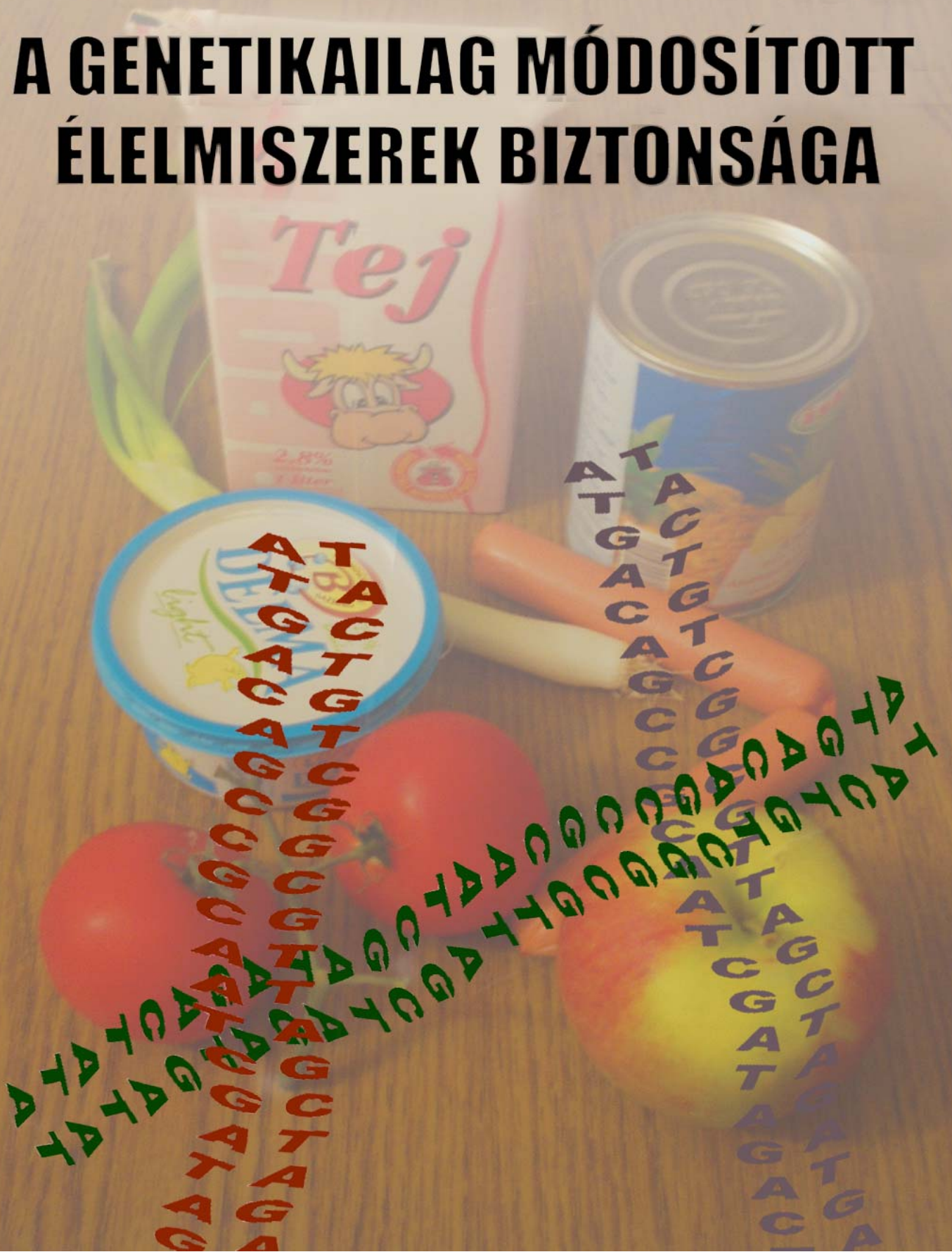


Pusztai Árpád - Bardócz Zsuzsa

**A GENETIKAILAG MÓDOSÍTOTT
ÉLELMISZEREK BIZTONSÁGA**



**Pusztai Árpád
Bardócz Zsuzsa**

**A genetikailag módosított élelmiszerek
biztonsága**

KÖLCSEY FÜZETEK VII.

**Kölcsey Intézet
Budapest, 2004**

ISBN: 963 216 132 7

TARTALOM

A Kiadó előszava

A szerzők előszava

Bevezetés

A genetikai módosítás alapjai – egy csöppnyi tudomány

A genetikai módosítás – hogyan csinálják?

A genetikai módosításhoz használt gének

A promóter

A marker- és riporter gén

A stop jel

A transzgén

A GM-növények előállítási módszerei

Szelekció és szaporítás

A GM-növények engedélyezése

A tények és a tudományosan megalapozatlan állítások

A genetikai módosítás nem a tradicionális növénynevelés kiterjesztése

Az antisense-technológia

A terminátor technika

Váratlan következmények

A genetikai determinizmus: a génmanipuláció hibás feltételezésen alapszik

Spliceszómák (*spliceosomes*)

A fehérjék szintézis utáni módosítása

A fehérjék kísérői, a saperonok

A befogadó sejt génjeinek meghibásodása – elkerülhetetlen veszteségek

A transzgén pozíciójának a meghatározása

A promóterek és a gének ki-és bekapcsolása

Horizontális génátvitel

Daganatos és egyéb betegségek

A csupasz DNS

A GM-technológiával kapcsolatos egyéb problémák és megalapozatlan feltételezések

A genetikailag módosított növények táplálkozási megítélése

A GM-élelmiszerek ígért táplálkozási- és egészségügyi előnyei

A magas-metionin tartalmú GM-szója

A sok béta-karotint tartalmazó GM-rizs (golden rice)

A több fehérjét tartalmazó GM-burgonya

A GM-technológia szerepe a világ lakosságának élelmiszer-ellátásában

A GM-növények termesztésének hatása a gyom- és rovarirtó szerek használatára

A Bt-rezisztencia kifejlődése

A GM-növények biztonsági vizsgálata és engedélyezése

A genetikailag módosított növények biztonsági vizsgálata

A GM-növények engedélyezésének általános feltételei

A lényegi azonosság

Az EU-ban fontosnak tartott feltételek

Az antibiotikum-rezisztenciát kódoló gén használata

Az ember és állat tűrőképessége

A transzgén biztonsága

A transzgén fehérje stabilitása a bélben

A GM technológia semlegességének problémája

Allergén hatások és a genetikai módosítás

A biztonsági vizsgálatok hiányosságai

Bejuthatnak-e engedélyezés nélkül a GM-élelmiszerek az emberi táplálékláncba és ennek milyen következményei lehetnek

Az eddig elvégzett kockázatbecslési tesztek tanulságai

A FLAVR-SAVRTM paradicsom

Kizárható-e az egészség-károsodás lehetősége a független, átlátható és tudományosan megalapozott táplálkozástani- és toxikológiai kockázatbecslés hiányában?

A biológiai tesztelés és a javasolt kísérleti terv

A GM növényekkel kapcsolatos nemzetközi törvények és előírások

A multinacionális cégek és bankok szerepe a biotechnológiában.

A GM-növények termesztésének globális következményei

A molekuláris biológia és a biotechnológia üzletté válása

A biotechnológiai ipar intoleranciája

Az intézményesített elhallgattatás módszerei

A biotechnológia bevezetésével kapcsolatos morális kérdések

Milyen választási lehetőségünk van – Merre menjünk?

A hagyományos termesztés

A GM-növényeken és -állatokon alapuló mezőgazdaság

Biogazdálkodás

A világ leghumánusabb géntörvénye – a norvég géntörvény

Történelmi háttér

A Norvég Géntechnológiai Törvény

A Norvég Biotechnológiai Tanácsadó Testület (*NBAB*)

Az import dokumentációk engedélyezése és ellenőrzése

A Cartagena Protokoll

Hivatkozások

Mellékletek

Biotechnológia: a szellem már kívül, de megvan-e még a palack? (Sajgó Mihály)

A géntechnológia szerepvállalása a növénynevelésben: A Pusztai-botrány üzenete (Dudits Dénes)

Nézőpontok, ha különböznek (Darvas Béla)

A nézőpontok valóban különböznek (Venetianer Pál)

Gondolatok a génmódosított élelmiszerek kapcsán kialakult vitáról (Pusztai Árpád)

A Kiadó előszava

Civilizációnk huszadik századi története csodálatos, egyszersmind azonban ijesztő távlatokat villantott fel az emberiség előtt. A természettudományok forradalma, a globális kommunikációs rendszerek kiépülése, az alternatív energiahasznosító technológiák, a közlekedés, a gyógyítás fejlődése az életkörülmények szakadatlan jobbíthatóságát igazolják. Megvalósíthatónak tűnik a modern ember álma az anyagi világ feletti uralom korlátlan kiterjeszhetőségéről. Felhőtlen optimizmusra mégsem lehet okunk. A civilizációs javak egyenetlen eloszlása az államok és társadalmi rétegek között nehezen kezelhető politikai feszültségeket gerjeszt, s e feszültségek mind gyakrabban polgárháborúkban, terrorcselekményekben vagy súlyos katonai konfliktusokban robbannak ki. A fosszilis tüzelőanyagok égéstermékeinek a légtérbe juttatása, az esőerdők, s más nagy felületű vegetációk kipusztulása, valamint az ipar és a háztartások műanyag hulladékainak részint a szemételepek burjánzását okozó felhalmozása, részint égetéssel történő „megsemmisítése” egyre növekvő mennyiségű szennyező anyagot juttat a környezetbe, minek következtében ökológiai katasztrófa történhet. Megoldhatatlannak látszanak a népesedési problémák is. A Föld lakosságának alig egyötöde él a „fejlett” világra jellemző szociális, egészségügyi és kulturális körülmények között, a túlnyomó többség pedig nem a felzárkózás útján halad, hanem az eszkalálódó nyomor térségeiben tengeti életét. Az önmagában is tarthatatlan állapotokat mutató demográfiai térképen kiszámíthatatlan következményű folyamat zajlik. A gazdagabb, konszolidáltabb országok népessége fogyatkozik, míg az elviselhetetlen szegénységben élő népek lélekszáma dinamikus módon növekszik. A jómódúak népességfogyása nem ártalmatlan civilizációs tünet, hiszen a „demográfiai lejtő” veszélye nemcsak abban rejlik, hogy kevesebb ember születik, hanem abban is, hogy a családok szétesését, azaz a társadalom mikrostruktúráinak összeroppanását eredményezi.

E világállapot ismeretében érthető, hogy mind a politikai hatalmat gyakorlók, mind a tudományok művelői, mind pedig a korrekciós technológiák forgalmazásában érdekelt üzletemberek lázasan kutatják a planetáris mértékű válságjelenségek gyógyításának lehetőségeit. A globális krízis kezelése azonban a világ mai állapotában különös, a kultúrák történetében ismeretlen problémákat vet fel. Ahhoz tudniillik, hogy egy-egy ígéretesnek látszó megoldást mindenütt alkalmazni lehessen, egyfelől általánosan elfogadott szakmai-tudományos kritériumokra, másfelől világ-konszenzust kifejező politikai akaratra lenne szükség. Legfőképpen pedig annak az alapelvnek kellene érvényesülnie, mely szerint a politika nem tehet olyat, amiért a tudomány nem tud felelősséget vállalni, a piac pedig – legalábbis e globális technológiák tekintetében – nem működhet politikai kontroll nélkül. Nyilvánvaló, hogy ezek az alapelvek a planetáris krízist előidéző neoliberális gazdasági doktrínákba és az azok szerint működő multinacionális vállalkozások elemi érdekeibe ütköznek. Úgy is mondhatjuk, hogy Földünk társadalmi-ökológiai szükségletei és civilizációnk gazdasági-politikai struktúrája ma még kibékíthetetlen ellentétben vannak egymással. A piac szabadságát minden más elv és érdek fölé emelő ideológia hívei azt állítják ugyan, hogy a szociális, a kulturális és a morális szabályozók immanensen jelen vannak a gazdasági-pénzügyi mechanizmusokban, valójában azonban éppen arról van szó, hogy a haszonelvű működés iratlan utasításai a politikai szféra egészének mozgását meghatározzák. Jean Francois Lyotard, a neves amerikai filozófus így jellemzi e folyamat kimenetelét: „A multinacionális vállalat gyűjtőnévvel jelölt új tőkeáramlási formák révén a gazdasági hatalmak az elmúlt évtizedekben már elérték azt a pontot, amikor az állam stabilitását veszélyeztetik. Az új tőkeáramlási formák következtében a beruházási döntések, legalábbis részben, kicsúsznak a nemzetállamok ellenőrzése alól.” (*A poszt-modern állapot*; Századvég – Gond: 1993. 18. old.) A profit-termelés korlátozhatatlanságának biztosítékai eleinte csak a nemzetállamok jogrendjébe épültek be, majd – az erősebb kutya

ugat elve alapján – rákényszerítették azokat az államközi kapcsolatokra is. A piaci abszolútizmus erői azonban még így is ellenállásba ütköztek. Uralmuk kiterjesztésének útjában állt az egyetemek, a tudományos intézetek, általánosságban a tudományos kutatás egész intézményrendszerének autonómiája. Ahhoz tehát, hogy győzelmük teljes legyen, ezt az „avított” liberális tradíciót is fel kellett számolniuk. A tudás műhelyeinek birtokba vétele két „lépésben” történt. Az elszegényedő, eladósodó nemzetállami költségvetések szűkülő kereteiből gazdálkodó autonóm egyetemeket és kutató intézeteket bőkezű mecénásként kisegítő multinacionális tőke először csupán az általa támogatott projekteken keresztül kezdte befolyásolni a tudományos kutatások irányát, majd a finansziális csőddel küszködő intézményeket egészében szanálta: éppen formális autonómiájukat kihasználva emelte ki azokat az állami kultúra- és tudománypolitika hatásköréből. Ismét Francois Lyotard-t idézem: „A mai támogatók diskurzusában az egyetlen tét a hatalom. Nem az igazság megismerése, hanem a hatalom növelése érdekében veszik meg a tudósokat, a műszaki szakembereket és a műszereket.” (Uo.: 100. old.) „Az egyetemi szabadságjog eszméje mára elavult./.../ A hivatalra orientált egyetemista, az állam, a felsőoktatási intézmény kimondott vagy ki nem mondott kérdése immár nem: „Mi az igazság?” hanem „Mit szolgál ez?” A tudás elüzetiesedésének kontextusában pedig: „Hatékony-e?” Márpedig a teljesítő képes szakértelem valójában a korábban leírt feltételek közt eladható kell legyen, és a meghatározásánál fogva hatékony. Más kritériumok szerint, mint igaz-hamis, igazságos-igazságtalan stb., s természetesen általában alacsony hatékonyság alapján, immár nincs szakértelem.” (Uo.: 109-110. old.)

