesülése esetén a géntechnológia alkalmazását nem kifogásolja a zsidó vélemények többsége. Ez a valláshagyomány is fontosnak tartja a létrejövő eredmények igazságos elosztását, valamint a jól informált beleegyezés feltételeinek biztosítását. Az ortodox zsidó valláshagyomány azonban valamivel szűkebbre szabja az erkölcsi határokat, mivel a Törvény tiltja a fajok és fajták határainak áthágását és jellemző sajátosságaik összekeverését (Leviták 19,19: „Tartsd meg törvényeimet. Barmaid között ne pároztass két különböző fajtát, földedbe nem vess két különféle magot, ne hordj magadon két féle színű ruhát”). Ez ugyanis zavart keltene nemcsak a közfelfogásban, hanem a teremtett világ rendjében is. Ezért csak azon genetikai információk átmásolását tekinti elfogadhatónak, melyek a természetes kiválasztódás útján is megvalósulhatnak. Ez alól kivételt képeznek olyan genetikai módosító (GM) eljárások, melyek életmentésre irányulnak, vagy életmentő gyógyszerek előállításához szükségesek (Somfai Béla, i. m. 86. old.). Ezek vagy hasonló vélemények megtalálhatók még kisebb keresztény és nem keresztény csoportokban, valamint minden olyan természetvallásban is, amely a genetikai információ mesterséges átültetését természetellenesnek tekinti.

Különböző elvi feltevésekből kiindulva más ideológiai mozgalmak egy része is osztja ezeket a véleményeket. A vegetáriánusok álláspontja nem teljesen egybehangzó. Általában őket is aggasztja a táplálékukban található esetlegesen állati eredetű genetikai információ. Nem tartják elfogadhatónak az emberi eredetű gének állatokba vagy növényekbe történő átültetését. Szükség esetén azonban elfogadják a GM-eljárásokat, mint például a sajtgyártáshoz szükséges rekombináns oltóanyag használatát a szárított tehénbendő helyett. Ellenzik az állatokon végrehajtott GM-eljárásokat is, valamint az állati eredetű genetikai információ táplálékukban való megjelenését. Az állatvédő szervezeteket aggasztják a gyógyszergyártáshoz fölhasznált GM állatok tartási körülményei. Ezeket ugyanis rendszerint elzárt és steril környezetben tartják, ami nem kis szenvedést okoz nekik, és lehetetlenné válik számukra a természetes életmód. Ezért határozottan ellenzik azoknak a GM állatoknak – birkáknak, kecskéknak vagy teheneknek – a fogyasztását, melyeket képessé tettek arra, hogy gyógyszerészeti alapanyagokat hozzanak létre vérükben vagy tejükben. A Föld Barátai mozgalom hiányolja a tenyésztett és GM állatok jogvédelmét, mivel szerintük ezek az eljárások rendkívüli szenvedést okoznak például a rákosodásra hajlamossá tett egereknek vagy az emberi növekedést szabályzó génnel ellátott óriás disznóknak. Elismerik azonban, hogy a megfelelően alkalmazott GM-eljárások javítják az életminőséget. Az Élveboncolás Elleni Társaság is ellenzi a génmódosítással kapcsolatos kísérleteket, a GM-eredetű ételek fogyasztását, és tagadja azt a véleményt is, mely szerint ezek az eljárások

lényegében azonosak a természetes szelekción alapuló tenyésztéssel. Kifogásolják a kutatások titkosságát, mivel úgy vélik, hogy éppen ez az oka a biotechnológiával kapcsolatos bizalmatlanságnak és vitáknak. A zöld mozgalmak az ökológiai egyensúly lehetséges megbomlását vagy a nem módosított természetes állat- és növényfajták esetleges kiszorulását róják fel ellenvetésként (Basma, 1994, *British Food Journal*, 96: 13).

A keresztény álláspont közel áll az általános zsidó felfogáshoz, és nincsen lényeges eltérés a római katolikus, az ortodox keresztény és a protestáns álláspont között. II. János Pál pápa megnyilatkozásaiban többször is kitért a modern biotechnológia használatának kérdéseire, és véleménye jól képviseli a közös hagyományt. Megállapította, hogy alkalmazásuk a mezőgazdaságban, az orvostudományok és a környezetvédelem területén új remények és aggodalmak forrása lett, és széles körű társadalmi vitákat váltott ki, mivel fontos értékekről van szó.

***„A teremtés keresztény értelmezése pozitívan értékeli a természetbe történő emberi beavatkozást, amely más élőlényekre is kiterjed, és ugyanakkor felelősségtudatunknak is erőteljes kihívást jelent. ... Végeredményben a természet nem szent vagy isteni valóság, amihez az ember nem nyúlhat, hanem a Teremtő ajándéka az emberi közösség számára, rábízta azt a nők és férfiak intelligenciájára és erkölcsi felelősségtudatára.”***

Azt is hangsúlyozta a pápa, hogy a modern biotechnológiának erőteljes szociális, gazdasági és politikai hatása van nemzeti és nemzetközi szinten. Ezeket etikai elvek alapján kell kiértékelni, „... és elsősorban az igazságosságot és szolidaritást kell figyelembe venni.” (Pontifical Council for Justice and Peace, 2009, *Compendium of the Social Doctrine of the Church*, par. 473–478.)

A biotechnológia megfelelő használata azonban csak az erkölcsi probléma egyik tényezője, folytatta a pápa. Amint minden emberi cselekmény esetében, úgy ennek használatában is gondosan mérlegelni kell a tudományos beavatkozás hasznosságát, a lehetséges következményeket és azok esetleges kárait, hosszú távon is. Tévedés lenne azonban azt vélni, hogy a hasznos következmények létrejötte önmagában megoldást biztosít a nyomasztó szegénység, az egészségi veszélyek, a mezőgazdasági visszamaradottság és az élelmezés sürgető problémáira. A szolidaritás megköveteli az így előállított javak igazságos elosztását, a technika megfelelő használatához szükséges tudományos ismeretek és a technikai-orvosi eszközök elérhetőségét a szegény nemzetek számára is, valamint a minden igazságtalan korlátozástól mentes kereskedelem feltételeinek megteremtését. Arról sem szabad megfeledkezni, hangsúlyozta a pápa, hogy az ismeretanyag, amire ez a technológia fölépült, az egész emberiség öröksége, amire a jövő nemzedékeknek is szüksége lesz. A hívők ezt isteni adománynak tekintik, aminek igazságos birtoklását lehetővé kell tenni a fejlődő országok számára is. Ezért a kutatás, a termelés és a kereskedelem folyamatában nemcsak a haszon-szerzést, hanem a közjó világszerte érvényes követelményeit is figyelembe kell venni. Ezek az igények a fejlődő országok vezetőit is kötelezik. Legsürgetőbb az egyre növekvő élelmiszerhiány és a megfelelő egészségügyi szolgáltatás feltételeinek biztosítása. Ezekkel a megállapításokkal az elővigyázatosság fontosságát és fele-

datait is körvonalazta a pápa (i. m. par. 473, 474.).

A véleményeknek ebből a rövid ismertetéséből is kitűnik, hogy a genetikai módosítás mezőgazdasági alkalmazásának erkölcsi értékelése több szempont mérlegelésével történik. Ezeknek egy része egy adott valláshagyomány vagy filozófiai felfogás isten-, világ- vagy emberképétől, valamint a géntechnológiával kapcsolatos ismereteiktől függ, szerepet kap azonban az eljárásokkal járó globális kockázatok és előnyök mérlegelése is. Ebben a mérlegelésben megkülönböztetett fontosságot kell tulajdonítani az egyre növekvő élelmiszerigénynek, valamint az előnyök igazságos elosztásának is.

A továbbiakban az ellenvetések vizsgálatával foglalkozunk. Ezek témájuk alapján négy nagy csoportba oszthatók: (1.) a géntechnológia elvi alapokon feltételezett természetellenessége és a vele kapcsolatos vallásos és erkölcsi kifogások, (2.) az emberi egészségben és a környezetben okozott lehetséges károk, (3.) a mezőgazdaság hagyományos formáit fenyegető veszélyek, és (4.) a felhasználás jogának korlátozása a nagytőkés vállalatok finansziális érdekeinek védelmében. A vizsgálatnak figyelembe kell vennie a genetikai módosítás mezőgazdasági alkalmazásával járó gazdasági és társadalmi előnyöket is, különösen a fejlődő országok számára.