Természetesen nincs okunk kétségbe vonni, hogy a haszonelvű gazdasági-pénzügyi hatalom birtokosai között sokan felismerik a civilizáció ökológiai feltételeinek, a társadalmak kulturális és morális értékeinek végzetes fenyegetettségét. Ám éppen a „multik” által kezdeményezett társadalmpolitikai reformok és rehabilitációs programok sorozatos kudarcai figyelmeztetnek arra, hogy az általuk elindított folyamatokat már nem tudják irányítani. Nem azért, mert politikai akadályokba ütköznek, hanem mert az általuk működtetett mechanizmusok korrekciójához nincsenek eszközeik. Hiszen éppen azokra a társadalmi ellenőrzést gyakorló intézményekre lenne ehhez szükségük, amelyeket – hatalmuk megerősítése érdekében – önmaguk tettek működésképtelenné. Paradox helyzet állt elő: a nagy technológiai rendszerek működésének kockázatai jogi értelemben néhány ember felelősségét vetik fel, holott – miként Evandro Agazzi mondja – „a kockázat vállalásának eldöntése azt a közösséget illeti meg, amely a kockázatnak ki van téve.” (E. A.: *A jó, a rossz és a tudomány*; Jelenkor Kiadó, 1992. 244. old.) Az olasz filozófus a következőképpen összegezi ezen abszurd helyzetet előidéző okokat: „A jelenkori technológiai univerzum/.../ messze túllépte (és egyidejűleg magába olvasztotta) az iparosítás határait. A technológia időközben az aktuális élet minden tartományát áthatotta: az egészségügyi szervezetektől a kommunikációs eszközökig, a közigazgatás működésétől a gyárak és vállalkozások automatizálásáig, az emberek közötti viszonyok kialakításától azok kézbentartásáig, a kiadói tevékenységtől az élelmiszerek előállításáig és elosztásáig, a kozmetikától a transzcendentális meditációig. Gyakorlatilag nincs olyan tartománya az egyéni és közösségi életnek, ahol nem ajánlottak hatékonyabb *technikákat* valamely célok eléréséhez. Ehhez hozzájárult, hogy ez az univerzum időközben tökéletesen hálózatszerű és önmagában elégséges lett /.../ A mondottakból arra következtethetünk, hogy időközben a technológia is autonóm rendszerré fejlődött, mely saját dinamizmusából és tisztán belső cserefolyamataiból él. Jacques Ellul /.../ e rendszer struktúráját a következőképpen írja le: »Valójában minden egyes rész kölcsönviszonyban van egymással, amit az információk technicizálása még megerősít. Ez két következményhez vezet: először, egyetlen technikát sem módosíthatunk anélkül, hogy visszahatásokat ne váltanának ki, más tárgyak és módszerek sokaságának módosítását. Másodszor, a technikák kombinációja új technikai hatásokhoz vezet, új tárgyakhoz és új módszerekhez. /.../ Mi több, a technika világa, mint minden rendszer, bizonyos önszabályozó képességgel rendelkezik,

vagyis fejlődése és működése bizonyos rendjét hozza létre, s a technika révén gyorsító és fékező mechanizmusait egyaránt kifejleszti. Ez az aspektus, mégis /.../ a legkevésbé sem biztonságos. A rendszer tehát nagyon is függetlennek látszik az embertől (amiképpen természetes környezete is független volt tőle.« Az idézet utolsó mondatában két már bemutatott mozzanattal találkozunk újra. Először azzal, hogy *a technológiai rendszer ma ökoszisztémát alkot az ember számára, mert olyannyira független tőle, mint amennyire a természet volt az a primitív embertől*, és másodsor, egy utalással arra a tényre, hogy ez a rendszer az ember és a természet közé tolakodva helyettesíti az előbbit, ugyanúgy, ahogy a mai tudomány is egy olyan világba zárkózik be, amelyet már csak nagyon távoli kapcsolatok kötnek a természethez.» (Uo.: 111. old.)

Jean Francois Lyotard és Evandro Agazzi elemzései nagy összefüggésekben és általános-ságban filozófiai szinten vetik fel azokat a problémákat, amelyekhez *Pusztai Árpád* professzor egy konkrét szakterület átvilágításával: a növények génmódosításának vizsgálatával természettudósként jutott el. Pályája a Magyar Tudományos Akadémia Biokémiai Intézetében kezdődött, majd – 1956-ban történt emigrálását követően – a skóciai Rowett Research Institute-ban ívelt magasba. Több évtizedes – elismerést és hírnevet hozó – kutatómunka után, 1998-ban hirtelen megtört a karrierje. Munkahelyéről való eltávolításának okát egyik magyar kollegája (Sajgó Mihály) ekként kommentálja: a „tapasztalt és eredményes kutató olyan – a GM-élelmiszer ellenőrzése területén korábban soha nem alkalmazott – vizsgálatokat végzett, melyek előzetes eredményei gyanút ébresztettek egy meghatározott GM-élelmiszer ártalmatlanságával kapcsolatosan. Ezeket a vizsgálatokat folytatni kívánta, ehhez további anyagi támogatásra volt szüksége, amit a részeredményekre hivatkozva kért./.../ Minthogy a kísérletekre szánt keret kimerült, a vitathatatlanul szükséges folytatáshoz további anyagi támogatást kellett szereznie. Ezért, és nem feltűnési vágyból beszélt a televízió nyilvánossága előtt alig két és fél percig, 1998. augusztus 10-én. A szenzációra éhes média és az angol nyelvterületen különösen erős zöld mozgalmak azonnal reagáltak: a természet világába történő kontrollálatlan beavatkozásként értékelve a történetet, a GM-élelmiszerek forgalmazásának betiltását, de legalább megkülönböztető jelölésüket követelték.” Ezt követően „A vihar kitört. A riport után két nappal Pusztai Árpádot munkahelyéről kitiltották, a kutatási témát leállították.” A brit parlament megbízásából előbb a Tudományos és technológiai bizottság vizsgálta az ügyet, majd – 1999-ben – a kormány a Royal Society-től kért állásfoglalást. Noha a megszülető „ítélet” vitatta Pusztai professzor tudományos aggályainak indokoltságát, s közvetve elmarasztalta a tudóst, amiért észrevételeit a bírálatra hajlandó társaival való konzultáció előtt a nyilvánosság elé tárta – a magas testület mégsem működött „haszontalanul”. Az eseti kísérlet tanulságaként ugyanis kimondta, hogy annak alapján „nem vonható le általános következtetés a genetikailag módosított élelmiszerek humán ártalmosságáról vagy ártalmatlanságáról, következésképpen „Minden egyes GM-élelmiszert külön meg kell vizsgálni.” (Az idézetek Sajgó Mihály *Biotechnológia: a szellem már kívül, de megvan-e még a palack?* c. cikkéből valók. Biokémia, 1999. június, 38-40. old.) A történet ezen első fejezetének tanulságaként leszögezhetjük: a géntechnológiával kapcsolatos aggályait megfogalmazó Pusztai Árpád nem tudósként, hanem egy Intézet alkalmazottjaként, s egy nagyhatalom állampolgáraként szenvedett vereséget. Hiszen nem azt állította, hogy a génmanipulált élelmiszer károsan hat az emberi egészségre, pusztán arra figyelmeztetett, hogy a biotechnológia alkalmazásának adott feltételei mellett – azaz az ártalmas hatásokat kiszűrő ellenőrzés hiányában – nem zárható ki ez a veszély. Nem azért kellett tehát elhagynia vezető kutatói munkahelyét, mert hamis adatokból hibás következtetésekre jutott, hanem azért, mert tudományosan indokolt aggodalmát nyilvánosság elé tárva nagyhatalmú gazdasági és politikai erők ütköző pontjába került. Jóllehet a géntechnológia alkalmazásában pusztán nagyobb óvatosságot szorgalmazó álláspontja önmagában nem szolgáltatót érveket a radikális Zöldek akcióihoz, az a körülmény, hogy ez utóbbiak politikai

munícióként használták fel nyilatkozatát, a tudományos kutatás gazdasági hatalmaktól függő ellenőrei is politikai eszközökhöz folyamodtak vele szemben. Ebben a történetben nem az a nyugtalanító, hogy igazságtalanság történt egy emberrel, hiszen az ilyesmi véletlenül is megeshet. Aggodalomra igazán az ad okot, hogy *ez az igazságtalanság „törvényszerűen” megeshetett.* És persze nem az egyént érő méltánytalanság ennek a „törvényszerűségnek” a legsúlyosabb következménye. Az igazi baj abban a kockázatban rejlik, amely a modern technológiai rendszerek ellenőrzésének vagy teljes hiányából, vagy a piaci érdekeltséget érvényesítő manipuláltságából fakad. Pusztai professzor így összegzi e jelenségről szerzett tapasztalatait: „Alapjában véve nincs probléma azzal, ha az ipar a kutatást anyagilag támogatja. De az új rendszer a kutatók számára alapvető változást jelentett, mert ettől kezdve azokat a jelentős pénzösszegeket, amik a kutatáshoz kellettek, és eddig a kormánytól (illetve az adófizetőkötől) jöttek, most az ipartól kellett megszerezni. Így a tudósoknak el kellett tudni adni magukat az iparnak, és ennek komoly következményei lettek. Az egyik legfontosabb következmény az volt, hogy az alapkutatásra kevesebb pénz jutott, miután az ipar elsősorban a termékekre és szolgáltatásokra helyezi a súlyt. Ugyanakkor az ipari kutatás egyik fő jellemzője a titkosság, nehogy az új és általuk finanszírozott kutatás eredményei eljuthassanak a riválisokhoz is. A titkosság a tudományos kutatás egyik legnagyobb ellensége, miután a tudomány előrehaladása a tudósok közti szabad adat- és eredmény-cserén alapul, és homlokegyenest ellenkezik a tudomány nyíltságával és sérti az igazi tudomány és a társadalom érdekeit.” Az érzékeny és pontos helyzetelemzésből a fentebb idézett filozófusok ítéletével egybehangzó megállapításra jut el a tudós. Ismét Pusztai professzort idézem: „Amikor csak az üzletet szolgáló kommerciális kutatás az egyedüli jó tudomány, akkor ezzel tulajdonképpen feladtuk az igazi tudomány fontosságát, szem elöl veszítve azt, ami évszázadokon keresztül az igazi haladás lendítőkereke volt. Ha rövid távon csábító célnak tűnik is az, hogy a tudományt csakis kizárólag a gazdasági érdekek szolgálatába állítsuk, hosszú távon ez már nem szolgálja az emberiség érdekeit.”

Talán felmerül a kedves olvasóban a kérdés: van-e ennek a történetnek – tudománytörténeti érdekességén kívül – valami magyarországi aktualitása. Hiszen az „idegenben élő hazánkfián” esett méltánytalanság kétségtelenül nem írható a hazai tudománypolitika rovására, és abban is bizonyosak lehetünk, hogy az eset háttérében kitapintható kor- és kórtünetek nem sajátosan magyar jelenségek. Mégis azt állítjuk, hogy a Pusztai-ügy és az ahhoz hasonló esetekre adott válaszok nemcsak szellemi életünk állapotát, hanem jövőbeli esélyeinket is jelzik.

Nos, nem mondható, hogy a Nagy-Britanniában történt skandalum nem foglalkoztatta volna az itthoni – szakmai és laikus – közvéleményt. Pusztai professzor mellett a szakma külföldi képviselőinek társaságában magyar kutatók is kiálltak a nemzetközi fórumnak tekinthető *Guardian* hasábjain, a *Biokémia* c. hazai szakfolyóirat pedig korrekt vitának adott helyet, melyben a tudományos álláspontok ütköztetése – az ügy érdeme szerint – erkölcsi és politikai konzekvenciák megfogalmazását is lehetővé tette. Ahhoz képest azonban, hogy a géntechnológia alkalmazásának problémája mindnyájunkat érintő közügy, a szaktudósok közötti szóváltás nyilvánossága igencsak korlátozottnak minősíthető. Épp ezért sajnálatos, hogy a nagyobb publicitást teremtő kísérletek mindezidáig sikertelenek voltak. Miként Sajgó Mihály írja: „Hosszas habozás után az MTA Biológiai Osztálya rászánta magát arra, hogy a Magyarországon tartózkodó Pusztai Árpádot felkérje eredményeinek ismertetésére. Az előadás április 26-án, az MTA Kistermében zajlott, kb. negyed ház előtt. Az előadást követő vita jó alkalom lett volna az ellenvélemények kifejtésére, a „felfűjt” kipukkasztására. Nem történt meg: sem a háttérnyilatkozók, sem a hozzájuk kötődő második vonal nem szólalt meg – mivel jelen sem voltak. Ugyanez az egyoldalú (szervezett?) közöny volt jellemző az ELTE-n rendezett délutáni előadáson, ahol a kétszázas befogadóképességű előadóban a lépcsők is tele voltak, számtalan hozzászólás hangzott el, de a remélt vitára itt sem került sor.” (Uo.)

Tegyük hozzá: a vita nem azért maradt el, mert nem volt Pusztai professzornak szakmai ellenfele. Dudits Dénes növénygenetikus például már a Biokémiában is élesen bírálta kollegáját, s azóta is több ízben marasztalta el nyilvánosság előtt azokat, akik „megalapozatlan félelemkeltéssel” nehezítik a géntechnológiával módosított növények forgalmazását. Hogy valóban megalapozatlan félelemkeltésről van-e szó, avagy olyan tudományosan indokolt aggodalmakról, melyek a génmanipuláció híveit is meg fogják győzni, az bizonyára csak akkor derülhet ki, ha Pusztai professzor álláspontjának minden lehetséges összefüggést megvilágító érvei nyilvánosságra kerülnek. A laikus közvélemény ma mindenesetre okkal gyanakodhat arra, hogy a géntechnológia támogatóit váratlanul érte a szaktudomány felől érkező kritika. Az a logika például, amelyet Dudits Dénes alkalmaz Pusztai Árpád állításainak cáfolatára, nem tűnik bizonyító erejűnek. A neves tudós ezt írja többek között a kollegájával folytatott vitában: „Mivel az izolált gének kedvező tulajdonságokat alakíthatnak ki a tenyészanyagokban, ma már a géntechnológiai megközelítések egyre inkább a nemesítés integráns, a versenyképességet meghatározó részévé válnak. Így a nemesítés egy új metodikai alapjáról van szó, ami az egész fajta-előállítási tevékenységen keresztül hasznosítható. Azt, hogy milyen eredményességgel, a tények mutatják. /.../ 1997-ben 27,8 millió hektáron termesztettek ilyen fajtákat. Feltehetően gazdasági, agronómiai és minőségi előnyeinek köszönhetően. Ezek a számok önmagukért beszélnek, és mutatják a technológia használhatóságát.”

Két olyan eleme van ennek az argumentációnak, amellyel szemben a nem szakmabeli olvasónak is erős kételyei támadhatnak. Az egyik a génmanipulációnak „a nemesítés integráns részévé” minősítése, a másik „az önmagukért beszélő számok”-ra való hivatkozás.

Kezdjük az előbbivel! Hogy nem pontatlan fogalmazásról van szó, azt Dudits Dénesnek egy internetes megnyilatkozása is igazolja. Íme: „Mivel a géntechnológia csak egy a növény-nemesítési módszerek, a genetikai manipuláció lehetőségei közül, inkább indokolt ezeket a módszereket egymáshoz viszonyítani. Egy biztos, hogy a szakma szabályai szerint minden termesztett növényünk genetikailag manipulált, így az élelmiszereink is gének megváltoztatása eredményeként jönnek létre. Hiszen a keresztezés, a szelekció, a kromoszómák megduplázása vagy a mutációs nemesítés mind genetikai manipuláció.”

Már önmagában az is elgondolkodtató, hogy az idézett állítás arra a kérdésre kíván válaszolni, hogy „Ön szerint miért ellenzik annyira – a nagy többség – a génmanipulált élelmiszereket?” Dudits nem ismerteti az övével ellentétes álláspontot, csupán annak hatását minősíti ekképpen: „Európából származó információkat olvashatunk az ellenzés kiterjedtségéről, de ezek a felmérések sem biztos, hogy igazán az egész lakosság véleményét tükrözik. A Magyarországon végzett közvélemény-kutatás szerint az emberek reakciója kettős ebben a kérdésben: egyrészt magát a technológiát nehezen tudják elfogadni, hiszen ez a teremtés folyamatába való beavatkozásnak tekinthető, ugyanakkor szívesen megkóstolnák és kipróbálnák ezeket a termékeket.”

Ismerjük el, rendkívül célratoró és következetes gondolatmenettel van dolgunk. Eszerint a génmanipuláció kritikája nem tudományos, csupán kommunikációs probléma, s ebben a minőségében sem súlyos, hiszen vélhetőleg nem „az egész lakosság véleményét tükrözik.” Mindenesetre tudomásul kell venni, hogy a közvélemény nehezen fogadja be azt, ami „a teremtés folyamatába való beavatkozásnak tekinthető”, célszerű tehát ezt a fajta érzékenységet hatástalanítani. Az okfejtésnek ez a belső logikája vezet el azután a kijelentéshez, mely szerint „minden termesztett növényünk genetikailag manipulált.” Azaz: nyugodjék meg a közvélemény, hiszen az új eljárással semmi olyan nem történik, aminek ne lenne több évezredes gyakorlata. Az óegyiptomi gabonanemesítő éppúgy beavatkozott a teremtés rendjébe, ahogyan azt ma a génmanipulátorok teszik. Valóban így lenne?! Pusztai Árpád másképpen látja ezt. Hadd idézzük fel könyvének egyik fejezetét!

„A génmódosításon alapuló biotechnológiai ipar egyes szószólói még ma is azt állítják, hogy a génmódosítás tulajdonképpen a hagyományos növénynevelésnek egy újabb, gyorsabb és tudományosabb formája és attól lényegében nem különbözik. Ez a nézet azonban nélkülöz minden tudományos alapot./.../ A molekuláris biológusok úgy próbálják a génmódosítást eladni a közvéleménynek, mintha az a természetes növénynevelés kiterjesztése lenne. Ez persze nem így van. A Nobel-díjas orvosprofesszor Dr. George Wald ezt úgy fogalmazta meg, hogy a génmódosítással az emberiségnek a tudomány történetében először olyan problémával kell szembenéznie, amihez hasonló eddig nem fordult elő, és ami a földi életet teljesen megváltoztathatja. »Ez a technológia lehetővé teszi, hogy az emberek megváltoztassák azokat az életformákat, amiknek a kialakulásához az evolúciós fejlődésnek három milliárd évre volt szüksége. Az ilyen beavatkozást nem szabad összekeverni azokkal az apró változtatásokkal, amiket a növény- és állatnevelők az évezredek során értek el. Még akkor sem, ha az emberek eddig is képesek voltak mesterséges mutációkat létrehozni, pl. röntgensugárzással. Minden eddigi, korábbi módszer tiszteletben tartotta a fajok közötti határokat. Az új technológiával éppen az a probléma, hogy a géneket a fajok között oda-vissza mozgathatják és semmiféle, a természetben az evolúció során bölcsen kialakított korlátozást nem kell figyelembe venni.« Wald szerint az, hogy a hal nem tud a paradicsommal közönségni, nem a véletlen műve, hanem a földi élet fejlődésének következménye. Amikor a molekuláris biológusok a természetben időtlen időktől fogva uralkodó, a fajokat elválasztó határokat átlépik, az nem azonos a fajta-neveléssel, hanem ilyenkor »olyan tevékenységet folytatnak, ami egy önreprodukcióra képe, új fajt hoz létre, ami ezután véglegesen jelen lesz a Földön. Ha egy ilyen faj egyszer elszabadult, azt soha többé nem lehet visszahívni vagy megállítani.« Wald figyelmeztet arra, hogy „eddig minden élőlény lassan fejlődött ki és volt ideje, hogy beilleszkedjék a környezetébe, újfajta kombinációban. Ez magára az új szervezetre is és a többi élőlényekre is olyan következményekkel járhat, amit senki sem tud előre megjósolni.” (22-23.)

Mindez csupán „megalapozatlan félelemkeltés” lenne? Mi, laikusok, szívesen elhinnénk, ha az ellenérvek képviselői nem kerülnék meg az itt is megfogalmazott állításokat. Az a vitamódosítás azonban, amelyet például Dudits Dénes alkalmaz, ezt teszi, s ezért nem hatástalanítja a géntechnológia bírálóinak aggodalmait. Amikor arra hivatkozik, hogy az új metodikával termesztett növények elterjedését jelző számadatok „önmagukért beszélnek”, ugyanazt az „elvet” követi, mint azok a médiaguruk, akik a televízió személyiségromboló hatású műsorait erkölcsi és pedagógiai értékek alapján bírálókkal szemben a dinamikus növekvő nézettségi mutatókkal védekeznek. Ha a számok sora nem is, ez az észjárás valóban „önmagáért beszél”, s arról árulkodik, hogy a termelés és a fogyasztás birodalma nem tart igényt sem morális, sem tudományos felügyeletre.

A könyv, melyet kezében tart az olvasó, egyszerre kívánja *készíteni* az érintett tudományok művelőit elmélyült viták folytatására, és *képessé tenni* a laikusokat, hogy eligazodjanak korunk talán legnagyobb horderejű technológiai forradalmának szakmai, erkölcsi és politikai kérdéseiben. A kötet végén ismertetett *norvég géntechnológiai törvény* bizonyítja, hogy e kettős cél követése nem reménytelen. A probléma összetettsége és rendkívüli súlya minden országban megkerülhetlenné teszi a törvényi szabályozást, ez pedig szaktudósok és „laikusok” együttműködése nélkül nem valósulhat meg.

Kulin Ferenc 2004. május

A szerzők előszava

Könyvünket nem szakembereknek írtuk. A műfaja publicisztika, amelyben a biotechnológiát érintő kérdésekről személyes véleményünket közérthetően mondjuk el. Írásakor szembesültünk azzal, hogy az ismeretterjesztő műfaj miféle nehézségekkel jár. Nem írtunk korábban ilyet. A könyv nem tartalmazhat olyan részleteket, amelyekre a szakembereknek ilyenkor igénye támad, hiszen a megcélzott olvasóközönség az általános műveltséggel rendelkező fogyasztók köre.

A genetikai módosítás technológiájának leírásakor nagyon nehéz elválasztani a már elfogadott tényeket a megalapozatlan állításoktól. Jó példa erre, hogy a referált folyóiratokban jelenleg sincs több, mint egy tucat olyan tudományos közlemény, amely a GM-élelmiszerek esetleges egészségügyi hatásait vizsgálja. Így a GM-növények és a belőlük készített GM-élelmiszerek biztonsága legtöbbször csak a biotechnológiai ipar szószólóinak véleményén, vagy legjobb esetben a tudományos irodalomban még le nem közölt, és titkosított adatokon nyugszik.

Azt a kérdést, hogy a biotechnológia jelenthet-e valamiféle veszélyt az emberek egészségére vagy környezetére, nem könnyű megválaszolni. Ez annak a következménye, hogy a biotechnológiai iparnak sikerült megváltoztatni azt a régebben általánosan elfogadott alapelvet, hogy minden termék biztonságáért az ezeket kibocsátó és forgalmazó vállalat a felelős. A GM-növények esetében a biztonsági vizsgálatok egy részét még egyáltalán nem, vagy nem olyan szinten végezték el, ami az európai fogyasztók többségét kielégítené. Az adatbázis, ami alapján a GM-élelmiszerek biztonságát vagy egészségügyi hatásait meg tudnánk ítélni, annyira szegényes, hogy ennek alapján jelenleg lehetetlen a megbízható kockázatbecslés, és így a biztonság kérdésének végleges eldöntése. Ezzel a könyvvel az a célunk, hogy a növények genetikai módosításának jelenlegi eredményeit, hibáit és a jövőre vonatkozó elképzeléseit, esetleges előnyeit, hátrányait és biztonságát a saját értékrendünk és a rendelkezésünkre álló ismeretek alapján vizsgáljuk és ítéljük meg, mindig szem előtt tartva az elővigyázatosság alapelvét. Ez utóbbit egyszerűen úgy fogalmazhatjuk meg, hogy ha bármely termék biztonsága kérdéses, akkor azt nem lenne szabad forgalmazni.

Azt is le kell szögeznünk, hogy nem a biotechnológia dogmáiból indultunk ki. Megpróbáltuk a tényeket független szemmel megvizsgálni és elválasztani a reklámot a valóságtól. A tudomány jelenlegi állása nem engedi még, hogy teljes képet alkothassunk a genetikai módosítás tudományos alapjairól. Ezért az az álláspontunk, hogy ameddig művelői nem tisztázzák megnyugtatóan a biotechnológia elméletével és gyakorlatával kapcsolatos alapkérdéseket és a biztonsággal kapcsolatos felelősséget a társadalomra hárítják, addig az elővigyázatossági elv alapján nekünk a biotechnológia kritikáját kell nyújtanunk. A józan ész is azt diktálja, hogy a visszafordíthatatlan következményekkel járó technológiákkal szemben az elővigyázatosság az egyetlen tudományosan és társadalmilag is elfogadható út. Mottónk az, hogy az iparnak nincs joga, hogy olyan termékeket kényszerítsen az emberiségre, aminek a biztonságát nem vizsgálták meg kielégítően.

Sajnos, sokszor a GM-növények és élelmiszerek bevezetését ellenzők kritikája sem alapszik tudományos tényeken. Mivel a biztonság megállapítása a biotechnológiai ipar feladata lett volna, ezért az elővigyázatossági elvet figyelembe véve úgy gondoljuk, hogy a kritikának kell nagyobb teret adnunk.

Hogy könyvünkben az olvasó meg tudja különböztetni a tudományosan elfogadott tényeket a véleményektől és a lehetséges, de még be nem következett eseményektől, ezek leírásakor kisebb betűtípust használtunk.

Bevezetés

Amikor Watson és Crick a 20. század közepén felismerte a DNS szerkezetében a kettős spirál fontosságát és felfedezték a genetikai kódot, általános volt a bizakodás, hogy ezzel az emberiség – történelme során először – bepillantott a teremtés titkába és saját fejlődésének, evolúciójának legfontosabb meghatározójába. A molekuláris genetikai determinizmus elve alapján feltételezték, hogy minden egyedi fehérje szerkezetét egyetlen gén rögzíti. Ez megerősített bennünket abban a hitben, hogy miután megtettük az első lépést azon az úton, ami az emberi tulajdonságok öröklődésének megértéséhez vezet, a tudomány azt is meg tudja majd magyarázni, hogy mi tesz bennünket emberré, és mi különböztet meg bennünket a világ többi élőlényétől.

A hetvenes évek elején a tudomány fejlődésével lehetővé vált a genetikai információ átvitele baktériumokba. Ezzel megindult az az új kutatási irány, amit *rekombináns DNS technológiának* hívunk. Ez a tudomány mára elérte azt a szintet, hogy elvileg a genetikai információ szinte bármely szervezetből átvihető akármelyik más szervezetbe. A nagyvállalatok ezt a technológiát arra a célra használják, hogy a környezetünkben olyan, mesterségesen kiegészített génállományú életformákat terjesszenek el, amelyeket szabadalmi oltalom alá eső áruvá tesznek. Ezt azzal indokolják, hogy a genetikailag módosított növények és állatok megoldják a harmadik világ élelmiszerellátását és segítik az egészségesebb élelmiszerek előállítását, valamint az eddig gyógyíthatatlan betegségek gyógyítását.

Már a rekombináns DNS-technológia bevezetésének pillanatában heves viták robbantak ki a genetikai módosítással kapcsolatos kísérletek biztonságáról. Ahogy ez a technológia tovább fejlődött, egyre újabb és újabb lehetőségek váltak gyakorlattá. Eközben egyre fokozódott az ellenérzés más tudományterületek képviselőiben, és nőtt a távolság a biotechnológia területén dolgozó genetikusok nagy része és a populációgenetikusok, ökológusok és táplálkozástani szakértők között. Az átlagemberek egyes csoportjai is egyre gyakrabban hangoztatták félelmeiket és nemtetszésüket. 1998-ban, amikor mindenki számára nyilvánvalóvá vált, hogy tudtukon és akaraton kívül a nyugat-európai és amerikai fogyasztók jó része (és nagy valószínűséggel a magyar fogyasztók is) egyre nagyobb mennyiségben fogyasztottak/foogyasztanak genetikailag módosított növényekből készült élelmiszereket, a vita a két tábor között komoly csatává változott. A fogyasztók követelték, és az EU-ban el is értek, hogy a genetikai módosítással készült élelmiszereket jelöljék. Ezek nagy része azután kiszorult az európai élelmiszerpiacról. Ahogy azt Árpi a brit televízió „*World in Action*” programjában mondta „*a genetikai módosítással készült növényeket a laboratóriumban kell kipróbálni, és nem a lakosságot kell kísérleti nyúlak használni.*” A GM-növények forgalmazását csak akkor szabad megengedni, ha azok minden szempontból biztonságosnak tekinthetők.