1. A **természetellenesség** mérlegelésekor különbséget kell tennünk az emberi személy mivoltát (természetét) meghatározó alapvető sajátosságok, valamint a szerves és szervetlen világ sajátosságainak fontossága között. Léteznek az emberben olyan alapvető és értelmünkkel megragadható közös sajátosságok, melyek az embert személyé teszik. Megváltoztatásukkal alapvető emberi értékek megvalósításának lehetősége, az emberi élet értelme és célja szűnne meg vagy válna bizonytalaná, az ember fölismerhetetlenné válna, vagy megszűnne ember lenni. Ez a kritikus gondolkodás egyik legrégebbi alaptétele. A klasszikus filozófiai hagyomány ezekből a sajátosságokból alkotta meg az emberi természet fogalmát. A keresztény vallásfelfogás szerint megváltoztatásuk felismerhetetlenné tenné az emberben hordozott isteni képmást. Mivel az ember ma is fejlődik, az ember természetének kimerítő ismerete meghaladja képességeinket. Azt azonban biztosan állíthatjuk, hogy a szép és jó megvalósítására, az igazság megragadására vagy az önelhatározásra való képesség és sok más hasonló sajátosság megkülönböztet bennünket az élőlények világától, megszüntetésük magát az embert szüntetné meg. Mindez nem jelenti azonban a géntechnológia létező és még nem létező eszközeinek teljes kizárását az ember esetében. Ezek ugyanis segíthetik emberi sajátosságainak kibontakoztatását és feladataink nagyobb felelősségtudattal történő teljesítését.

Lehet-e ugyanezeket vagy hasonló megállapításokat tenni az élővilág esetében is? A kérdésre adható válasz nem teljesen magától értetődő. Ha feltételezzük, hogy létezik egy minden részletében előre meghatározott világrend vagy isteni terv, akkor igennel kell válaszolnunk. Ennek a világrendnek a pontos megértése nélküli beleavatkozást, ha az nem is lenne lehetetlen, még a legjobb körülmények között is felelőtlen vállalkozásnak kellene tekintenünk. Ha viszont egy véletlenszerű, de önmagát fönntartó és kibontakoztató világképet fogadunk el – melyet mai ismereteink alapján nem lehet tagadni –, akkor a válasz nehezebb feladat lesz,

már csak azért is, mert nem lehet a véletlenszerűségen alapuló fejlődés irányát pontosan meghatározni. A józan ész és a keresztény világszemlélet alapján azonban állíthatjuk, hogy az állandóan változó világban az emberiség érdekeit szolgáló és legalább az előre látható veszélyeket nagy valószínűséggel kiküszöbölő géntechnológiai beavatkozásokat nem lehet eleve elítélni. Egy lépéssel továbbmenve, ezt a megállapítást kissé erősebben is megfogalmazhatjuk. Feltételezve, hogy a Földnek felelős gazdái vagyunk, nem azt kell kérdeznünk, hogy végrehajthatunk-e lehetséges és indokolt beavatkozásokat, hanem azt, hogy vannak-e nyomós okok, amik miatt nem szabad ezeket megtennünk? A nyomós okok mérlegelésében az előre látható lehetséges károkat és a beavatkozás várható előnyeit kell összevetnünk. Az ismeretlen, de még a veszélyekkel járó lépések megtételét is az ember tudásvágya sürgeti, akár kockázatok árán is. A kísérletezés kockázatait azonban nem embereken kell kezdeni, noha gondolnunk kell arra, hogy a mi jövőnk is nagyrészt a bioszféra egyensúlyának megőrzésétől függ. Történelme folyamán az ember állandóan alakította környezetét és benne az élővilágot. A különbség a hagyományos szelekció és a mai géntechnológia lehetőségei között lényegében a célirányosságban, valamint a biztosabban és gyorsabban megvalósítható nagyobb hatékonyságban van. Azt is figyelembe kell venni a természetellenesség mérlegelésében, hogy a genetikai módosítás csak a kívánatos folyamatokat meghatározó genetikai információk átültetését és nem egy teljes állati vagy növényi genom (génállomány) idegen fajba történő áthelyezését jelenti. Más szóval, a genetikai módosításnak az élővilágban nincsenek a priori határai: az, ami megtehető, lehet rosszindulatú és felelőtlen, de felelős, mi több megteendő kezdeményezés is. A különbség a cselekvő szándékán és a következményeken múlik.

2. A **környezeti károk** lehetőségének kérdéséhez egy bevezető megfontolásból indulunk ki. Tartozás csak létező egyének, embercsoportok között állhat fenn, még nem létező emberekkel szemben nem lehet tartozásról beszélni a szó szoros értelmében. A kérdés tehát az, hogy milyen alapon lehet a hosszú lejáratú következményekért járó felelősséget meghatározni? A klasszikus filozófiai gondolkodás a választ az eredeti jelentését már elvesztett „kegyelet” (*pietas*) kifejezéssel adta meg. A természet gazdagsága az emberiség egész családjának az öröksége, egy ingyenes adomány, amit a maga teljességében meg kell őriznünk. Annak eltékozlása, elvesztése önmagában is felelőtlenység lenne, amivel a legnagyobb kárt a magunk emberségének okoznánk. Így érthető a Pápai Tudományos Akadémia 2009-ben kiadott nyilatkozata, amely tudományos adatokra hivatkozva sürgeti a genetikai módosítás lehetőségeinek széles körű mezőgazdasági és élelmiszeripari alkalmazását, és ehhez részletes irányelveket is megfogalmaz (Pápai Tudományos Akadémia, Study Week, Vatikán Város, 2009. május 15–19.).

Jelenleg 1 milliárd ember éhezik. A század közepére földünk várhatóan 9 milliárd lakójának közel harmada kerül ebbe a helyzetbe. A klíma valószínű romlása, az édesvízi készletek, valamint az elérhető termőterületek csökkenése, azok növekvő ipari és kémiai szennyezettsége, mikrotápanyagainak elszegényedése a jelenlegi elavult termelési módszerek mellett megoldhatatlan problémákat fog teremteni a számban megnövekedett lakosság élelmezésében. A géntechnológia modern eszközeinek mezőgazdasági alkalmazása ismereteink szerint nem



jár számottevő veszélyekkel, és alkalmas a termelékenység jelentős növelésére. Arra van sürgető szükség, hogy ezek az ismeretek és a tudományos kutatás további várható eredményei, valamint a magas hozamú és a helyi körülményekhez megfelelően alakított GM vetőmagvak a helyi termelési kultúrákba beilleszthetővé, mielőbb elérhetővé és megfizethetővé váljanak a fejlődő országok számára is.

3. A genetikai módosítás mezőgazdaságra gyakorolt hatásait vizsgálva az Akadémia megállapította, hogy ez a technológia a **hagyományos termesztési módszereknél** jóval megbízhatóbbá és veszélytelenebbé is vált. Ezt bizonyítják azoknak az országoknak a mezőgazdasági eredményei is, ahol széles körben elterjedt a rovaroknak és gyomoknak ellenálló GM növényfajták (főleg a szójabab, kukorica, gyapot, és az olajrepce) termesztése, így az Egyesült Államokban, Kínában, Argentínában és Indiában, valamint számos más fejlődő országban. A helyi körülményekhez alakított növényfajták csökkentik az energia, a műtrágya és a rovarirtó szerek használatának szükségességét, ami az ökológiai egyensúlyra és az emberi egészségre is előnyös. Az új GM növényfajták használata csökkenti a felszíni talaj erózióját is, és jobban megőrzi a helyi bioszféra ökológiai egyensúlyát. A kockázatokat és terheket nem önmagukban kell mérlegelni, hanem össze kell vetni a hagyományos fajtákéval.

4. A GM növények elérhetőségének biztosítása azonban csak első lépése a fejlődésnek. A használatukhoz és a termékek feldolgozásához szükséges tudományos, technikai és gazdasági ismeretek és eszközök birtoklására és fejlesztésére is szükség van, valamint az **igazságos elosztórendszerek** megteremtésére. Azt is tudomásul kell venni azonban, hogy – más eljárásokhoz hasonlóan – a genetikai módosítás sem lesz képes beváltani minden hozzáfűzött reményt, ezért a mezőgazdaság hagyományos módszereit és eszközeit is használatban kell tartani, és a gazdasági infrastruktúra fejlesztését sem szabad elhanyagolni.

A Pápai Tudományos Akadémia állásfoglalása azt is hangsúlyozza, hogy a keresztény hagyomány szerint a Föld javai elsősorban az egész emberiség érdekeit szolgálják. A magán és nyilvános szektor tulajdonjoga ennek az elsődleges érdeknek van alárendelve: nem engedhető meg tehát ennek az érdekérvényesülésnek a korlátozása a szegény és sebezhető társadalmi rétegek kárára. Az élelmiszer-ellátás igazságos biztosításához a magán és a nyilvános szektor együttműködése elengedhetetlen. Már vannak biztató példák a szabadalmi jogok közérdeknek megfelelő használatára vagy a haszonszerzés szegények érdekeinek való alárendelésére annak ellenére, hogy a legtöbb jogilag védett szabadalom nagy nemzetközi korporációk kezében van. A két szektor piaci együttműködése „nem zárja ki a haszon megvalósulását, hanem lehetővé teszi emberi és szociális célok megvalósulását is”. Ez az összetett irányzatú „közösségi gazdálkodás olyan piacot teremt, amely nemcsak civilizáltabb, de versenyképebb is.” (XVI. Benedek pápa, Charitas in Veritate enciklika, Vatikán Város, június 29. par. 46.)