Első látásra a genetikai determinizmus dogmájából eredő lehetőségeink szinte korlátlanok. Ha megértjük, hogy melyik gén milyen fehérjét kódol és ezt a tudást fel is tudjuk használni, akkor felcsillan előttünk annak a lehetősége, hogy a természetes élőlényeket megváltoztassuk és a saját, vagy pillanatnyi gazdasági céljainknak megfelelően alakítsuk. Ezért Watson és Crick felfedezése nemcsak elméleti szinten volt nagy horderejű, de utat nyitott egy új iparág, a biotechnológia kifejlődéséhez, amely az élesztőgombák, baktériumok, növények, később pedig állatok és az emberek (főleg gyógyítási céllal) genetikai módosítását tűzte ki fő feladatául. Úgy tűnt, hogy a genetikai determinizmus elvének alkalmazásával lehetővé vált a biotechnológiai vállalatok azon törekvése, hogy megváltoztassák, és ellenőrzésük alá vonhassák a mezőgazdaságot. Tennék ezt azzal a céllal, hogy a számában növekvő emberiség táplálkozási igényeit kielégíthessék, hogy megszűnjön az éhezés, és ezt úgy lehessen elérni,

hogy ne kelljen az őserdőket kivágni és a környezetkárosító növényvédő szerek használatát tovább növelni. A biotechnológia azt is ígéri, hogy a GM-növények tápanyag-összetételét úgy változtatják meg, hogy tápértékük előnyösebb lesz, mint a konvencionális táplálékoké, és így azok jobb hatással lesznek az egészségünkre. Arra is lehetőség nyílt, hogy a genetikailag módosított növényekben gyógyszereket és az immunrendszert segítő ellenanyagokat, valamint oltóanyagokat termeljünk és így a közegészség eddig soha nem látott mértékben javuljon.

Bár senki sem kételkedik abban, hogy az emberiség szempontjából ezek a célkitűzések nemesek és hasznosak, de a növényi biotechnológia eddig elért gyakorlati eredményei (értsd: a jelenleg forgalomban lévő, első-generációs GM-növények) jóval eltérnek ezektől a céloktól. Könyvünkben azt akarjuk hangsúlyozni, hogy mik a GM-élelmiszerek egészségügyi hatásai, és fogyasztásuk lehetséges kockázatait akarjuk ismertetni. Ezek tárgyalását azonban a gyakorlatban nem lehet elválasztani a környezeti problémáktól. Ugyanis a GM-növények termesztésével járó környezeti hatások, ha nem is közvetlenül, de befolyásolhatják az emberek és állatok egészségét. Így elkerülhetetlen, hogy ezeket a kérdéseket érintsük. Mielőtt még rátérnénk a genetikailag módosított növények bevezetésével kapcsolatos élelmiszeripari, táplálkozástudományi, gazdasági és etikai problémák megbeszélésére, meg kell ismernünk a DNS-sel kapcsolatos kémiai és biológiai tudnivalókat.

A genetikai módosítás alapjai – egy csöppnyi tudomány

A genetikai módosítás – hogyan csinálják?

Az emberi test szervekből (szem, máj, bél, vér, haj, bőr stb.), a szervek szövetekből, s azon belül *sejtekből* és a sejtek közötti állományból állnak. Az egyes szerveket többféle sejt alkotja. A sejtek citoplazmájában folyik a fehérjeszintézis és a sejtmagban található az örökítő anyag, a DNS, azaz itt tárolódik a szervezetre vonatkozó genetikai információ.

A sejteket többféle molekula építi fel: szénhidrátok (avagy cukrok), zsírok, nukleinsavak és fehérjék sokasága. A fehérjék gyártják az összes többi molekulát.

A *fehérjék* aminosavakból épülnek fel. Az aminosavak különféle módon összekapcsolódva sokféle fehérjét hozhatnak létre. A kisebb fehérjék száz körüli aminosavból állnak, de az óriás fehérjemolekulák létrehozásához több száz vagy ezer aminosavra is szükség lehet. A fehérjékhez sokszor más molekulák: cukrok, savak, zsírok stb. is kötődhetnek, de csak az aminosavak összekapcsolása után. Ha megfelelő fehérjék állnak rendelkezésre, akkor a sejtek jól működnek. Az egészséghez a szervek és ezen belül a sejtek összehangolt működése szükséges. Ha az összhang megbomlik, megbetegszünk. Ezért a különböző fehérjék gyártásához szükséges információt, és hogy melyik sejtnak mikor mire van szüksége, az élőlények generációról generációra továbbadják az utódaiknak. Ezt az információt tárolja az örökítő anyag, a *DNS* (dezoxi-ribonukleinsav). Ha ezt az információt idegen genetikai anyag bevitelével művi úton megváltoztatjuk, *genetikai módosításról*, génmanipulációról, vagy génszűrésről beszélünk. Mindhárom fogalom ugyanazt jelenti, csak érzelmi színezetben van köztük különbség. Olyan laboratóriumi tevékenységet takarnak, amelyben az evolúció évmilliói során kialakult és kisebb módosulásokkal (amely hosszú távon a környezetében megméretik) generációról generációra szálló örökletes információ gyorsan és fokozat nélkül megváltoztatható.

Ahhoz, hogy megérthessük a genetikai módosítás folyamatát, és hogy ez milyen esetleges veszélyeket rejthet, először azt kell megértenünk, hogy mi az örökletes anyag, mi az a DNS. Itt kezdődik a probléma. Korunk tudománya még nem teljesen érti a DNS működését. Sokat tudunk róla, de valószínűleg sokkal több az, amit nem. A legnagyobb gondot mégis az okozza, hogy nagyon sok dolgot rosszul gondolunk.

A DNS feladata kettős: 1.) tárolja a generációról-generációra szálló genetikai információt, és 2.) mint egy szuperkomputer vagy kezelő központ, irányítja a sejt működését és termékeivel „utasítja” a sejtet, hogy mikor, mit csináljon. A DNS 4-tagú információs-rendszeren alapul. A DNS négy bázist: adenint (A), citozint (C), timint (T) és guanint (G) használ amelyek glikozidos kötéssel dezoxiribózt is tartalmaznak és a DNS-ben ezek a nukleozidok foszfát észtereken keresztül kapcsolódnak egymáshoz. A bázisok közül 2-2 párt alkot. Az A a T-vel, a C a G-vel képez *bázis-párokat*. A párok tagjai csakis egymással illenek össze. Párképzéskor a DNS szálai fej-láb és láb-fej irányban helyezkednek el. A DNS két összekapcsolódott szála azonos információt hordoz. Hogy az információ minél kisebb helyen elférjen, a DNS kettős spirál szorosan fel van tekeredve. Képzeljünk magunk elé egy létrát! A létra két oldala a DNS két szála és a fokokat az összekapcsolódó bázispárok alkotják. Most gondoljuk el, hogy ezt a létrát egy óriás hosszában megcsavarja, és utána felülről összenyomja, megsodorja és ráadásul feltekeríti. Az így kialakult kompakt szerkezet teszi lehetővé, hogy a rendkívül hosszú DNS szál elférjen a sejtmagban.

A legtöbb vírusban és baktériumban a teljes genetikai információ folyamatos, azaz az összes gén egyetlen gyűrű alakú kettős-spirálon található. A bonyolultabb szervezetekben, a növényekben, állatokban vagy az emberben az információ nem folyamatos, hanem szakaszos: a DNS kisebb egységekre van felszabdalva. Ezeket az egységeket *kromoszómáknak* hívjuk. A kromoszóma nem más, mint a fehérjék köré feltekert hosszúkás alakú, sok millió nukleotid-párból felépített, és több gént tartalmazó fonalas szerkezetű DNS darab. A sejt DNS-ének összességét *genomnak* nevezzük. A DNS-szálon tárolt, funkcionálisan értelmezhető, különválasztható információ-egységeket *géneknak* nevezzük.

Sejtosztódáskor, amikor a sejtek szaporodnak, a feltekeredett DNS kitekeredik és kettévál. A kettévált szakaszokról mindkét szálon azonnal másolat készül. Az újonnan keletkezett DNS szálak a párképzés után feltekerednek. Az új információs csomag átkerül az újonnan létrejött sejtbe. A másolat természetesen azonos az eredetivel, így az új sejt is ugyanazt a használati utasítást kapja, mint amit az eredeti sejt tartalmazott. Sejtosztódáskor tehát a sejt teljes DNS-készlete lemásolódik. Ez annyit jelent, hogy a DNS teljes hosszáról elkészül a másolat. Ha a sejt nem osztódik, akkor nincs szüksége az összes DNS-ben tárolt információra. Ugyan minden sejtben benne van a teljes genetikai információ, de ebből az egyes sejteknek csak a rájuk vonatkozó információra van szükségük. Az adott sejt típusban egy meghatározott időben csak a szükséges információt hordozó gének DNS szakaszai csavarodnak ki és válnak hozzáférhetővé, azaz, csak ezek *expresszálnak*. Ez lehetőséget ad arra, hogy ugyanaz a teljes DNS minden sejt típusnak különböző információt adhasson és utasítsa a különféle sejteket, hogy melyik, mikor és milyen fehérjét szintetizáljon. Ehhez a DNS-ben tárolt információnak valamilyen közvetítő segítségével át kell kerülnie a sejt magból a citoplazmába. A közvetítő szerepét az *RNS* (a ribonukleinsav) játssza. Az információ átkerülését átírásnak vagy *transzkripciónak* hívjuk.

Az RNS a DNS-hez hasonlóan ugyancsak négyféle bázisból (adenin (A), timin (T), guanin (G), és uracil (U)) áll. A 4 bázisból 3 azonos a DNS-ben használttal. Ezek a bázisok is képesek egymás közti párképzésre (az A a T-vel és az U a G-vel), de a legfontosabb jellemzőjük az, hogy az RNS bázisai a szétnyílt DNS bázisaival is párosodnak és így az RNS összekapcsolódhat a DNS-sel (az A a T-vel, míg a G az U-val vagy a C-vel képes párt alkotni). A sejtben az adott pillanatban szükséges fehérjéket kódoló DNS szakaszok (gének) szétnyílnak, hogy az RNS számára hozzáférhetőek és lemásolhatóak legyenek. Ezt a folyamat teszi lehetővé, hogy a DNS-ben tárolt információ átkerüljön az RNS-be. A sejtben az expresszáldott génekről RNS változat készül, így a DNS-ben tárolt információ átkerül az RNS-be. A fehérje szintézishez az RNS közvetíti a működő gének üzenetét. Ugyancsak az RNS molekulák felelősek a szükséges fehérjék gyártásáért. Az RNS-nek három fő típusa létezik. Ezek egyike az *mRNS*, ami a DNS-ben tárolt genetikai információt aminosav-sorrendre fordítja le. A másik típus a *tRNS*, ami az *mRNS*-ben meghatározott sorrendnek megfelelően felismeri, és a helyszínre szállítja a fehérjék építőköveit, az aminosavakat. A harmadik típus az *rRNS*, ez az aminosavak egymáshoz kapcsolásában segít. Az RNS molekulák gyártják (szintetizálják) a fehérjéket úgy, hogy az *mRNS*-ben meghatározott sorrendnek megfelelően, a *tRNS* szállítja, és az *rRNS* segítségével egymáshoz kapcsolja az aminosavakat.

Számos fehérjét jelzésekkel kell ellátni azaz a szintézis után módosítani kell ahhoz, hogy a sejtben a helyükre kerüljenek és ott a feladatukat jól tudják végezni. Ez úgy történik, hogy az aminosavak összekapcsolása után a frissen szintetizált fehérjéhez más vegyületek kapcsolódnak: cukrok, zsírok, foszfát- vagy szulfát-csoportok stb. Azt, hogy az egyes sejtekben milyen molekulák kapcsolódhatnak a különféle fehérje molekulához, a sejt típus és a szervezet evolúciós fejlettsége határozza meg. Ezután következik a gyártási folyamat utolsó lépése: a szintézis és a módosítás után a fehérjék térszerkezetét pontosan ki kell alakítani, azaz megfelelő módon fel kell őket tekerni. Ezt a feladatot a fehérjék kísérői, a saperonok látják el.

A genetikai módosításhoz használt gének

Genetikai módosításkor a növények genetikai anyagát idegen DNS bevitelével megváltoztatjuk. Az idegen DNS származhat természetes forrásból (azaz más élőlényből) de szintetizálható a laboratóriumban is (kurtított, mesterségesen előállított DNS-szekvenciák). Az így átalakított növényeket *GM-növényeknek* hívjuk. A GM-növények előállításakor eleinte csak egyetlen fő, ma azonban már számos ismert tulajdonságú fehérjét kódoló gént (*transzgént*) juttatnak be a genomba. A sikeres génátültetéshez azonban a tanszgéneken kívül más gének vagy gén-szekvenciák is kellenek.

A GM-növények előállításához kell a *promóter*, ami a bevitt gént bekapcsolja, illetőleg működőképpé (átmásolhatóvá) teszi. A promóter segítsége szükséges ahhoz, hogy a DNS egy bizonyos szakaszon széttekeredjék és átmásolódjon. Kell a transzkripciót leállító génszakasz is (*stop jelzés*). Ez megmondja, hogy a transzgén-szekvencia olvasását hol kell abbahagyni, azaz hol kell a DNS-nek az RNS-be írását leállítani. Szükség van továbbá olyan génekre, amelyek jelzik, hogy melyik sejtet sikerült a transzgénnel átalakítani. Ezt nevezzük szelekciónak. A szelekcióhoz alkalmas *markergén* és/vagy a *riporter gén* antibiotikum-rezisztenciát-, herbicid-toleranciát kódol, esetleg fluoreszcenciával vagy más hasonló reakcióval megkülönbözteti az átalakított sejteket az át nem alakítottaktól. Így a génbevittelt lehetővé tévő génkonstrukcióban a transzgéneken, a kívánatos géneken kívül még legalább három másik, de néha még ennél is több gén DNS-ét használják fel.