Az állami szektornak arra kell törekednie, hogy a kutatás támogatása mellett annak eredményeit is széles körben elérhetővé tegye a mezőgazdasági termelésben és az egészség szolgálatában. Ugyanakkor el kell kerülni a szabályozás túltengését is, mert az megdrágítja az amúgy is költséges kutatást és fejlesztést, valamint megnehezíti a szegények javát szolgáló gazdasági és társadalmi fejlődést.

Ez a GM növények használatában két nehézséget okoz: nem egy esetben a helyi növényfajták termesztése magas költségekkel és kevés haszonnal jár, nem játszhatnak tehát érdemleges szerepet a nemzetközi kereskedelemben. A másik következmény a kisebb jelentőségű növények esetében az, hogy hasznuk nincsen kedvező arányban a szükséges befektetések költségeivel és kockázataival. Ezért azok helyett az igényeket nagy méretben kielégítő más termékekkel foglalkoznak a gazdaságok. A túlságosan szigorú szabályozást a gazdag országok fogalmazták meg, és jórészt a GM növények feltételezett kockázatait célozták meg, hátrányos helyzetbe hozva ezzel a szegény országokat, valamint a szegény kistermelőket és kereskedőket. Az új GM növények értékelését tulajdonságaik, és nem a felhasznált technológia alapján kell megejteni. Csak így lehet fölmérni a bennük rejlő előnyöket, és továbbfejleszteni a különböző variációkat. Csak így lehet biztosítani, hogy ezek használata a szegény közösségekben is biztonságos, elfogadható és hasznos legyen a fejlődő világban. Nem tanúsíthatunk nagyobb óvatosságot ezen a területen annál, mint amit hétköznapi tapasztalataink alátámasztanak.

A GM haszonnövények kockázatai nem különböznek a géntechnológia más területein létrejövő kockázatoktól. Az allergia vagy mérgezés rövid lejáratú kockázatait előre ki lehet zárni megfelelő vizsgálatokkal az új GM fajták bevezetése előtt. Ezzel máris nagyobb elővigyázatosságot tanúsítunk, mint a hagyományos módszerekkel előállított új fajták esetében. Jelenlegi ismereteink világosan azt bizonyítják, hogy a géntechnológiai eljárásokkal a genomba helyezett változások csak a biológiai fejlődés már jól megismert természetes stratégiáját követhetik. Az életképes variációk csak kis lépésekben jöhetnek létre. Ez érthetővé válik, ha meggondoljuk, hogy egy növény genomja hasonlít egy több száz kötetes enciklopédiához, miközben egy modern géntechnológiai módszerrel okozott változás legjobb esetben is egy vagy csak néhány gént érint abból a körülbelül 20-30 ezer génből, amit egy növényben átlagosan találhatunk. Tehát a géntechnológia fejlődési kockázatai nem lehetnek nagyobbak a természetes fejlődés kockázatainál, vagy a kémiai eszközökkel létrehozott mutációkéénál. Mindkét eljárás létrehozhat nagyméretű és nehezen meghatározható genetikai változást is. Statisztikai adatok azonban azt bizonyítják, hogy ezek nagyon ritkán fordulnak elő, és a hagyományos nemesítési módszerekkel összehasonlítva egyébként is pontosabban meghatározhatók. Legsürgetőbb az egyre növekvő élelmiszerhiány és a megfelelő egészségügyi szolgáltatás feltételeinek biztosítása. Nemcsak az elérhető hasznot, hanem a biotechnológia alkalmazásával járó esetleges kockázatokat is gondosan mérlegelni kell, és ezekről tárgyilagos és közérthető formában pontos információt kell mindenki számára elérhetővé tenni.

A vélemények összegzésében az „elővigyázatosság” szempontjait is figyelembe kell venni még akkor is, ha *mára már biztosan állítható, hogy a genetikai módosítás kockázatai nem nagyobbak a természetes fejlődés kockázatainál.* A kérdésről zajló viták ugyanis nincsenek lezárva, nemcsak a tudományos kutatás, hanem az általános hírszolgáltatás és a széles körű közvélemény szintjén sem. Az egyik nagyon is sürgető feladat éppen az indokolatlan és szenzáció keltette aggodalom eloszlátása. Egy összetett értékelési módszer alkalmazására van szükség, amely nemcsak az esetleges kockázatokat és károkat mérlegeli, hanem azok valószínűségi

nűsítésének módszereit és az elkerülésükhöz szükséges lépéseket is. „**Olyan kezdeményezésekre van szükség, melyek rendszerezik a tudományos bizonytalanságokat, összegezzetetik a bizonytalanságok súlyára vonatkozó véleménykülönbségeket és a vitákat.**” (Anne Ingeborg Myhr, 2010, Journal of Agricultural and Environmental Ethics, 23: 503.). Egy 2005-ben megjelent UNESCO nyilatkozat szerint:

**„Amikor az emberi tevékenység olyan erkölcsileg elfogadhatatlan károkat okoz, melyek feltételezhetőek, de bizonytalanok, akkor elkerülésük vagy csökkentésük érdekében lépéseket kell tenni. ... Az elővigyázatosság megfogalmazásának minden esetben magában kell foglalnia két tényezőt: 1) a kár jeleit, és 2) a kár létrejöttére és hatására vonatkozó tudományos bizonytalanság mértékét.”** (Anne Ingeborg Myhr, i. m. 505. old.)

A teljes körű bizonyítási kötelezettség teljesítése nehéz és összetett feladat. A legtöbb országban előírják az eljárás lépésről lépésre történő alkalmazását minden egyes GM növény esetében. Ez a környezetre gyakorolt hatás fokozatosan kiterjesztett vizsgálatát jelenti, ami az üvegházi kísérletektől a kisebb, majd nagyobb területeken történő kísérletezésen át a piaci jóváhagyásig tart. A vizsgálatok eredményének elbírálásában azonban nem várható teljesen egybehangzó tudományos konszenzus. Ennek egyik forrása annak a kérdésnek *értékszemlélettől függő* megítélése, hogy a megfigyelt jelenségeknek milyen következményei lesznek az emberi egészségre vagy a környezetre. Hasonló eltérések adódhatnak a vizsgált kérdés elbírálásában szereplő kritériumok fontosságának megítélésében is. Mivel eddig ismeretlen tényezők szerepét sem lehet kizárni – a nagyon is bonyolult környezeti rendszerek struktúrájához tartozik a véletlenszerűség is –, ezért szükség van a hosszúlejáratú ellenőrzésre, de nem a korlátozásra. A tudományos ismeretek tárgyilagosságának bizonyításához nemcsak a kockázatok és a bizonytalan tényezők pontos vizsgálatára, hanem a rendelkezésre álló ismeretek korlátainak feltárására is szükség van. A viták minden bizonnyal folytatódnak, de a múlthoz hasonlóan ezután is ezek lesznek a kérdések további tisztázásának a leghatékonyabb eszközei.

### **További információ:**

- Burachik, M. (2010): Experience from use of GMOs in Argentinian agriculture, economy and environment. *New Biotechnology*, 27: 588–592. doi:10.1016/j.nbt.2010.05.011
- Weale, A. (2010): Ethical arguments relevant to the use of GM crops. *New Biotechnology*, 27: 582–587. <http://www.ask-force.org/web/Vatican-PAS-Studyweek-Elsevier-publ-20101130/Weale-Albert-PAS-Ethical-Arguments-Relevant-20101130-publ.pdf>
- A Pápai Tudományos Akadémia nyilatkozatának elérhetősége: <http://www.ask-force.org/web/Vatican-PAS-Statement-FPT-PDF/PAS-Statement-English-FPT.pdf>
- Géntechnológiai információ: <http://www.ncbe.reading.ac.uk/>

## 19. A hazai kutatók tudományos hozzájárulása a GMO kutatás eredményeihez

1986

- Deák, M., Kiss, Gy. B., Koncz, Cs., Dudits, D. (1986): Transformation of *Medicago* by *Agrobacterium*-mediated gene transfer. *Plant Cell Reports*, 5: 97–100.

1991

- Fehér, A., Felföldi, K., Preiszner, J., Dudits, D. (1991): PEG-mediated transformation of leaf protoplasts of *Solanum tuberosum* L. cultivars. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 27: 105–114.

1992

- Fehér, A., Skryabin, K.G., Balázs, E., Preiszner, J., Shulga, O.A., Zakharyev, V. M., Dudits, D. (1992): Expression of PVX coat protein gene under the control of extensin-gene promoter confers virus resistance on transgenic potato plants. *Plant Cell Reports*, 11: 48–52.

1993

- Dudits, D., Mórocz, S., Omirulleh, S. (1993): Transgenic maize plants from protoplasts: new products for plant breeding. *Hungarian Agriculture Research*, 2/1: 4–8.
- Golovkin, V. M., Ábrahám, M., Mórocz, S., Bottka, S., Fehér, A., Dudits, D. (1993): Production of transgenic maize plants by direct DNA uptake into embryogenic protoplasts. *Plant Science*, 90: 41–52.
- Kollár, Á., Thole, V., Dalmay, T., Balázs, E. (1993): Efficient coat protein mediated cross protection induced by integrated potato virus Y coat protein gene in tobacco. *Biochemie*, 75: 623–629.
- Omirulleh, S., Ábrahám, M., Golovkin, M., Stefanov, I., Karabaev, M., Mustárdy, L., Mórocz, S., Dudits, D. (1993): Activity of a chimeric promoter with the doubled CaMV 35S enhancer element in protoplast-derived cells and transgenic plants in maize. *Plant Molecular Biology*, 21: 415–428.

1994

- Aszódi, A., Módis L., Páldi A., Altanchimeg R., Kiss I., Bősze Zs. (1994): The zonal expression of chicken cartilage matrix protein gene in the developing skeleton of transgenic mice. *Matrix Biology*, 14: 181–190.
- Stefanov, I., Fekete, S., Bögre, L., Pauk, J., Dudits, D. (1994): Differential activity of the mannopine synthase and the CaMV 35S promoters during development of transgenic rapeseed plants. *Plant Science*, 95: 175–186.

1995

- Fári, M., Nagy, I., Csányi, M., Mitykó, J., Andrásfalvy, A. (1995): *Agrobacterium*-mediated genetic transformation and plant regeneration *via* organogenesis and somatic embryogenesis from cotyledon leaves in eggplant (*Solanum melongena* L. cv. Kecskeméti lila). *Plant Cell Reports*, 15: 82–86.
- Palkovics, L., Wittner, A., Balázs, E. (1995): Pathogen-derived resistance induced by integrated plum pox virus coat protein gene into plants of

*Nicotiana benthamiana*. Acta Horticulturae, 386: 311–317.

- Pauk, J., Stefanov, I., Fekete, S., Bögre, L., Karsai, I., Fehér, A., Dudits, D. (1995): A study of different (*CaMV 35S* and *mas*) promoter activities and risk assessment of field use in transgenic rapeseed plants. Euphytica, 85: 411–416.

#### 1996

- Baranyi, M., Aszódi, A., Devinoy, E., Fontaine, M-L., Houdebine, M-L., Bősze, Zs. (1996): Cloning of rabbit kappa casein gene and *in vivo* expression in transgenic mice. Gene, 174: 27–34.
- Jenes, B., Bittencourt, P. A. L., Csányi, A., Pauk, J., Nagy, I., Toldi, O., Balázs, E. (1996): The GENEBOOSTER – a new microparticle bombardment device – for genetic transformation of plants. Plant Tissue Culture and Biotechnology, 2: 42–51.
- Szász, A., Mitykó, J., Andrásfalvy, A., Fári, M. (1996): Methodological and genetic aspects of *in vitro* plant regeneration and genetic transformation of the recalcitrant pepper (*Capsicum annuum* L.). Acta Horticulturae, 447: 365–366.

#### 1998

- Giczey, G., Kerényi, Z., Dallmann, G., Hornok, L. (1998): Homologous transformation of *Trichoderma hamatum* with an endochitinase encoding gene, resulting in increased levels of chitinase activity. FEMS Microbiology Letters, 165: 247–252.
- Hornok, L., Giczey, G., Kerényi, Z. (1998): Strain improvement in biocontrol fungi. Phytoprotection, 79: 136–138.
- Katarova, Z., Mugniani, E., Sekerkova, G., Mann, J., Aszódi, A., Bősze, Zs., Greenspan, R., Szabó, G. (1998): Regulation of cell-type specific expression of lac Z by the 5´-flanking region of mouse GAD67 gene in the central nervous system of transgenic mice. European Journal of Neuroscience, 10: 989–999.
- Szász, A., Szilassy, D., Salánki, K., Fári, M., Balázs, E. (1998): A simple and efficient method for the transformation of eggplant (*Solanum melongena* L.). Acta Agronomica Hungarica, 46: 201–207.
- Wittner, A., Palkovics, L., Balázs, E. (1998): *Nicotiana benthamiana* plants transformed with the plum pox virus helicase gene are resistant to virus infection. Virus Research, 53: 97–103.

#### 1999

- Aigner, B., Pambalk, K., Reichart, U., Besenfelder, U., Bősze, Zs., Renner, M., Günzburg, W. H., Wolf, E., Müller, M., Brem, G. (1999): Species-specific alternative splicing of transgenic RNA in the mammary glands of pigs, rabbits and mice. Biochemical and Biophysical Research Communications, 257: 843–850.
- Aszódi, A., Bateman, J., Hirsch, E., Baranyi, M., Hunziker, E. B., Bősze, Zs., Fässler, R. (1999): Normal skeletal development of mice lacking matrilin1: redundant function of matrilins in cartilage. Molecular Cellular Biology, 19: 7841–7845.

- Bilgin, M., Dedeoglu, D., Omirulleh, S., Peres, A., Engler, G., Inzé, D., Dudits, D., Fehér, A. (1999): Meristem and cell division-dependent activity of wheat histone H4 promoter can be modified by growth regulators in transgenic maize plants. *Plant Science*, 143: 35–44.
- Bősze, Zs., Baranyi, M., Hiripi, L., Fontaine, M-L., Devinoy, E. (1999): High level expression of rabbit kappa casein in the milk of transgenic mice. *Transgenic Research*, 8: 56.
- Gerencsér, Á., Hiripi, L., Makovics F., Tóth Sz., Szabó G., Bősze Zs., Arányi P. (1999): Transgenic animals for in vivo testing of potential anti-amnesic therapeutic agents. *Fundamental and Clinical Pharmacology*, 13: Supplement 1., 327.
- Horváth, G. V., Oberschall, A., Deák, M., Sass, L., Vass, I., Barna, B., Király, Z., Hideg, E., Fehér, A., Dudits, D. (1999): Transgenic strategy to improve stress resistance of crop plants. *Journal of Plant Biotechnology*, 1: 61–68.
- Kiss, E., Veres, A., Varga, Á., Galli, Zs., Heszky, L. E., Tóth, E., Hrazdina, G. (1999): Genetic transformation of carnation to downregulate ethylene biosynthesis. *In Vitro Cellular and Developmental Biology - Plant*, 35: 174–175.
- Peres, A., Nikovics, K., de Almeida-Engler, J., Engler, G., Inzé, D., Fehér, A., Dudits, D. (1999): An Arabidopsis cyclin promoter region is active in transgenic maize plants. *Cereal Research Communications*, 27: 223–230.
- Pónya, Z., Finy, P., Fehér, A., Mitykó, J., Dudits, D., Barnabás, B. (1999): Optimisation of introduction foreign genes into eggs cells and zygotes of wheat (*Triticum aestivum* L.) via microinjection. *Protoplasma*, 208: 163–172.
- Xue, B., Ling, K-S., Reid, C.L., Krastanova, S., Sekiya, M., Momol, E.A., Süle, S., Mozsár, J., Gonsalves, D., Burr, T. J. (1999): Transformation of five grape rootstocks with plant virus genes and a virE2 gene from *Agrobacterium tumefaciens*. *In vitro Cellular and Developmental Biology - Plant*, 35: 226–231.

2000

- Hideg, É., Oberschall, A., Horváth, G.V., Vass, I., Dudits, D. (2000): Enhanced oxidative stress tolerance in transgenic tobacco. *Plant Physiology and Biochemistry*, 38: 234.
- Hiripi, L., Baranyi, M., Szabó, L., Tóth, Sz., Fontaine, M-L., Devinoy, E. M., Bősze, Zs. (2000): Effect of rabbit kappa-casein expression on the properties of milk from transgenic mice. *Journal of Dairy Research*, 67: 541–550.
- Kiss, E., Veres, A., Galli, Z., Nagy, N., Tóth, E., Varga, Á., Hrazdina, G., Heszky, L. (2000): Production of transgenic carnation with antisense ACS (1-aminocyclopropane-1-carboxylate synthase) gene. *International Journal of Horticultural Science*, 6: 103–107.
- Mihálka, V., Fári, M., Szász, A., Balázs, E., Nagy, I. (2000): Optimised protocol for efficient plant regeneration and gene transfer in pepper (*Capsicum annuum* L.). *Journal of Plant Biotechnology*, 2: 143–149.
- Oberschall, A., Deák, M., Török, K., Sass, L., Vass, I. Kovács, I., Fehér, A., Dudits, D., Horváth, V. G. (2000): A novel aldose/aldehyde reductase

protects transgenic plants against lipid peroxidation under chemical and drought stresses. *The Plant Journal*, 24: 437–446.

- Szabó, Z., Bánfalvi, Zs. (2000): An *Agrobacterium*-mediated transformation system for the tomato cultivar “Kecskeméti 262”. *Acta Agronomica Hungarica*, 48: 221–226.