A promóter

Az ember DNS molekulája hárommilliárd bázispárból áll, és ez az információ van jelen minden egyes sejtünkben. Az egyéni sejtekben vannak olyan gének, amelyek állandóan gyártják a fehérjéket (bekapcsolt állapotban vannak) és vannak olyanok, amelyek pihennek (*silent* gének). Ez utóbbiak ki vannak kapcsolva. Hallgatnak, mert az általuk kódolt fehérjére abban a sejtben épp akkor nincs szükség. Hogy melyik gén aktív, és melyik hallgat, azt a promóterek (azaz a kapcsolók) határozzák meg. Például a köröm gyártásáért felelős fehérje génje aktív a körömágyban, de pihen a kézfej hámsajtjeiben. Ha ez nem így lenne, akkor az egész kézfejkünket szarupikkely borítaná. De honnan tudja egy sejt, hogy dolgozzon vagy pihenjen? Onnan, hogy a különböző sejtekben minden génnek van munkaköri leírása. Az utasítás minden sejtípusra különböző. A munkaköri leírás változhat a sejtben aszerint, hogy a sejtnek adott pillanatban mire van szüksége. A promóterek mondják meg a géneknek, hogy dolgozzanak, pihenjenek, vagy csak meghatározott ideig működjenek. A promótert még a genetikai módosítás megkezdése előtt hozzákapcsolják az átvitelre szánt génhez. A promóter kiválasztása nagyon fontos, mert ettől függ, hogy az átültetett génről az egyes sejtek hol, mikor és mennyi transzgén-fehérjét fognak termelni.

A növényi és állati sejtekben bonyolult védőrendszer gátolja meg, hogy idegen genetikai anyag kerülhessen a genomba. Vannak azonban olyan agresszív szervezetek, amelyek képesek a DNS védőrendszerét áttörni. Ezek közül a legismertebbek a vírusok és baktériumok, amik kijátsszák a sejtek védőrendszerét. A GM-növények átalakításához a biotechnológusok a promótert a karfiol-mozaikvírusból vették kölcsön. A forgalomban lévő majdnem minden GM-növényben ezt a promótert (az ún. CaMV 35S promótert) használták. Ezt a promótert a természet úgy tervezte, hogy arra kényszerítse a sejtet, hogy saját magáról és a hozzá kapcsolt DNS szakasról sok-sok másolatot készítsen. Ez a promóter minden növényi (és számos állati) sejtben is működik, és a sejtet arra kényszeríti, hogy folyamatosan gyártsa az általa kódolt, és a hozzákapcsolt transzgéneknak megfelelő fehérjét, és ezzel felülbírálja a sejt eredeti utasításait.

A marker- és riporter gén

A marker- és riporter gének segítségével tudjuk meghatározni, hogy a rengeteg átalakításra szánt sejt közül melyik az, amely befogadta az idegen génkonstrukciót. Ehhez legtöbbször az úgynevezett „*antibiotikum rezisztencia*”, vagy a „*herbicid-tolerancia*”, esetenként az UV fényben zöldesen fluoreszkáló fehérje előállításáért felelős gént használják, amit előzőleg ugyancsak a génbevitelre szánt génhez kapcsolnak.

Antibiotikumok jelenlétében sok baktérium elpusztul. Az antibiotikum rezisztenciát kódoló gén olyan enzim-fehérjét termel, ami képes az antibiotikumot lebontani. Így azok a növényi sejtek és baktériumok, amelyeknek a genomjában jelen van az antibiotikum-rezisztenciát kódoló gén *antibiotikum rezisztenssé* válnak. A génátvitelhez használt génkonstrukciót általában baktériumokban szaporítják fel. Azok a bakteriális sejtek, amelyekben sikeres volt a génátvitel képesek antibiotikum jelenlétében is életben maradni.

A totális gyomirtók (*herbicidek*) megölik a növényi sejteket. A valamilyen herbicidre rezisztenciát kódoló gén olyan enzim-fehérjét kódol, ami képes azt a bizonyos gyomirtó szert kevésbé hatékony származékká módosítani. Ha a növény olyan gént hordoz, aminek a fehérjéje el tudja valamelyik herbicidet bontani, akkor rezisztenssé válik ezzel a bizonyos gyomirtó szerrel szemben és nem pusztul el, ha ezzel permetezik. Ezt úgy mondjuk, hogy a növény herbicid-toleránssá, vagy *herbicid-rezisztenssé* vált. A legtöbb marker gén baktériumból származik.

A stop jel

A stop jel olyan génszakasz, ami az üzenet vége jelzést hordozza és utasítja az RNS-t, hogy az üzenetet ne másolja tovább. Ezek leggyakrabban patkányból, vagy baktériumból származnak.

A transzgén

A transzgén, avagy a hasznos gén az a gén, ami azt a bizonyos kívánatos tulajdonságú fehérjét kódolja, amit be szeretnének juttatni a módosítandó szervezet genomjába. Az EU-ban jelenleg a GM-növények két fő típusát engedélyezik: azokat, amik maguk állítják elő a növényvédő szert (*peszticidet*), és azokat, amik képesek egy bizonyos gyomirtó elbontására (herbicid-toleráns GM-növények). Ennek megfelelően haszonnövényeink genetikai módosításához leggyakrabban a *Bacillus thuringiensis* (*Bt*) valamelyik toxinját kódoló *cry*-gén valamelyikét, vagy a *glyphosate*- illetve *glufosinate*-rezisztenciát kódoló transzgéneket használták.

A *cry*-transzgént hordozó *Bt*-növények maguk termelik a kártevők elleni vegyszert, így a célállat ellen nincs szükségük rovarölőszere. A *cry*-gén a *Bacillus thuringiensis* nevű baktériumból származik. Ez a baktérium-család többféle mérgezőanyagot (protoxint) termel, ami számos növényi kártevőt is elpusztít, ha bekerül a bélrendszerükbe, ugyanis az emésztés során a protoxin (azaz a mérgező előanyag) aktív mérgező alakul. A baktérium genomja a protoxin előanyagának génjeit hordozza. A genetikusok a *Bacillus thuringiensis* genomjából a gén aktív mérget kódoló szakaszát izolálták és vitték át a *Bt*-növényekbe.

A ROUNDUP READY, vagy *glyphosate*, vagy más néven *RR*-gyomirtót gyártó cég észrevette, hogy bizonyos baktériumok életben maradnak az üzem szennyvíz tárolójában. A herbicid szennyezés miatt ez csak akkor lehetséges, ha ezek a baktériumok képesek a gyomirtó szert metabolizálni. Ezeket a baktériumokat a vízből izolálták, és valóban megtalálták bennük azt az enzim-fehérjét, ami a *glyphosate*-ot módosítja. A baktérium genomjában azonosították az enzim előállításáért felelős gént, amit a gyomirtóról ROUNDUP READY-génnek, avagy *glyphosate*-rezisztencia génnek neveztek el. Ezt a gént használják a növények módosítására. Hasonlóképp azonosították és izoláltak más olyan géneket is, amelyek terméke másféle gyomirtó szer elbontására képesek.

A GM-növények előállítási módszerei

A génátvitelre az eredeti szervezetből (a donorból) való kivágás- és az átalakítandó szervezetbe (recipiensbe) való átültetés-beültetés vagy a beillesztés kifejezést használjuk. A valóság az, hogy a transzgéneket, a legtöbb esetben egy a vektort (promótert, transzgént, stop jelzést és marker gént) tartalmazó génkonstrukció részeként gén-puskával belövik a sejtekbe, vagy baktériumok segítségével megfertőzik ezzel a sejteket.

A génpuska

Apró wolfram részecskék felületét a génátvitelre szánt DNS-sel vonják be, majd ezeket több száz km/óra sebességgel belövik a sejtbe. A sejteken áthaladó lövedékről az idegen DNS belekenődik a sejtbe és így jut be a gazdasejt genomjába. A biotechnológusok szerint ez precíz és irányított génátvitel.

Fertőzés *Agrobacterium* plazmiddal

Elvileg hasonló módszer az is, amikor a DNS-vektorral megfertőzik a módosítandó növényi sejtet. Erre az *Agrobacterium tumefaciens* nevű talajbaktérium plazmidja (gyűrű alakú bakteriális DNS) kiválóan felhasználható, mert sokféle növényi sejtet képes megfertőzni és bennük tumoros változásokat létrehozni. Ha a plazmidot megszabadítjuk a tumorképző képességétől és összekapcsoljuk a bevételre szánt gént tartalmazó vektorral, a fertőzés révén a módosításra szánt gént be lehet vinni egyes sejtekbe és így a növényt genetikailag módosítani.

A génpuskás és a fertőzéses génátviteli módszer hatásfoka általában olyan, hogy ezerből csak néhány sejt genetikai módosítása sikeres.

Az oldószeres és egyéb módszerek

Az oldószeres módszer jelenleg kevésbé terjedt el. Ennek az a lényege, hogy bizonyos oldószerekben a sejtfallal ellenállása lecsökken és így meg lehet növelni a sejtek DNS felvételét. Ez a folyamat önmagától is végbemegy, de mértéke gyakorlatilag nem számottevő. Vannak ugyan még más módszerek is, de ezeket jelenleg alig használják a genetikai módosítás gyakorlatában.

Szelekció és szaporítás

A génbevitelt egyszerre sok ezer sejten végzik, de a hatásfok elég alacsony. A marker-gén vagy a riportergén segítségével lehet meghatározni, hogy a rengeteg sejt közül melyik az, amely befogadta az idegen DNS-t. Miután a DNS-t valamilyen módszerrel bevitték a sejtekbe, a marker és a riportergén természetétől függően antibiotikummal vagy növényvédőszerrel kezelik őket, esetleg UV fényvel megvilágítják stb. Azok a sejtek, amelyek befogadták a transzgént (és ezzel együtt a marker és riportergént), rezisztenssé válnak, és életben maradnak, vagy az UV fény alatt világítanak, így elkülöníthetőek azoktól a sejtektől, amik nem fogadták be az idegen DNS-t. Ez a folyamat a szelekció.

A szelekció után következő feladat az, hogy a sikeresen módosított sejtből a GM-növényt regenerálják. Noha a laboratóriumban az ehhez szükséges módszereket gondosan kidolgozták, a sikeresen módosított sejteknek még így is csak kis hányadát sikerül növényre regenerálni. A következő lépésben megnézik a GM-növény morfológiáját (azt, hogy a GM-növény egészséges-e, van-e gyökere, levele, virágzik-e, hoz-e magot stb.). Az üvegházban sikeresen felnevelt GM-növényt ezután már a szabadban termesztik tovább, és megvizsgálják a termesztésben fontos jellemzőket és tulajdonságokat, mármint hogy a GM-növény mennyire hasonlít a szülő vonalhoz, nagyságban, hozamban stb. A szabadföldi növények közül választják ki azt a növényt (a GM-vonalat) felszaporításra, amelynek az agronómiai sajátosságai

is megfelelőek. A továbbiak során az így szelektált GM-növényt három generáción át tovább szelektálják. Ezután a GM-növényeket vagy egymással, vagy a hagyományos növényekkel keresztezik, ugyanúgy, mint ahogy azt a tradicionális növénynevelésben is teszik.

Ha a növény megfelel minden követelménynek, akkor a génátalakítást sikeresnek tekintik és elkezdődhet az engedélyezés.

A GM-növények engedélyezése

Az engedélyező hatóságnak az a feladata, hogy a GM-növényeken kibocsátásuk előtt részletes egészségügyi és környezetbiztonsági kockázatbecslést hajtsanak végre. Hogy ez hogyan történik, azt később részletesen fogjuk tárgyalni. Itt csak annyit bocsátunk előre, hogy ezek a hatóságok a GM-növények és a belőlük készült élelmiszerek biztonságáról jelenleg nem részletes vizsgálatok alapján döntenek, hanem az ún. lényegi azonosság elvét alkalmazzák.

Ajánlott irodalom:

Venetiáner Pál: A DNS szép új világa (1998) Kulturtrade Kiadó Kft. Budapest

Dudits Dénes: Növénynevelés géntechnológiai segédlettel (1998) MTA Géntechnológiai Központ, Winter Fair Kft, Szeged

Dudits Dénes és Heszky László: Növényi biotechnológia és géntechnológia (2000) Agroinform Kiadó, Budapest

A tények és a tudományosan megalapozatlan állítások

A genetikai módosítás nem a tradicionális növénynemesítés kiterjesztése

A fajokon belül a DNS molekula evolúciója a mutáció folytán változik és a szexuális szaporodás során keveredik. Kivételt képeznek ez alól a vegetatívan vagy szűznemzéssel szaporodó fajok. A hím és női ivarsejtekből származó DNS darabok (kromoszómák) egyéni módon kombinálódnak az utódokban. Így minden utód mindkét szülőtől származó DNS darabokat hordoz, de különféle kombinációban.

A tradicionális növénynemesítés hosszú történelmi hagyományokra támaszkodik. Sokan úgy tartják, hogy a növényfajok keresztezése és ezen keresztül új, és előnyösebb növényfajták előállítása egyidős a mezőgazdasággal és ettől az időponttól számíthatjuk az ember társadalmi fejlődését. A földművelők és az állattenyésztők szándékosan párosították az előnyös tulajdonságokkal rendelkező növényeket vagy állatokat. Ezzel azt akarták elérni, hogy a kedvező tulajdonságok tovább öröklődjenek. Például, ha egy ellenálló rizsfajtát olyannal kereszteztek, amelynek jó volt az íze, akkor remélhették, hogy a következő évi vetőmagból jó ízű és egyben ellenálló rizs is kikerül. Ez néha sikerült, néha nem, attól függően, hogy milyen génpárok találkoztak egymással. A genetikai módosításon alapuló biotechnológiai ipar azt állítja, hogy a genetikai módosítás nem más, mint a hagyományos növénynemesítés újabb, gyorsabb és tudományosabb formája és lényegében nem különbözik attól. Ez a nézet azonban nélkülöz minden tudományos alapot. Ugyanis a hagyományos növénynemesítésben az azonos, vagy egymáshoz igen közel álló fajták egyedeket keresztezzük (intraspecifikus hibridizáció) azzal a céllal, hogy új és számunkra előnyösebb fajtákat hozzunk létre. Ez adja meg a módszer alapvető fontosságát, és egyben a korlátját is. Rokon növényfajokat is nehezen lehet egymással keresztezni (interspecifikus hibridizáció), míg igen távoliakat egyáltalán nem. A hagyományos növénynemesítési módszer, a keresztezés és az ezt követő szelekció, összhangban áll a fokozatos fejlődés elméletével, bár tudnunk kell, hogy a kultúrnövényeink genetikai szintű biodiverzitása éppen a túlzott szelekció miatt igen csekély. Lényegét a következőképpen lehetne röviden összefoglalni. A növények sejtmagjában a kromoszómák párokban vannak jelen. Ezzel szemben a hím- illetve a női-ivarsejtekből a kromoszómák páratlanok. Keresztezéskor egy véletlenszerű folyamat eredményeként a két ivarsejtből származó hasonló kromoszómák párosulnak az utódsejtben. További variációs lehetőséget biztosít az, hogy a sejtosztódást megelőzően a kromoszómák szétválásakor az egyes DNS szakaszok kicserélődhetnek és amikor párosodnak új kombinációban jelenhetnek meg (ez a rekombináció egyik formája). Ebből világossá válik, hogy az utód genetikailag nem azonos a két szülő kromoszómáinak az összegével, de DNS-ük csak a szülőktől származik. Ez adja meg a fajon belüli genetikai változás lehetőségét.