#### 2001

- Kehm, R., Jakob, N. J., Welzel, T. M., Tobiasch, E., Viczián, O., Jock, S., Geider, K., Süle, S., Darai, G. (2001): Expression of immunogenic Puumala Virus nucleocapsid protein in transgenic tobacco and potato plants. *Virus Genes*, 22: 73–83.
- Molnár, A., Lovas, Á., Bánfalvi, Zs., Lakatos, L., Polgár, Z., Horváth, S. (2001): Tissue-specific signal(s) activate the promoter of a metalloprotease inhibitor gene family in potato tuber and berry. *Plant Molecular Biology*, 46: 301–311.
- Rakszegi, M., Tamás, C., Szűcs, P., Tamás, L., Bedő, Z. (2001): Current status of wheat transformation. *Journal of Plant Biotechnology*, 3: 67–81.
- Sakai, K., Hiripi, L., Glumoff, V., Brandau, O., Vuorio, E., Bősze, Zs., Fässler, R., Aszódi, A. (2001): Stage and tissue-specific expression of a Col2a1-Cre fusion gene in transgenic mice. *Matrix Biology*, 19: 761–767.

#### 2002

- Dóczi, R., Csanaki, C., Bánfalvi, Zs. (2002): Expression and promoter activity of the desiccation-specific DS2 gene of potato (*Solanum tuberosum* L.). *Plant, Cell & Environment*, 25: 1197–1203.
- Józsa, R., Stasevski, Z., Wolf, I., Horváth, S., Balázs, E. (2002): Potato virus Y coat protein gene induced resistance in valuable potato cultivars. *Acta Phytopathologica et Entomologica Hungarica*, 37: 1–7.
- Józsa, R., Stasevski, Z., Balázs, E. (2002): High level of field resistance of transgenic tobaccos induced by integrated potato virus Y coat protein gene. *Acta Phytopathologica et Entomologica Hungarica*, 37: 311–316.
- Józsa, R., Stasevski, Z., Wolf, I., Horváth, S., Balázs, E. (2002): Potato virus Y coat protein induced resistance in valuable potato cultivars. *Acta Phytopathologica et Entomologica Hungarica*, 37: 1–7.
- Kelemen, Zs., Mai, A., Kapros, T., Fehér, A., Györgyey, J., Waterborg, J. H., Dudits, D. (2002): Transformation vector based on promoter and intron sequences of a replacement histone H3 gene. A tool for high, constitutive gene expression in plants. *Transgenic Research*, 11: 69–72.
- Khattak, S., Darai, G., Süle, S., Rosen-Wolff, A. (2002): Characterization of expression of Puumala virus nucleocapsid protein in transgenic plants. *Intervirology*, 45: 334–339.
- Mészáros, A., Pauk, J. (2002): Chlorate resistance as a tool to study the effect of nitrate reductase antisense gene in wheat. *Cereal Research Communications*, 30: 245–252.
- Silhavy, D., Molnár, A., Luciola, A., Szittyá, Gy., Hornyik, C., Tavazza, M., Burgyán, J. (2002): A viral protein suppresses RNA silencing and binds silencing generated 21–25 nt double-stranded RNAs. *EMBO Journal*, 21: 3070–3080.

- Süle, S., Kiss, E., Kim, W.-S., Geider, K. (2002): Transformation of SR1 tobacco and JTE-H apple rootstock with the EPS-depolymerase gene from an *Erwinia amylovora* phage. *Acta Horticulturae*, 590: 407–409.
- Szabados, L., Kovács, I., Oberschall, A., Ábrahám, E., Kerekes, I., Zsigmond, L., Nagy, R., Alvarado, M., Krasovskaja, I., Gál, M., Berente, A., Rédei, G. P., Ben-Haim, A., Koncz, Cs. (2002): Distribution of 1000 sequenced T-DNA tags in the *Arabidopsis* genome. *Plant Journal*, 32: 233–242.

**2003**

- Ábrahám, E., Rigó, G., Székely, G., Nagy, R., Koncz, Cs., Szabados, L. (2003): Light-dependent induction of proline biosynthesis by abscisic acid and salt stress is inhibited by brassinosteroid in *Arabidopsis*. *Plant Molecular Biology*, 51: 363–372.
- Bősze, Zs., Hiripi, L., Carnwath, J. W., Niemann, H. (2003): The transgenic rabbit as model for human diseases and as a source of biologically active recombinant proteins. *Transgenic Research*, 12: 541–553.
- Galli, Zs., Kiss, E., Hrazdina, G., Heszky, L. (2003): The effects of ACS (1-aminocyclopropane-1-carboxylate synthase) gene down regulation on ethylene production and fruit softening in transgenic apple. *International Journal of Horticultural Science*, 9: 65–70.
- Hideg, É., Nagy, T., Oberschall, A., Dudits, D., 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.
- Hiripi, L., Makovics, F., Halter, R., Baranyi, M., Paul, D., Carnwath, J. W., Bősze, Zs., Niemann, H. (2003): Expression of human blood clotting factor VIII in the mammary gland of transgenic rabbits. *DNA and Cell Biology*, 22: 41–45.
- Lovas, A., Bimbó, A., Szabó, L., Bánfalvi, Zs. (2003): Antisense repression of *StubGAL83* affects root and tuber development in potato. *Plant Journal*, 33: 139–147.
- Picoli, E. A. de T., Brommonschenkel, S. H., Cecon, P. R., da Silva, D. J. H., Fári, M., Otoni, W. C. (2003): Study of genetic transformation efficiency *via* organogenesis and embryogenesis in eggplant (*Solanum melongena* L. cv. Embú): effects of co-culture, temperature and canamycin and hygromycin-based selection procedures. *International Journal of Horticultural Science*, 8: 15–23.
- Szittyá, G., Silhavy, D., Molnár, A., Havelda, Z., Lovas, A., Lakatos, L., Bánfalvi, Zs., Burgyán, J. (2003): Low temperature inhibits RNA silencing-mediated plant defense by the control of small interfering RNA generation. *EMBO Journal*, 22: 633–640.

**2004**

- Alvarado, M., Zsigmond, L., Kovács, I., Cséplő, Á., Koncz, Cs., Szabados, L. (2004): Luciferase gene trapping in *Arabidopsis*: tagging of stress-responsive genes. *Plant Physiology*, 134: 1–10.
- Ané, J. M., Kiss, G. B., Riely, B. K., Penmetsa, R. V., Oldroyd, G. E. D., Ayax, C., Lévy, J., Debelle, F., Baek, J. M., Kaló, P., Rosenberg, C., Roe, B. A., Long, S. R.,



- Dénarié, J., Cook, D. R. (2004): *Medicago truncatula* DMI1 required for bacterial and fungal symbioses in legumes. *Science*, 303: 1364–1367.
- Bodó, Sz., Gócza, E., Révay, T., Hiripi, L., Carstea, B., Kovács, A., Bodrogi, L., Bősze, Zs. (2004): Production of transgenic chimeric rabbits and transmission of the transgene through the germline. *Molecular Reproduction and Development*, 68: 435–440.
  - Fodor, B. D., Kovács, Á. T., Csáki, R., Hunyadi-Gulyás, É., Klement, É., Maróti, G., Mészáros, L. S., Medzihradszky, K. F., Rákhely, G., Kovács K. L. (2004): Modular broad-host-range expression vectors for single protein and protein complex purification. *Applied and Environmental Microbiology*, 70: 712–721.
  - Hegedűs, A., Erdei, S., Janda, T., Tóth, E., Horváth, G., Dudits, D. (2004): Alfalfa aldose/aldehyde reductase overproducing transgenic tobacco plants show a higher tolerance to low temperature and cadmium stresses. *Plant Science*, 166: 1329–1333.
  - Karcagi I., Rauch T., Hiripi L., Rentsendorj O., Nagy A., Bősze Zs., Kiss I. (2004): Functional analysis of the regulatory regions of the matriline-1 gene in transgenic mice reveals modular arrangement of tissue-specific control elements. *Matrix Biology*, 22: 605–618.
  - Oreifig, A. S., Kovács, G., Jenes, B., Kiss, E., P. Scott, Toldi, O. (2004): Development of a non-lethal selection system by using the *aadA* marker gene for efficient recovery of transgenic rice (*Oryza sativa* L.). *Plant Cell Reports*, 22: 490–496.
  - Palkovics, L., Kryldakov, R., Nádudvari, J., Józsa, R., Balázs, E. (2004): Sequence variants of potato virus Y in field grown tobacco with different resistance background including transgenic ones. *Acta Phytotaphologica et Entomologica Hungarica*, 39: 315–324.
  - Pogány, M., Koehl, J., Heiser, I., Elstner, E.F., Barna, B. (2004): Juvenility of tobacco induced by cytokinin gene introduction decreases susceptibility to Tobacco necrosis virus and confers tolerance to oxidative stress. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 65: 39–47.
  - Seregélyes, Cs., Igambergiev, A. U., Maassen, A., Hennig, J., Dudits, D., Hill, R. D. (2004): NO-degradation by alfalfa class 1 hemoglobin (Mhb1): a possible link to PR-1a gene expression in Mhb1-overproducing tobacco plants. *FEBS Letters*, 571: 61–66.
  - Tóth, F., Árpás, K., Szekeres, D., Kádár, F., Szentkirályi, F., Szénási, A., Kiss, J. (2004): Spider web survey or whole plant visual sampling? Impact assessment of Bt corn on non-target predatory insects with two concurrent methods. *Environmental Biosafety Research*, 3: 225–31.
  - Whitelaw, C. B. A., Hiripi, L., Farini, E., Kastanis, P., Edgar, M., Bősze, Zs. (2004): On the use of post-transcriptional processing elements into transgenes. *Transgenic Research*, 13: 75–79.

2005

- Bittsánszky, A., Kőmíves, T., Gullner, G., Gyulai, G., Kiss, J., Heszky, L., Radimszky, L., Rennenberg, H. (2005): Ability of transgenic poplars with elevated glutathione content to tolerate Zinc(2+) stress. *Environment International*, 31: 251–254.
- Bősze, Zs. (2005): The First International Conference on Transgenic Rabbits. Letter to the Editor. *Transgenic Research*, 14: 799.
- Devinoy, E., Montoliu, L., Baranyi, M., Thépot, D., Hiripi, L., Fontaine, M-L., Bodrogi, L., Bősze, Zs. (2005): Analysis of the efficiency of the rabbit whey acidic protein gene 5' flanking region in controlling the expression of homologous and heterologous linked genes. *Journal of Dairy Research*, 72: 113–119.
- Gyulai, G., Humphreys, M., Bittsánszky, A., Skøt, K., Kiss, J., Skøt, L., Gullner, G., Heywood, S., Szabó, Z., Lovatt, A., Radimszky, L., Roderick, H., Abberton, M., Rennenberg, H., Kőmíves, T., Heszky, L. (2005): AFLP analysis and improved phytoextraction capacity of transgenic gshI-poplar clones (*Populus canescens* L.) in vitro. *Zeitschrift für Naturforschung*, 60: 300–306.
- Kaló, P., Gleason, C., Edwards, A., Marsh, J., Mitra, R. M., Hirsch, S., Jakab, J., Sims, S., Long, S. R., Rogers, J., Kiss, G. B., Downie, J. A., Oldroyd, G. E. D. (2005): Nodulation signaling in legumes requires NSP2, a member of the GRAS family of transcriptional regulators. *Science*, 308: 1786–1789.
- Kondrák, M., Kutas, J., Szenthe, B., Patthy, A., Bánfalvi, Zs., Nádas, M., Gráf, L., Asbóth, B. (2005): Inhibition of Colorado potato beetle larvae by a locust proteinase inhibitor peptide expressed in potato. *Biotechnology Letters*, 27: 829–834.
- Rakszegi, M., Békés, F., Láng, L., Szűcs, P., Tamás, L., Shewry, P. R., Bedő, Z. (2005): Technological quality of transgenic wheat expressing an increased amount of a HMW subunit of glutenin. *Journal of Cereal Science*, 42: 15–23.
- Simon-Sarkadi, L., Kocsy, G., Várhegyi, Á., Galiba, G., de Ronde, J. A. (2005): Genetic manipulation of proline accumulation influences the concentrations of other amino acids in soybean subjected to simultaneous drought and heat stress. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53: 7512–7517
- Sós-Hegedűs, A., Lovas, A., Kondrák, M., Kovács, G., Bánfalvi, Zs. (2005): Active RNA silencing at low temperature indicates distinct pathways for antisense-mediated gene-silencing in potato. *Plant Molecular Biology* 59: 595–602.
- Veres, A., Kiss, E., Tóth, E., Tóth, Á., Heszky, L. (2005): Down-regulation of ethylene biosynthesis in carnation (*Dianthus caryophyllus* L.) by an apple derived ACC-cDNA. *International Journal of Horticultural Science*, 11: 101–104.

## 2006

- Bakonyi, G., Szira, F., Kiss, I., Villányi, I., Seres, A., Székács, A. (2006): Preference tests with collembolas on isogenic and Bt-maize. *European Journal of Soil Biology*, 42: S132-S135.
- Bittsánszky, A., Gyulai, G., Humphreys, M., Gullner G., Csintalan, Zs., Kiss, J., Szabó, Z., Lágler, R., Tóth, Z., Rennenberg, H., Heszky, L., Kőmíves, T. (2006): RT-PCR analysis and stress response capacity of transgenic *gshI*-poplar clones (*Populus x canescens*) in response to paraquat exposure. *Zeitschrift für Naturforschung*, 61: 699-703.
- Bősze, Zs., Houdebine, L. M. (2006): Application of rabbits in biomedical research: a review. *World Rabbit Science*, 14: 1-14.
- Horváth-Szanic, E., Szabó, Z., Janáky, T., Pauk, J., Hajós, Gy. (2006): Proteomics as an emergent tool for identification of stress-induced protein in control and genetically modified wheat lines. *Chromatographia*, 63: 43-47.
- Kondrák, M., van der Meer, I., Bánfalvi, Zs. (2006): Generation of marker- and backbone-free transgenic potatoes by site-specific recombination and a bifunctional marker gene in a non-regular one-border *Agrobacterium* transformation vector. *Transgenic Research*, 15: 729-737.
- Kovács, K. L., Maróti, G., Rákhely, G. (2006): A novel approach for biohydrogen production. *International Journal of Hydrogen Energy*, 31: 1460-1468.
- Nagy, A., Baráth, Á., Pauk, J., Gelencsér, É. (2006): Nutritional evaluation of the proteins of broad range herbicide resistant spring wheat lines (*Triticum aestivum* L.) I. Protein quality. *Acta Alimentaria*, 35: 355-362.
- Simon-Sarkadi, L., Kocsy, G., Várhegyi, Á., Galiba, G., de Ronde, J. A. (2006): Stress-induced changes in the free amino acid composition in transgenic soybean plants having increased proline content. *Plant Biology*, 50: 793-796.
- Simon-Sarkadi, L., Kocsy, G., Várhegyi, Á., Galiba, G., de Ronde, J. A. (2006): Effect of drought stress at supraoptimal temperature on polyamine concentrations in transgenic soybean having increased proline levels. *Zeitschrift für Naturforschung*, 61: 833-839.
- Szőke, A., Kiss, E., Toldi, O., Heszky, L. (2006): Production of transgenic carnation with a heterologue 6-phosphofructo-2-kinase/fructose 2,6-bisphosphatase bifunctional enzyme cDNA. *International Journal of Horticultural Science*, 12 : 75-79.
- Zhiponova, M., Pettkó-Szandtner, A., Stelkovics, É., Neer, Zs., Bottka, S., Krenács, T., Dudits, D., Fehér, A., Szilák, L. (2006): Mitosis-specific promoter of the alfalfa cyclin-dependent kinase gene (*Medsa;CDKB2;1*) is activated by wounding and ethylene in a non-cell division-dependent manner. *Plant Physiology*, 140: 693-703.

## 2007

- Baranyi, M., Hiripi, L., Szabó, L., Catunda, A. P., Harsányi, I., Komáromy, P., Bősze, Zs. (2007): Isolation of functional low-phenylalanine kappa casein expressed in the milk of transgenic rabbits. *Journal of Biotechnology*, 128: 383-392.

- Bender, B., Bodrogi, L., Mayer, B., Schneider, Z., Zhao, Y., Hammarstöm, L., Eggen, A., Kacs Kovics, I., Bősze, Zs. (2007): Position independent and copy-number-related expression of the bovine neonatal Fc receptor  $\alpha$ -chain in transgenic mice carrying a 102kb BAC genomic fragment. *Transgenic Research*, 16: 613–27.
- Bittsánszky, A., Gyulai, G., Malone, R. P., Gullner, G., Kiss, J., Czakó, M., Márton, L., Heszky, L., Kómíves, T. (2007): Triggering of a plant molecular defense mechanism; gene expression levels of transgene *gshI* and poplar gene *gsh1* (*Populus x canescens*) in response to the DNA demethylating drug DHAC – an qRT-PCR analysis. *Acta Phytopathologica et Entomologica Hungarica*, 42: 235–243.
- Bukovinszki, Á., Divéki, Z., Csányi, M., Palkovics, L., Balázs, E. (2007): Engineering resistance to PVY in different potato cultivars in a marker-free transformation system using a „shooter mutant” *A. tumefaciens*. *Plant Cell Reports*, 26: 459–65.
- Carstea, B. V., Catunda, A. P., Ilie, D., Varga, L., Bodó, Sz., Kovács, A., Bősze, Zs., Gócza, E. (2007): Production of mouse twins and triplet of predicted gender. *Cloning and Stem Cells*, 9: 247.
- Halász, Á., Horváth-Szanic, E., Nagy-Gasztonyi, M., Pauk, J., Hajós, Gy. (2007): Traceability of enzyme activities and immune reactivity of albumin-globulin proteins of wide-range herbicide resistant transgenic wheat lines. *Cereal Research Communications*, 35: 1405–1413.
- Kocsy, G., Simon-Sarkadi, L., Galiba, G., de Ronde, J. A. (2007): Transformation of soybean and use of transgenic lines in basic and applied research. *Transgenic Plant Journal*, 1: 129–144.
- Kondrák, M., van der Meer, I. M., Bánfalvi, Zs. (2007): Generation of marker-free transgenic plants. *ISB News Report*, April: 10–11.
- Lang, A., Lanber, E., Darvas, B. (2007): Early-tier tests insufficient for GMO risk assessment. *Nature Biotechnology*, 25: 35–36.
- Oszvald, M., Kang, T. J., Tömösközi, S., Tamás, C., Tamás, L., Kim, T. G., Yang, M. S. (2007): Expression of a synthetic neutralizing epitope of porcine epidemic diarrhea virus fused with synthetic B subunit of *E. coli* heat labile enterotoxin in rice endosperm. *Molecular Biotechnology*, 35: 215–224.
- Oszvald, M., Jenes, B., Tömösközi, S., Békés, F., Tamás, L. (2007): Expression of the 1Dx5 High Molecular Weight glutenin subunit protein in transgenic rice. *Cereal Research Communications*, 35: 1543–1549.
- Oszvald, M., Kang, T. J., Jenes, B., Kim, T. G., Tamás, L., Yang M. S. (2007): Synthesis and assembly of *Escherichia coli* heat-labile enterotoxin B subunit in transgenic rice (*Oryza sativa* L.) *Biotechnology and Bioprocess Engineering*, 12: 676–683.
- Stiller, I., Dancs, G., Hesse, H., Hoefgen, R., Bánfalvi, Zs. (2007): Improving the nutritive value of tubers: Elevation of cysteine and glutathione contents in the potato cultivar White Lady by marker-free transformation. *Journal of Biotechnology*, 128: 335–343.