A növények vagy állatok keresztezése után megvan annak a lehetősége is, hogy az utódokból kiválaszthassuk azokat az egyedeket, amelyek a számunkra kívánatos tulajdonságokat hordozzák. Ha ezeket tovább szaporítjuk, kiválaszthatók a kedvező tulajdonságokat hordozó növények vagy állatok. Tehát a hagyományos nemesítéssel soha sem lehet a szülői génekből hiányzó, teljesen új tulajdonságokat átvinni az utódba, viszont a párosodás során bekövetkező rekombináció lehetőséget ad arra, hogy a már meglévő, és számunkra kedvező gének működését felerősítsük, vagy a nem kívánatosakat lecsökkentsük.

Ezzel szemben a genetikai módosítással történő nemesítésnél a biokémikusok különféle trükköket használnak. A szexuális úton való párosítás helyett a DNS-molekulákból kivágják a kívánt géneket és ezeket parazita fajokból származó DNS-darab segítségével beszállítják az átalakítandó

szervezet DNS-molekulájába. Genetikai módosításkor bármely fajból származó genetikai információt bármely más fajba át lehet tenni, csak az a kérdés, hogy ott működni fog-e, és ha igen, akkor ugyanúgy működik-e majd, mint az eredeti szervezetben. Míg az ivaros szaporodás csak azonos, vagy egymáshoz igen közel álló testvér-fajok között jöhet létre, addig a genetikai módosítás esetében a biokémikust semmi sem korlátozza. Az állati géneket átrakhatja növényekbe, az emberi géneket növényekbe vagy állatokba, ahogy érdeke diktálja.

Például, ha valaki hidegtűrő paradicsomot akar előállítani, és tudja, hogy valamelyik sarkvidéken élő hal melyik génje felelős azért, hogy a hal a jeges vízben ne fagyjon meg, akkor a halból ezt a gént átrakhatja a paradicsom DNS-ébe. Annak ellenére, hogy a természetben ez a gén sohasem kerülne át a paradicsomba, a genetikai módosítással előállított GM-paradicsom hidegtűrő lehet, és az utódai is fagyállóvá válhatnak. Ma még a biotechnológusok többsége azt vallja, hogy a genetikai módosítás a természetes növénynevelés kiterjesztése, de ezt a kutatók többsége már nem fogadja el.

A Nobel-díjas orvosprofesszor George Wald az „*Érvek a genetikai módosítás ellen*” című cikkében (1) az ellenkezését úgy fogalmazta meg, hogy a genetikai módosítással az emberiségnek a tudomány történetében először olyan problémával kell szembenéznie, amelyhez hasonló eddig még nem fordult elő, és amely a földi életet teljesen megváltoztathatja. *„Ez a technológia lehetővé teszi, hogy az emberek megváltoztassák azokat az életformákat, amelyek kialakulásához az evolúciós fejlődésnek hárommilliárd évre volt szüksége. Az ilyen beavatkozást nem szabad összekeverni azokkal az apró változtatásokkal, amiket a növény- és állatnevelők az évezredek során elértek. Még akkor sem, ha az emberek eddig is képesek voltak mesterséges mutációkat létrehozni, pl. röntgensugárzással. Minden eddigi, korábbi módszer tiszteletben tartotta a fajok közötti határokat. Az új technológiával éppen az a probléma, hogy a géneket a fajok között oda-vissza mozgathatja és semmiféle, a természetben az evolúció során bölcsen kialakított és hosszú időn keresztül az ökoszisztémákban kipróbált korlátozást nem vesz figyelembe.”* Wald szerint az, hogy a hal nem tud a paradicsommal közölni nem a véletlen műve, hanem a földi élet fejlődésének következménye. Amikor a molekuláris biológusok a természetben időtlen időktől uralkodó, a fajokat elválasztó határokat átlépik az nem azonos fajta-neveléssel, hanem ilyenkor *„...olyan tevékenységet folytatnak, amellyel, olyan önreprodukcióra képes új fajt hoznak létre, ami ezután véglegesen jelen lesz a Földön. Ha egy ilyen faj egyszer elszabadult, azt soha többé nem lehet visszahívni vagy megállítani”*. Wald figyelmeztet arra, hogy *„...eddig minden élőlény lassan fejlődött ki és volt ideje a környezetébe beilleszkedni. Manapság egy nap alatt egészen új fehérjék kerülhetnek új szervezetekbe, új körülmények közé, újfajta kombinációkban. Ez az új szervezetre és a többi élőlényekre is olyan következményekkel járhat, amit senki sem tud előre megjósolni”*. Szerinte a génmanipuláció *„...valószínűleg sokkal nagyobb etikai problémát okoz, mint amivel az emberiségnek korábban szembe kellett néznie”*. Arra is figyelmeztet, hogy *„...ezt az utat választani nemhogy hibás döntés, de valószínűleg rendkívül veszélyes is mivel új növényi-, állati- betegségek, járványok fejlődhetnek ki.”*

A genetikai módosítás technológiája világosan és merőben különbözik a hagyományos keresztezés módszerétől. Ennek a technológiának nincs elvi korlátja. A növények genetikai módosításához csak az kell, hogy össze tudjunk állítani egy olyan működőképes vektort, amiben benne van a bevitelre szánt gén, és módot találjunk arra, hogy ezt a DNS-t valamilyen technológiával bevigyük a növényi sejtbe. Sokan nem értik, hogy a biotechnológia hívei a két módszer különbségét miért próbálják elrejtteni ahelyett, hogy kihangsúlyoznák. Nyilvánvaló, hogy a két növénynevelési módszer alapján különbözik egymástól, de a genetikai módosítás sokkal nagyobb lehetőségeket ígér, mint a keresztezés vagy a mutáció. Az ok nagy valószínűséggel az, hogy a genetikailag módosított növények hatásági engedélyezése azon a feltételezésen alapszik, hogy a GM- és a tradicionális növények *„lényegileg azonosak”*. Azzal, hogy a biotechnológusok az előállítási módszerek azonosságát és nem a különbségét hangsúlyozzák, megtakaríthatják a biológiai tesztelés jelentős költségeit.

Az antisense-technológia

A molekuláris biológusok szerint az *antisense*-DNS technológiával nincs és nem is lehet probléma, illetve ez a technológia nem jelenthet veszélyt, mert a növénybe nem visznek be új gént, hanem az egy már a növényben lévő gént hallgattatnak el. Ez nem teljesen fedi a valóságot, ugyanis ehhez a technikához ugyanúgy kell a promóter, a markergén, az üzenet végét jelző génszekvencia, és persze az átvitelre szánt transzgén is, bár ez a gén különbözik kissé a többi transzgéntől abban, hogy nem egy meghatározott tulajdonságú fehérjét kódol, hanem a kikapcsolásra ítélt gén komplementáris szekvenciáját tartalmazza, esetleg olyan változatban, amibe szándékosan néhány bázis hibát is raktak.

Ez a transzgén-szekvencia a genomba jutva párképzéssel hozzákapcsolódik a kikapcsolásra szánt géhez. Amikor a sejtben másolat készül a DNS-ről, akkor a pozitív és negatív DNS szál szétnyílik és a szintetikus génnel összetapad, így egyik sem képes működni.

Az alapötlet kitűnő, de ez a technológia is terhes mindazokkal a problémákkal, mint amiket más transzgének átvitelével kapcsolatban tárgyalunk. Ezzel az antisense-technológiával állították elő a GM-növények közül elsőként forgalomba hozott FLAVR-SAVR-paradicsomot, amit azóta már ki is vontak a forgalomból. Hivatalosan azért, mert nem volt rá kereskedelmi igény (ami igaz), és még azért, mert ez a paradicsom ugyanúgy megpuhult, mint a többi.

A terminátor technika

Terminátor technikának hívunk minden olyan eljárást, amely steril GM-növény képződéséhez vezet, vagy megakadályozza a GM-növény továbbszaporodását (a magképződést vagy a mag kicsírázását) függetlenül attól, hogy a virágpor, a női ivarszervek sterilitásával, vagy bármely más technikával érik el a sterilitást. Jelenleg ugyan egyetlen terminátor technikával előállított növény sincs forgalomban, a biotechnológiai vállalatok többsége több érvényes szabadalommal rendelkezik, és így a technológia bevezetése valószínűleg csak idő kérdése. Hivatalosan meg nem erősített adatok szerint évekkel ezelőtt több szabadföldi kísérletet is folytattak terminátor génstruktúrákat tartalmazó növényekkel dél-nyugat Angliában. Annak dacára, hogy a populációgenetikusok szerint jó megoldás lenne a GM-fajták terjedésének megakadályozása (bár ezek a GM-növények terjeszthetik a hímsterilitást), a közgazdászok szerint ez a technológia a vetőmagpiacon keresztül a növénytermesztés monopolizálásához vezethet.

A terminátor-technika azon alapszik, hogy vannak a DNS-ben olyan gének, amelyek csak akkor működnek, ha az előttük lévő promóterhez egy bizonyos vegyi anyag (pl. egy hormon, vagy egy más fehérje, stb.) kapcsolódik. Ha ez a kapcsolódás létrejött, akkor a gén aktiválódik, és a DNS anyaga először átíródik RNS-be, majd ennek alapján elkészül a kívánt fehérje. Ha ez az anyag nem kapcsolódik a promóterhez, akkor a gén csendben van, és nem termelődik az a fehérje, amit kódol.

A vállalatok többfajta terminációs módszert dolgoztak ki. Az egyik példa a terminátor-technikára a barnáz nevű enzimen alapuló hímsteril rendszer. (A barnáz egy RNS-t bontó fehérje.) A rendszer úgy működik, hogy ugyanannak a növénynek három különféle vonalát állítják elő. Az első, ún. hímsteril vonalat hemizigóta állapotban tartják. Ez azt jelenti, hogy a barnázt kódoló, ún. öngyilkos gént a GM-növény herbicid-rezisztenciát kódoló transzgenjéhez kapcsolják. A növény ennek a génszekvenciának (a barnáz gének és a herbicid-rezisztencia gének) csak egy példányát tartalmazza. Ezek elé olyan porzó-specifikus promótert tesznek, ami természetesen csak a porzóban működik. Így a barnáz génből az enzim csak a porzóban képződik, és mint hatásos sejtmeleg, megakadályozza a virágban a virágpor előállítását. A vetőmagként használandó növényeket úgy tartják hemizigóta állapotban, hogy a barnázt és a herbicid-rezisztencia transzgent tartalmazó növényeket egy nem-GM-vonallal együtt termesztik, hogy egymást beporozzák, majd a növényeket herbiciddel lepermetezik. Azok a növények, amelyek nem tartalmazzák a barnáz

gént a herbicid-rezisztencia-génhez kapcsolva, elpusztulnak. Az életben maradt növények adják a hemizigóta hímsteril vetőmagot.

A sterilitást egy másik, ún. hímsterilitást helyreállító GM-vonal szünteti meg. Ez a vonal is homozigóta és a sterilitást helyreállító génnek, a „barnstar”-nak két kópiáját tartalmazza (ugyancsak a herbicid-rezisztencia génhez kapcsolódva). A barnstar gén a barnstar nevű fehérjét kódolja. Ez gátolja az RNS-bontó barnáz enzimet és nem engedi, hogy a barnáz lebontsa az RNS-t és megölje a virágot termelő sejteket. A barnstar gént és ezzel együtt a herbicid-rezisztencia gént is porzó-specifikus promóterhez kapcsolják.

A hímsteril vonalat a sterilitást-helyreállító vonallal keresztezve olyan hibridet kapnak, amely képes a virágot termelésére.

A terminátor technikának tudományosan sok sebezhető pontja van, így bevezetését nemcsak a különböző zöld szervezetek támadják ideológiai alapon, hanem sok kutató is ellenzi. Az egyik probléma, hogy a hibrid mind a hímsterilitást, mind a herbicid-rezisztencia gént terjesztheti. Európában még most is számos olyan szabadföldi kísérlet folyik, ami magában hordozza azt a veszélyt, hogy a hímsterilitás gén sokféle növény virágképzését megakadályozhatja. Ez a biodiverzitás csökkenéséhez vezethet mind a természetben, mind a mezőgazdaságban.

A keresztbeporzás eredményeként a nem GM-vetőmag is GM-mé válhat, vagy új, eddig nem létező GM-variánsok jöhetnek létre. A terminátor technológia bevezetését megkérdőjelező növénybiológusok és agronómusok fő problémája éppen ezzel kapcsolatos, ugyanis nem tartják kielégítőnek az eddig elvégzett kísérleteket annak a tisztázására, hogy a biodiverzitás csökkenése ennek az irreverzibilis technológiának a bevezetésével elkerülhető-e, és milyen alapfeltételek szükségesek ennek biztosításához.

A vállalatok attól is tartanak, hogy a gazdák a keresztbeporzást kihasználva illegálisan a szabadalmazott GM-vetőmag birtokába kerülhetnek. A terminátor technika alkalmas arra, hogy megakadályozza a magok illegális újrafelhasználását akkor, ha a gazdák nem veszik meg a sterilitást megszüntető vegyszert, vagy azt a vetőmag-keveréket, amit ugyancsak a vetőmag-előállító és forgalmazó vállalat ad el.

A biotechnológiai ipar egyik legnagyobb problémája az, hogy a GM-növények kifejlesztése és forgalmazása óriási anyagi ráfordítást igényel. Ezek a vállalatok dollármilliárdokat költöttek a növénygenetikai és molekuláris biológiai kutatásokra. Így érthető, hogy minden lehetséges óvintézkedést megtesznek azért, hogy termékeik intellektuális tulajdonjogát, vagy a forgalmazásukkal járó profitot megvédjék azoktól, akik a GM-növényeket illegálisan próbálják termesztani. Figyelembe véve a GM-növényekkel bevetett földterület nagyságát ez még akkor sem könnyű feladat, ha a vállalatok saját nyomozókat alkalmaznak. Ezeknek az a dolguk, hogy felderítsék ha valamelyik farmer illegálisan GM-vetőmagot vet, vagy GM-növényeket termeszt anélkül, hogy megfizetné a technológia-díjat.