- Szőke, A., Kiss, E., Veres, A., Kerepesi, I., Tóth, Á., Tóth, E., Toldi, O., Heszky, L. (2007): Biotechnológiai módszerek alkalmazása a szegfű nemesítésében. *Kertgazdaság*, 39: 69–77.

**2008**

- Balázs, E., Bukovinszki, Á., Csányi, M., Csilléry, G., Divéki, Z., Nagy, I., Mitykó, J., Salánki, K., Mihálka, V. (2008): Evaluation of a wide range of pepper genotypes for regeneration and transformation with an *Agrobacterium tumefaciens* shooter strain. *South African Journal of Botany*, 74: 720–725.
- Barna, B., Smigocki, A. C., Baker, J. C. (2008): Transgenic production of cytokinin suppresses bacterially induced HR symptoms and increases antioxidative enzyme levels in *Nicotiana*. *Phytopathology*, 98: 1242–1247.
- Bodrogi, L., Brands, R., Raaben, W., Seinen, W., Baranyi, M., Fiechter, D., Bősze, Zs. (2006): High level expression of tissue non-specific alkaline phosphatase in the milk of transgenic rabbits. *Transgenic Research*, 15: 627–636.
- Catunda, A. P., Gócza, E., Carstea, V. B., Hiripi, L., Hayes, H., Rogel-Gaillard, C., Bertaud, M., Bősze, Zs. (2008): Characterization, chromosomal assignment and role of LIFR in early embryogenesis and stem cell establishment of rabbit. *Cloning and Stem Cells*, 10: 523–34.
- Dancs, G., Kondrák, M., Bánfalvi, Zs. (2008): The effects of enhanced methionine synthesis on amino acid and anthocyanin content of potato tubers. *BMC Plant Biology*, 8: 65.
- Éva, Cs., Csóti, I., Tamás, L. (2008): *Agrobacterium*-mediated barley transformation. *Acta Biologica Szegediensis*, 52: 49–51.
- Hegedűs, A., Janda, T., Horváth, V. G., Dudits, D. (2008): Accumulation of overproduced ferritin in the chloroplast provides protection against photoinhibition induced by low temperature in tobacco plants. *Journal of Plant Physiology*, 165: 1647–1651.
- Kálai, K., Mészáros, A., Dénes, F., Balázs, E. (2008): Comparative study of constitutive and inducible promoters in tobacco. *South African Journal of Botany*, 74: 313–319.
- Kars, G., Gündüz, U., Rákhely, G., Yücel, M., Eroglu, I., Kovács K. L. (2008): Improved hydrogen production by uptake hydrogenase deficient mutant strain of *Rhodobacter sphaeroides* O.U.001. *International Journal of Hydrogen Energy*, 33: 3056–3060.
- Kisgyörgy, B.N., Tamás, C., Rakszegi, M., Sági, L., Láng, L., Bedő, Z. (2008): Regeneration ability of wheat (*Triticum aestivum* L.) embryos after bombardment with a particle gun. *Acta Biologica Szegediensis*, 52: 127–130.
- Nagy, A., Pauk, J., Takács, K., Gelencsér, É. (2008): Nutritional evaluation of the proteins of broad range herbicide resistant spring wheat (*Triticum aestivum* L.) lines. II. Resistance to degestion of marker protein in rat model. *Acta Alimentaria* 37: 159–166.
- Oszvald, M., Gárdonyi, M., Tamás, C., Takács, I., Jenes, B., Tamás, L. (2008): Development and characterization of a chimaeric tissue specific promoter

in wheat and rice endosperm. *In Vitro Cellular and Developmental Biology – Plant*, 44: 1–7.

- Oszvald, M., Kang, T. J., Jenés, B., Kim, T. G., Tamás, L., Yang, M. S. (2008): Expression of cholera toxin B subunit in transgenic rice endosperm. *Molecular Biotechnology*, 40: 261–268.
- Papdi, Cs., Ábrahám, E., Joseph, M.P., Popescu, C., Koncz, Cs., Szabados, L. (2008): Functional identification of *Arabidopsis* stress regulatory genes using the controlled cDNA Overexpression System COS. *Plant Physiology*, 147: 528–542.
- Rakszegi, M., Pastori, G., Jones, H. D., Békés, F., Butow, B., Láng, L., Bedő, Z., Shewry, P. R. (2008): Technological quality of field grown transgenic lines of commercial wheat cultivars expressing the 1Ax1 HMW glutenin subunit gene. *Journal of Cereal Science*, 47: 310–321.
- Sági, L., Rakszegi, M., Spitkó, T., Mészáros, K., Németh-Kisgyörgy, B., Soltész, A., Szira, F., Ambrus, H., Mészáros, A., Galiba, G., Vágújfalvi, A., Barnabás, B., Marton, L. C. (2008): Genetic modification of cereals in the Agricultural Research Institute of the Hungarian Academy of Sciences. *Acta Agronomica Hungarica*, 56: 443–448
- Stiller, I., Dulai, S., Kondrák, M., Tarnai, R., Szabó, L., Toldi, O., Bánfalvi, Zs. (2008): Effects of drought on water content and photosynthetic parameters in potato plants expressing the trehalose-6-phosphate synthase gene of *Saccharomyces cerevisiae*. *Planta*, 227: 299–308.
- Székely, Gy., Ábrahám, E., Cséplő, Á., Rigó, G., Zsigmond, L., Csiszár, J., Ayaydin, F., Strizhov, N., Jásik, J., Schmelzer, E., Koncz, Cs., Szabados, L. (2008): Duplicated P5CS genes of *Arabidopsis* play distinct roles in stress regulation and developmental control of proline biosynthesis. *Plant Journal*, 53: 11–28.
- Zsigmond, L., Rigó, G., Székely, Gy., Ötvös, K., Szarka, A., Darula, Zs., Medzihradzky, K.F., Koncz, Cs., Koncz, Zs., Szabados, L. (2008): *Arabidopsis* PPR40 connects abiotic stress responses to mitochondrial electron transport. *Plant Physiology*, 146: 1721–1737.

#### 2009

- Bedő, Z., Rakszegi, M., Láng, L. (2009): Design and management of field trials of transgenic cereals. In: *Methods in Molecular Biology, Transgenic wheat, barley and oats* (eds. H. D. Jones and P. R. Shewry) Production and characterization protocols, 478: 305–315.
- Bittsánszky, A., Gyulai, G., Gullner, G., Kiss, J., Szabó, Z., Kátay, Gy., Heszky, L., Kőmíves, T. (2009): In vitro breeding of grey poplar (*Populus x canescens*) for phytoremediation purposes. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology* 84: 890–894.
- Kiss, E., Oláh, B., Kaló, P., Morales, M., Heckmann, A. B., Borbola, A., Lozsa, A., Kontár, K., Middleton, P., Downie, J. A., Oldroyd, G. E. D., Endre, G. (2009): LIN, a novel type of U-Box/WD40 protein, controls early infection by *Rhizobia* in *Legumes*. *Plant Physiology*, 151: 1239–1249.

- Lauber, É., Darvas, B. (2009): Increased mortality of isolated first instar larvae of *Inachis io* (Lepidoptera). *Acta Phytopathologica et Entomologica Hungarica*, 44: 111–117.
- Palágyi-Mészáros, L., Balogh, J., Latinovics, D., Balogh, T., Klement, É., Medzihradsky, K., Rákhely, G., Kovács, K. L. (2009): Electron-transfer subunits of the NiFe hydrogenases in *Thiocapsa roseopersicina* BBS. *FEBS Journal*, 276: 164–174.
- Papdi, Cs., Joseph, M.P., Pérez-Salamó, I., Vidal, S., Szabados, L. (2009): Genetic technologies for the identification of plant genes controlling environmental stress responses. *Functional Plant Biology*, 36: 696–720.
- Tamás, C., Némethné Kisgyörgy, B., Rakszegi, M., Wilkinson, M. D., Yang, M. S., Láng, L., Tamás, L., Bedő, Z. (2009): Transgenic approach to improve wheat (*Triticum aestivum* L.) nutritional quality. *Plant Cell Reports*, 28: 1085–1094.
- Turóczy, Z., Kis, P., Török, K., Cserháti, M., Lendvai, Á., Dudits, D., Horváth, V. G. (2009): Improvement of the oxidative and heat stress tolerance in transgenic tobacco by the overexpression of an ABA induced aldo-keto reductase from rice. *Planta*, 211: 693–700.