A vállalatok természetesen mást mondanak. Szerintük a terminátor technikát azért vezették be, hogy megakadályozzák a GM-virágot terjedését és a keresztbeporzást. Ennek a technikának a bevezetésével és általánossá válásával azonban lehetőség nyílik számukra a vetőmagpiac teljes ellenőrzésére. A hagyományos vetőmagok használatakor szokásos volt, hogy a gazdák a termésből félretették a következő évi vetőmagot. Ezt a GM-vetőmagokkal is megpróbálták annak ellenére, hogy ezt a vállalat és a farmerek közötti szerződés szigorúan tiltja. A múlt hagyományainak megfelelően arra is volt példa, hogy a gazdák a GM-vetőmagot egymás közt elcserélték, noha ez is illegális. A megtartott GM-magok újraültetésével és egymás közti cseréjével meg tudták kerülni a biotechnológiai vállalatok szabadalmait és nem volt szükségük arra, hogy a GM-vetőmagot mindenki minden évben újra megvegye. Így jutott el a GM vetőmag Brazíliába, ahol a törvények 2003-ig nem engedték a GM-növények termelését. Jelenleg egy évre adtak engedélyt a GM-szója kipróbálására. A terminátor technika az illegális GM-vetőmagfelhasználást van hivatva megfékezni.

Váratlan következmények

Wald professzor és mások figyelmeztetése ellenére is a biotechnológusok több ezer genetikai módosítást hajtottak végre a fajok között. Bár ezek egy része, legalább is rövidtávon sikeresnek tűnik, meglepetésben is volt részünk. Előre ki nem számítható, váratlan eredményekben. Íme néhány példa az amerikai napilapokból:

- + 1986-ban, hogy sovány hússertéseket tenyészthessenek, az emberi növekedési hormon génjét átvitték a sertésekbe. A végeredmény cirkuszi rémbemutató lett. „*A sertések egyáltalán nem úgy néztek ki, mint ahogy azt a nagyapám farmján megszoktuk. Ezek drótszőrű, széles pofacsontú állatok voltak*” – írta a St Louis-i Dispatch magazin riportere. Az első alomból származó egyik állatnak nem volt végbélnyílása. Néhány állat annyira letargikus volt, hogy fel sem akart állni. Más állatok bélgyulladásból, vesebetegségtől vagy bőrbetegségtől szenvedtek, néhánynak szívnagyobbodása lett – írta a Harpers Magazin.
- + Amikor a dohányt olyan céllal módosították, hogy egy bizonyos fajta vegyületet termeljen, a gyártók másféle dohányt kaptak, mint amire számítottak. Az új dohány ugyanis egy olyan új mérget kezdett termelni, ami egyébként nincs jelen a természetett növényben (2).
- + Az élesztő átalakításakor az élesztőben csak kismennyiségben előforduló mérgező mennyisége 40-200-szorosára nőtt, pedig ebben az esetben a gént nem is más fajtából vitték át. A kutatók, akik ezt a váratlan hatást észlelték kijelentették, hogy az eredményeik megkérdőjelezik a genetikai módosítási módszer biztonságát és igazolják azoknak a fenntartásait, akik biztonsági okokból nem akarnak genetikai módosítással előállított élelmiszereket fogyasztani (3). Hozzá tették, hogy a genetikailag módosított élesztő nem azonos a hagyományos élesztővel, ahogy azt az amerikai FDA állítja.
- + Az első évben, amikor a MONSANTO cég GM-gyapotját termelni kezdték Missouriban (USA), a vetőmag majdnem 20000 hektárnyi területen okozott problémát. Néhány növény ledobta a gyapotot tartalmazó fejet. Volt olyan eset, amikor a növények a permetezőszertől pusztultak el annak ellenére, hogy a herbiciddel szembeni ellenállás génjét vitték át beléjük.
- + Texasban azt a gyapotot, amelynek magának kellett volna termelni a kártevők elleni védőanyagot (*Bt*-gyapot) megtámadták a kártevők és volt olyan eset, amikor a vetőmag ki sem akart csírázni. Máskor a növények visszamaradtak a fejlődésben, csökkent a terméshozamuk, vagy egyéb problémák jelentkeztek.

A meglepetést kiváltó okok közül az egyik az, hogy nem értjük igazán, mi irányítja a gének kifejeződését (expresszállódását) és, hogy az ún. transzgen beépülése a növényekbe véletlenszerű (4). A másik ok az, hogy a génmanipulálás elve egy olyan hipotézisen alapul, amiről ma már tudjuk, hogy hibás.

A genetikai determinizmus: a génmanipuláció hibás feltételezésen alapszik

A tudósok a hidegtűrésért felelős gént azért tudták kiszedni a halból, mert tudták, hogy melyik gén gyártja a fagyállóságért felelős fehérjét. Ugyanis nem a gén, hanem a fehérje az, ami a halat megmenti a megfagyástól. A gén hordozza a fehérjék tervrajzát és utasítja a sejtet, hogy milyen fehérjét termeljen, de a hidegtűrésért a fehérje a felelős.

A genetika általános elmélete, a genetikai determinizmus azt állítja, hogy minden egyes gén meghatároz egy, és csakis egy, rá jellemző fehérjét, vagy fehérje domént (a fehérje szerkezetének egy részét). Ezen az elméleten alapulva támadt az az ötlet, hogy egy bizonyos tulajdonságért felelős fehérje génjét ki lehet venni az eredeti (donor) szervezet genomjából, és át lehet tenni egy másik (a befogadó) szervezet genomjába. Azt remélték, hogy az új

szervezetben a beillesztett gén ugyanazt a fehérjét fogja termelni, mint amelyet a donor szervezetben is termelt.

Ennek az elméletek alapján kezdtek neki a Humán Genom Projektnek is. Mivel több, mint százezer emberi fehérjét ismerünk, a tudósok azt jósolták, hogy az emberi genom is kb. százezer génből áll. Amikor a szekvenálási munka befejeződött, kb. 30 ezer gént találtak. Ennyi gén jelenléte nemcsak hogy a százezer-féle fehérje jelenlétét nem tudta megmagyarázni a klasszikus genetikai determinizmus elve alapján, de azt sem, hogy mi a felelős az emberi faj sokrétőségét jellemző számtalan örökölhető tulajdonságért. Ennél még néhány növény is több gént tartalmaz, pl. a rizsnek is majdnem 50 ezer génje van. Kiderült, hogy a hiba nem az emberi gének számában, hanem az elméletben van. Úgy néz ki, hogy számos gén nem csak egyetlen meghatározott fehérjét, hanem többet is képes kódolni. Például, ugyanaz a gén a májban az enoláz enzimet, a szemben pedig a szemlencse egyik építő anyagát kódolja. A rekordot a *Drosophyla* nevű légy tartja egy olyan génnel, amiről bebizonyosodott, hogy minimum 16 tagú fehérje családot képvisel, de elméletileg akár 38016 fehérjét is elő tud állítani. Az emberi gének többsége két, vagy több fehérjét is kódolhat. Azoknak a humán géneknek a száma, amik csak egyetlen fehérjét kódolnak, nagyon kevés. Amíg nem értjük, hogy ez hogyan lehetséges, addig nem érthetjük meg a genetikai módosítással foglalkozó kutatókat érő váratlan eredményeket sem.

Spliceszómák (*spliceosomes*)

Ahhoz, hogy a sejt a gén-kódolta fehérjeszintézisét el tudja indítani, a DNS-nek át kell adnia a fehérje tervrajz másolatát az RNS-nek. Néha, még mielőtt a fehérjéket az RNS alapján az aminosavakból összeállíthatnák megjelennek a spliceszómák. Ezek olyan molekulák, amelyek felvágják az RNS-t, majd a részeket új sorrendbe rakhatják, de közben egyes részeket kihagyhatnak. Emiatt az aminosav-sorrend megváltozik. A sejt az így összeállított új *m*RNS-sel már nem a DNS tervrajza alapján dolgozik, és eltérő fehérjéket készíthet. Képzelnék el, hogy a spliceszómák olyan minőségellenőrök, akik folyamatosan nézik az előttük elhaladó RNS-eket és összehasonlítják őket a maguknál tartott listával, amin a gyár számára az épp akkor szükséges RNS-ek leírása van. Ha olyan RNS-t látnak, amiből ez a hiánycikk könnyen elkészíthető, azonnal átalakítják az RNS-t, hogy létrejöjjön a hiányzó molekula.

A spliceszómák csak meghatározott helyen vágják és ragasztanak. Az alternatív vágás nem kötelezően következik be, de azt, hogy egy bizonyos GM-növényben megtörténik-e, ki lehetne zárni. Ha megtörténik, akkor a következményeket a biotechnológusoknak meg kellene vizsgálni, mert a spliceszómák az RNS molekulát sokféleképpen vágják fel és illeszthetik össze, így ugyanarról a DNS-szárlól vágott és ragasztott RNS-ekből különféle fehérjemolekulák készíthetők.

Amíg az volt az elfogadott elképzelés, hogy egy gén csak egyetlen fehérjét vagy annak egy doménjét termelheti, biztosak lehetünk abban, hogy az átvitt gén a kívánt, és csakis a kívánt fehérjére vonatkozó információt fogja átadni a befogadó szervezetnek.

Barry Commoner, a Queens College Természetes Rendszerek Biológiája nevű kutatóközpontjának a vezető tudósa szerint (5) „Az a tény, hogy a gének számos fehérjét is kódolhatnak... lerombolja egy többmilliárd dolláros üzlet, az élelmiszer-növények genetikai módosításának elméleti alapjait” A spliceszómák jelenlétében a GM-növénybe átvitt idegen génből származó *m*RNS „...a jövevény fehérje számos változatát hozhatja létre, és ezen kívül olyan fehérjéket is, amelyek nem is hasonlítanak az eredeti elképzelésre. Ennek beláthatatlan következményei lehetnek a környezetre és az egészségre” írta a Harpers magazinban.

A gének és a spliceszómák kapcsolata hosszú, évmilliárdos múltra tekint vissza, olyan hosszúra, mint a DNS evolúciója. Még nem ismerjük a gének és a spliceszómák együttműködését a különféle fajokban. Azt sem tudjuk megjósolni, hogy mi történik akkor, ha az egyik fajból származó gén egy másik faj spliceszómájával találkozik. Észreveszi-e egyáltalán a spliceszóma az új gént? Megpróbálja-e átalakítani, mintha a befogadó szervezet eredeti génjének másolata lenne? Mi lesz mindennek a következménye? Előfordulhat-e, hogy új mérgező, vagy allergiát kiváltó anyag, esetleg új betegséget előidéző fehérje keletkezik? Erre a kérdésre nem könnyű válaszolni. Az a fő probléma, hogy ezt csak kutatómunkával lehetne tisztázni, de ezzel a biotechnológiai ipar nagyjából adós maradt. Így az a feltételezés, hogy a spliceszómák valahogy elkerülik a genetikai módosítással átvitt idegen géneket nincs tudományosan alátámasztva. Ez a legjobb esetben is csak a bakteriális génekre vonatkozhatna, ugyanis a spliceszómák a növényi és állati sejtekkel ellentétben a bakteriális géneket nem változtatják meg. A gént csak akkor keverik meg, ha az bizonyos jelzésekkel (intronokkal) van ellátva. A jelzés üzenetet küld a spliceszómáknak, hogy engem dolgozz át!

A kutatók feltételezik, hogy a spliceszómák minden olyan gént megkevernek, ami ilyen jelzést visel, de békén hagyják a jelzés nélkülieket. A legtöbb növényi és állati génen van ilyen jelzés, de a bakteriális géneken általában nincs. Így a kutatók feltételezik, hogy a bakteriális géneket a befogadó szervezet spliceszómái békén hagyják. Ez annyit jelent, hogy a *Bt*-növényekben (amikbe a *Bacillus thuringiensis* baktérium toxinjának génjeit tették át) a spliceszómák a transzgéneket nem bántanák, mert nincs rajtuk jelzés. De amikor az első genetikailag módosított *Bt*-növényt megcsinálták, az átvitt gén nem dolgozott valami jól. Hogy több toxint termeljen a *Bt*-növény, a molekuláris biológusok jelzést akasztottak a *cry*-génre. Ugyanis azt találták, hogy ezek a jelzések nemcsak a spliceszómáknak szólnak, hanem megnövelik az előállított fehérje mennyiségét is. A jelzéssel ellátott gén valóban több fehérjét termelt. A kérdés az, hogy mi történik a transzgénnel, és felismerték-e a jelzést a spliceszómák? A *Bt*-növényekhez hasonlóan mesterséges jelzéssel látták el a baktériumból származó *glyphosate*-rezisztenciát kódoló ROUNDUP READY (RR) gént is. Ez a gén már a legtöbb szójában, sok kukoricában és repcében is jelen van. Azt a kérdést, hogy a spliceszómák megváltoztatták-e a jelenleg forgalomban lévő GM-növényekbe átvitt bakteriális eredetű transzgéneket, a jelenlegi tudásunk alapján nem lehet eldönteni. Megfelelő bizonyítékok hiányában nem fogadható el az a feltételezés, hogy a bakteriális gének a GM-növényben is csak egy, és ugyanolyan fehérjét szintetizálnak, mint amilyent a baktériumban. A spliceszómák és a génen lévő szignálok közötti összefüggések kutatása már 1974 óta folyik, és a *Human Genome Project* eredményeként minden szakembernek szembe kellene néznie a spliceszómákkal kapcsolatos eredményekkel.

A fehérjék szintézis utáni módosítása

Ha az új gazdaszervezetbe átvitt gének észrevétlenül suhantak el a spliceszómák szeme előtt és elkészült a transzgén alapján az új fehérje, még akkor is várhatnak ránk meglepetések. Az újonnan szintetizált fehérjék a fajtól és a sejt-típustól függően különféle módosításokon eshetnek át és módosító molekulákat vagy csoportokat szedhetnek fel. Ezek a molekulák segítenek abban is, hogy az egyes fehérjék a sejtben a helyükre kerüljenek.

Ezek a módosítások, azaz a fehérjére kerülő molekulák lehetnek szénhidrátok, zsírok, foszfátok, szulfátok stb. Ezekből minden sejt saját repertoárral rendelkezik. Ezek a molekularészek eltérők lehetnek a szervezet különböző részeiben. Lehetséges, hogy ugyanaz a fehérje molekula a májban másfajta kiegészítőket vesz fel, mint az agy idegsejtjében. Ezért ugyanannak a fehérjének más lehet a térszerkezete, a stabilitása és esetleg a biológiai hatása is módosulhat a test különböző szerveiben.