**2010**

- Beczner, F., Dancs, G., Sós-Hegedűs, A., Antal, F., Bánfalvi, Zs. (2010): Interaction between SNF1-related kinases and a cytosolic pyruvate kinase of potato. *Journal of Plant Physiology*, 167: 1046–1051.
- Bittsánszky, A., Gyulai, G., Kórmíves, T. (2010): *Arabidopsis thaliana* overexpressing *Zea mays* glutathione S-transferase: modelling an effective phytoremediation. *Journal of Biotechnology*, 150: Supplement 1, 486.
- Hiripi, L., Negre, D., Cosset, F-L., Kvell, K., Czömpöly, T., Baranyi, M., Gócza, E., Hoffmann, O., Bender, B., Bősze, Zs. (2010): Transgenic rabbit production with simian immunodeficiency virus-derived lentiviral vector. *Transgenic Research*, 19: 799–808.
- Kvell, K., Czömpöly, T., Hiripi, L., Balogh, P., Kóbor, J., Bodrogi, L., Pongrácz, J. E., Ritchie, W. A., Bősze, Zs. (2010): Characterisation of eGFP-transgenic BALB/c mouse strain established by lentiviral transgenesis. *Transgenic Research*, 19: 105–112.
- Maróti, J., Farkas, A., Nagy, I. K., Maróti, G., Kondorosi, É., Rákhely, G., Kovács, K. L. (2010): A second soluble Hox-type NiFe enzyme completes the hydrogenase set in *Thiocapsa roseopersicina* BBS. *Applied and Environmental Microbiology*, 76: 5113–5123.
- Nagy-Gosztonyi, M., Nagy, A., Németh-Szerdahelyi, E., Pauk, J., Gelencsér, É. (2010): The activities of amylases and  $\alpha$ -amylase inhibitor in wide-range herbicide resistant wheat lines. *Czech Journal of Food Science*, 28: 217–224.
- Székács, A., Lauber, É., Juracsek, J., Darvas, B. (2010): Cry1Ab toxin production of MON810 transgenic maize. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 29: 182–190.

- Székács, A., Lauber, É., Takács, E., Darvas, B. (2010): Detection of Cry1Ab toxin in the leaves of MON 810 transgenic maize. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 396: 2203–2211.
- Tamás, L. (2010) Molecular farming, using the cereal endosperm as bioreactor. *Acta Agronomica Hungarica*, 58: 55–64.
- Tóth, D. M., Szőke, É., Bölcskei, K., Kvell, K., Bender, B., Bősze, Zs., Szolcsányi, J., Sándor, Z. (2010): Nociception, neurogenic inflammation and thermoregulation in TRPV1 knockdown transgenic mice. *Cellular and Molecular Life Sciences* (DOI 10.1007/s0018-010-0569-2).

**2011**

- Cervenak, J., Bender, B., Schneider, Z., Magna, M., Carstea, B. V., Liliom, K., Erdei, A., Bősze, Zs., Kacskovics, I. (2011): FcRn overexpression boosts humoral immune response in transgenic mice. *Journal of Immunology*, 15; 186: 959–968.
- Darvas, B., Bánáti, H., Takács, E., Lauber, É., Szécsi, Á., Székács, A. (2011): Relationships of *Helicoverpa armigera*, *Ostrinia nubilalis* and *Fusarium verticillioides* on MON810 maize. *Insects*, 2: 1–11. (doi:10.3390/insects2010001)
- Turóczy, Z., Kis, P., Török, K., Cserháti, M., Lendvai, Á., Dudits, D., Horváth, V. G. (2011): Overproduction of a rice aldo-keto reductase increases oxidative and heat stress tolerance by malondialdehyde and methylglyoxal detoxification. *Plant Molecular Biology*, 75: 399–412.
- Lichner, Z., Páll, E., Kerekes, A., Pállinger, E., Maraghechi, P., Bősze, Zs., Gócza, E. (2011): The miR-290-295 cluster promotes pluripotency maintenance by regulating cell cycle phase distribution in mouse embryonic stem cells. *Differentiation*, 81: 11–24.



## 20. A Magyar Fehér Könyv szerzőinek elérhetősége:

- **Balázs Ervin**, az MTA rendes tagja, Magyar Tudományos Akadémia Mezőgazdasági Kutatóintézet, Martonvásár, Alkalmazott Genomikai Osztály, balazs@mail.mgki.hu
- **Bedő Zoltán**, az MTA rendes tagja, Magyar Tudományos Akadémia Mezőgazdasági Kutatóintézet, Martonvásár, bedoz@mail.mgki.hu
- **Bősze Zsuzsanna**, az MTA doktora, Mezőgazdasági Biotechnológiai Kutatóközpont, Alkalmazott Állatbiotechnológiai Csoport, Gödöllő, bosze@abc.hu
- **Dudits Dénes**, az MTA rendes tagja, Magyar Tudományos Akadémia Szegedi Biológiai Kutatóközpont, Növénybiológiai Intézet, Szeged, dudits@brc.hu
- **Fári Miklós Gábor**, az MTA doktora, Debreceni Egyetem Agrár és Gazdálkodástudományok Centruma, Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Kar, Növénybiotechnológiai Tanszék, Debrecen, fari@agr.unideb.hu
- **Gimes Júlia**, újságíró, gimesjuli@freemail.hu
- **Gócza Elen**, PhD., Mezőgazdasági Biotechnológiai Kutatóközpont, Alkalmazott Állatbiotechnológiai Csoport, Gödöllő, elen@abc.hu
- **Gundel János**, PhD., Állattenyésztési és Takarmányozási Kutatóintézet, Herceghalom, Sertéstakarmányozási Kutatócsoport, gundel.janos@atk.hu
- **Hiripi László**, PhD., Mezőgazdasági Biotechnológiai Kutatóközpont, Alkalmazott Állatbiotechnológiai Csoport, Gödöllő, hiripi@abc.hu
- **Hornok László**, az MTA rendes tagja, Szent István Egyetem, Mezőgazdasági és Környezettudományi Kar, MTA-SZIE-MBK Mikológiai Csoport, Gödöllő, Hornok.Laszlo@mkk.szie.hu
- **Ingo Potrykus**, az MTA tiszteleti tagja, a Pápai Tudományos Akadémia tagja, Svájci Szövetségi Műszaki Tudományintézet, Növénytudományi Intézet, Zürich, ingo@potrykus.ch
- **Kovács Kornél**, az MTA doktora, Magyar Tudományos Akadémia Szegedi Biológiai Kutatóközpont, Szeged, Biofizikai Intézet, kornel@brc.hu
- **Marton L. Csaba**, az MTA doktora, Magyar Tudományos Akadémia Mezőgazdasági Kutatóintézet, Kukoricanevelési Osztály, Martonvásár, martoncs@mail.mgki.hu
- **Márton László**, PhD., Erekly Károly Biotechnológiai Alapítvány, Debrecen, drlaszломarton@gmail.com
- **Oszvald Mária**, PhD., Eötvös Loránd Tudományegyetem Növényélettani és Molekuláris Növénybiológiai Tanszék, Budapest, maria.oszvald@gmail.com
- **Popp József**, az MTA doktora, Agrárgazdasági Kutató Intézet, Agrárpolitikai Igazgatóság, Budapest, Popp.Jozsef@aki.gov.hu

- **Posta Katalin**, PhD., Szent István Egyetem, Mezőgazdasági és Környezettudományi Kar, MTA-SZIE-MBK Mikológiai Csoport, Gödöllő, Posta Katalin@mkk.szie.hu
- **Potori Norbert**, PhD., Agrárgazdasági Kutató Intézet, Agrárpolitikai Kutatások Osztálya, Budapest, potori.norbert@aki.gov.hu
- **Sági László**, PhD., Magyar Tudományos Akadémia Mezőgazdasági Kutatóintézete, Martonvásár, Növényi Sejtbiológiai Osztály, sagil@mail.mgki.hu
- **Somfai Béla**, bioetikus, professzor emeritus, Sapientia Szerzetesi Hittudományi Főiskola, Budapest, somfaib32@gmail.com
- **Tamás László**, PhD., Eötvös Loránd Tudományegyetem Növényélettani és Molekuláris Növénybiológia Tanszék, Budapest, tamasl@ludens.elte.hu
- **Venetianer Pál**, az MTA rendes tagja, Magyar Tudományos Akadémia Szegedi Biológiai Kutatóközpont, Biokémiai Intézet, Szeged, venetpal@brc.hu