Az tehát a kérdés, hogy a rovarölő-hatású toxikus fehérjét kódoló idegen gén alapján gyártott fehérje felvesz-e kiegészítő molekularészeket a *Bt*-kukoricában – például a kukoricára jellemző cukrokat? Megváltozik-e ettől a kukorica termés minősége? Ugyanazt a kiegészítőt veszi-e fel a fehérje a növény gyökérében, levélében, szárában, termésében, vagy másféléket? Megváltoztatják-e ezek a fehérje viselkedését? Ez ismét kísérletesen megközelíthető kérdés, amit esetenként el kellett volna dönteni. Mégsem tudjuk.

A fehérjék kísérői, a saperonok

A fehérjék biológiai hatását az aminosav sorrenden és a hozzájuk kapcsolódó molekulákon kívül a fehérje alakja is befolyásolja. Ez attól is függ, hogy az újonnan szintetizált fehérje szerkezete hogyan alakul. A fehérje akkor látja el jól a feladatát, ha a frissen szintetizált szalagszerű molekula meghatározott térszerkezetűvé tekeredik fel. A korábbi elképzelés szerint a fehérjemolekula önmagától mindig helyesen tekeredik fel, mert az aminosav sorrend eleve meghatározza a térszerkezetet. Ma már tudjuk, hogy nagy valószínűséggel a szintézis után magára hagyva a legtöbb fehérje hibásan csavarodna fel. A rosszul feltekeredett fehérjék nem képesek a feladatukat ellátni. Ezért a sejtben a szintetizálódó fehérjékhez egy másik, *saperon* nevű fehérje is kapcsolódik, hogy segítse a fehérjemolekula helyes feltekeredését. A saperonok tehát a fehérjék kísérői.

A genetikai módosítással itt is probléma van: mi történik, ha mondjuk egy baktériumból származó toxin-fehérje a kukorica saperonjával találkozik? Jól tekeri-e fel ez a saperon a toxinfhérjét? Természetesen ezt nem tudhatjuk előre, mert a saperonok eddig még sohasem találkoztak ezzel az új molekulával. Az Auckland Egyetemen dolgozó Peter Willis figyelmeztet bennünket, hogy a hibásan feltekerett sejtfehérjék bizonyos körülmények között neurológiai rendellenességekhez vezethetnek. Ez történik a kergemarhakór esetében is (6), amikor az egyik hibás szerkezetű fehérje a másik fehérjét is hibás szerkezetűvé alakítja (lásd a kergemarhakórt okozó prion nevű fehérjéket).

A genetikai módosításkor előre nem látható következmények kutatása eléggé elhanyagolt terület. A fehérjeszintézissel kapcsolatos komplex folyamatok az evolúció során alakultak ki és kiállták az idők próbáját. Amikor bakteriális géneket ültetnek át haszonnövényekbe (szójába, kukoricába, repcébe stb.) akkor a gén olyan új környezetbe kerül, amellyel az evolúció során még nem találkozott. Az idegen gén és új környezete között nem áll fenn kipróbált kapcsolat. Nagyon valószínű, hogy az esetleges zavarokat sem előre megjósolni, sem precízen leírni nem lehet. Azt viszont, hogy ilyen zavarok kialakulhatnak, számos kísérleti kudarc igazolja. Commoner ebből arra következtetett (5), hogy a „...*biotechnológiai ipar az újabb kísérleti eredményeket semmibe vevő, negyven évvel korábbi tudományos elméleteken alapszik*”. Ami a gének egyik fajból a másikba való áthelyezését illeti, ez önmagában is elég ok az aggodalomra. „*Amitől az emberek félnek az nem a kísérleti kutatás, hanem az az eszelős elhatározás, hogy anélkül, hogy a következményeket fel tudnánk mérni, a természetet használjuk kísérleti laboratóriumként*”.

Richard Strohman a Kalifornia Egyetem Biokémiai- és Molekuláris Biológiai Intézetének professzora ehhez annyit tett hozzá (7), hogy „...*krízisponton állunk. Azt már tudjuk, hogy melyek a genetikai determinizmus hibái, de arról fogalmunk sincs, hogy mik a hiányok és hogy az új eredményeket hogyan lehetne összefüggő elméletté kovácsolni*”.

A befogadó sejt génjeinek meghibásodása – elkerülhetetlen veszteségek

Amikor az idegen sejt beépül a genomba, drasztikus változások következhetnek be. Megvan annak a lehetősége is, hogy egyes génekben az öröklődésért felelős információ átrendeződhet.

Michael Antoniou, az egyik londoni orvosi egyetem Molekuláris Patológia Intézetének docense szerint (8) ez a génbeviteli módszer „... megváltoztathatja a befogadó szervezet genomját és ennek következményeit nem lehet előre kiszámítani.”

Még Marcia Vincent, a Monsanto egyik sajtószóvivője szerint is mindenki elismeri a gén-beillesztés környékén történő genetikai átrendeződés lehetőségét. A BBC „Tomorrow's World” című tudományos programja ennél sokkal nyíltabban beszélt (9): A génátalakítás egyszerűen „...a találat vagy a mellétrafálás esete”. A gének rossz pozícióban, esetleg több példányban, szétszóródva épülhetnek be a genomba. Az is lehetséges, hogy egy másik génbe épülnek be, és megszakítják annak folytonosságát. Ami még ennél is aggasztóbb, hogy labilissá tehetik a genomot, és ennek a következményei a jelenlegi tudásunk alapján kiszámíthatatlanok. Az egyes gének működését ki- vagy bekapcsolhatják, és ennek is többféle hatása lehet. „...A gének megváltoztathatják a pozíciójukat, ami újfajta mérgező anyag keletkezéséhez vezethet. A kis mennyiségben jelenlevő mérgek termelése sokszorosára növekedhet, és az is előfordulhat, hogy egyes problémákat csak a génátalakítást követő ezredik generációnál veszik észre”- mondta Antoniou (8). Az átalakított DNS labilitása a génmanipuláció természetes velejárója (10). Ezt egy felmérés szerint 30 GM-termékeket előállító vállalat mindegyike tapasztalta. Az újonnan kifejlesztett DNS-csip technológiával lehetőség nyílik a genomban bekövetkezett változások kimutatására. Ezzel a módszerrel meg lehet vizsgálni, hogy az újonnan beültetett gén milyen hatással van a többire. Az egyik ilyen kísérletben a gének 5 %-ában mutattak ki eltéréseket. Ez azt jelenti, hogy a transzgén beültetése minden huszadik gén működését előre nem látható módon megváltoztatta.

Schubert szerint (11) a kiszámíthatatlan változások nagyon is valóságos veszélyt jelentenek, de ezeket a genomban bekövetkező változásokat a DNS-csipekkel kísérletezőkön kívül sokan nem veszik figyelembe. Hozzátette még, hogy „...a génekifejeződés megváltozásának a fehérjeszintézisre gyakorolt hatását sem lehet előre kiszámítani.”

A genomba beépülő transzgén által előidézett változásokat mutációnak hívják. Ilyen mutáció okozott a génterápián átesett gyermekekben leukémiát (12).

A transzgén pozíciójának a meghatározása

Jelenlegi tudásunk szerint megjósolhatatlan, hogy az idegen gén hová kerül a genomban, noha ez döntő fontossággal bírhat az új GM-növényben. Attól függően, hogy a transzgén hová épül be a DNS-be, számos gén működését hibásíthatja meg.

+ Ha a transzgén egy a genomban található gén közepébe épül be, idő előtt kikapcsolhatja annak működését.

+ Ha a beépülés olyan génbe történik, amely valamilyen toxin termelését akadályozza, akkor a génmanipuláció eredményeként beindulhat a toxin-termelés.

+ A Chicagói Egyetem kutatói felfedezték (13), hogy a mustár *Brassica* növény család kereszttbeporzási képessége attól függően változott, hogy az idegen gén hová került. A beépülés helye azt is meghatározta, hogy milyen jól működött a bevitt gén. Például, amikor a kutatók a dohányban és a petúniában ki akarták kapcsolni a virág színéért felelős gént, azt remélve, hogy ezzel a virágok azonos színűek lesznek, azt tapasztalták, hogy a virágok színe és mintázata attól függően változott, hogy hová épült be az idegen gén. Újabb meglepetés várta őket, amikor a virágok színe megváltozott a virágzás során. A beültetett gének közül néhány kikapcsolt. A virágok esetében a transzgén elhallgattatása, vagy kikapcsolása a környezeti hatásoktól függött.

A promóterek és a gének ki-és bekapcsolása

A ma forgalomban lévő GM-növények többségében a karfiol-mozaikvírus 35 S promóterét (*CaMV 35S*) használják kapcsolóként, ami a transzgént a növény minden egyes sejtjében állandóan bekapcsolva tartja. Ha egy baktériumból a rovarölő hatásért felelős gént átrakják a kukorica DNS-ébe, akkor annak ott nincs „munkaköri leírása”. A használt promóterhez kapcsolt gén állandóan a bekapcsolt állásban van. Ezzel eddig a befogadó DNS és a sejt még sohasem találkozott.

Egyes molekuláris biológusok arra figyelmeztetnek, hogy ez a gyártási kényszer kimerítheti a sejt készleteit és energiáját. Nem lehet tudni, hogy emiatt a sejtben milyen fontos feladatok hanyagolódnak el, és hogy különösen hosszútávon mi lesz ennek a következménye. Mivel a karfiol-mozaikvírus 35S promótere a sejt saját DNS-ének normális működési rendszerén kívül operál, sok kutatónak az a véleménye, hogy ezt a kapcsolót nem lenne szabad génmanipulációra használni és be kellene tiltani. Egyik ok az aggodalomra az, hogy ez a promóter néha nem csak a transzgént kapcsolja be, hanem a sejt saját génjeiből is néhányat. Ez annyit jelent, hogy azok a gének, amelyeknek nyugvó állapotban kellene lenniük, bekapcsolhatnak. A *CaMV 35S* promóter néha még más kromoszómán lévő, azaz más genetikai egységen található géneket is bekapcsolhat. Az eredmény olyan fehérjék szintézise lehet, amelyekre a sejtnek nincs is szüksége és esetleg még károsak is.

A kutatások azt is mutatják, hogy a karfiol-mozaikvírus promóter a DNS-ben ún. „forró pontokat” hozhat létre. Ez azt jelenti, hogy a DNS egy szakasza, esetleg az egész kromoszóma instabillá válhat.

A karfiol-mozaikvírus promóter más veszélyt is rejtegethet. Egyes laboratóriumi kísérletek azt mutatták, hogy ha különböző vírus-részeket összekevernek, akkor új vírusok keletkezhetnek. Amikor a genetikailag módosított növényeket vírus-fertőzött rovarok támadják meg, fennállhat annak a veszélye, hogy új, fertőző vírusok keletkezhetnek.

Hogy ezt megérthessük, vissza kell térnünk a genetika elméletének fejlődéséhez. Az emberi DNS-nek csak kb. 1,5 %-át azonosították géneként, a többit felesleges, avagy szemét (*junk*) DNS-nek hívták. Úgy gondolták, hogy ez a DNS a törzsfajlás során maradt vissza. A biotechnológusok azt hitték, hogy ha a transzgént ezekbe a DNS-szakaszokba viszik be, az semmiféle veszéllyel sem jár, bár ez egyáltalán nem biztos. A feleslegesnek gondolt DNS darabokról kiderült, hogy nagy részük nyugvó vírus, vagy vírusmaradék. Nem lehet tudni, hogy ezek a szakaszok miért maradtak meg a genomban. Egyesek szerint lehetséges, hogy ezeknek a visszamaradt DNS daraboknak a jelenléte a funkcionálisan aktív géncsoportok között előnyt jelenthet a sejt számára. Valószínű, hogy ezeknek a virális DNS-daraboknak a kémiai szerkezete sérült, és normális körülmények között legtöbbször elvesztette az újra-aktiválódás képességét. Azonban előfordulhat, hogy némelyikük újra bekapcsolható.

A biotechnológusok az előkutatások során nem zárták ki azt a lehetőséget sem, hogy a karfiol-mozaikvírus promóter a nyugvó vírusokat aktiválhatja. Így a genetikailag módosított kukoricában, szójababban és a többi növényben ez a promóter elősegítheti, hogy a vírúsgén horizontális génátvitellel átkerülhessen egyik fajból a másikba. Ha az ember genetikailag módosított növényt tartalmazó élelmiszert fogyaszt, akkor fennállhat annak a veszélye, hogy a táplálékban lévő karfiol mozaikvírus promóter a bélhámsejtekben hozzákapcsolódhat az egyik nyugvó vírus DNS-éhez és azt aktiválhatja. Bár erre nem tudunk példát, hiszen ilyen jellegű kutatásokat eddig még nem végeztek, de fennáll a nyugvó vírus aktiválódásának és az új vírusok keletkezésének a lehetősége, ezért ezt a biotechnológusoknak kísérletesen meg kellett volna vizsgálniuk. „*A karfiol-mozaikvírus – a tömegszerencsétlenség receptje*” című cikkében Ho, Ryan és Cummins (14) azt írja, hogy a *CaMV* promóter azon kívül, hogy képes a nyugvó

vírusokat aktiválni, horizontális génátvitellel új összetételű vírusokat is tud kreálni. Ha a genetikai módosítás eredményeképpen új növényi vírusok jönnek létre, akkor annak a lehetőségét sem zárhatjuk ki, hogy ezek az érintett növényben járványokat okozzanak. A helyzet hasonló lehet a genetikai módosítás eredményeként keletkezett állati vírusokkal is.

Horizontális génátvitel

Horizontális génátvitelről akkor beszélünk, amikor a gének egyik fajból a másikba kerülnek. Bár ennek a folyamatnak a fontossága nyilvánvaló, mégis nagyon kevés ilyen jellegű kísérletet végeztek. Ezek közül az egyik legjobban dokumentált szabadföldi kísérletet Frank Gebhart és Kornelia Smalla végezte genetikailag módosított cukorréppal a németországi Növényi Virologiai, Mikrobiológiai és Ökológiai Intézetben (15). A cukorrépat rhizomania-ellenállóvá tették. Az ehhez szükséges transzgénhez markerként a kanamycin-rezisztencia gént kapcsolták. Arra voltak kíváncsiak, hogy a transzgén kimutatható-e a talajban és átkerülhet-e a növényből a talajbaktériumokba. Annak ellenére, hogy már nyolc éve több millió hektáron termelnek GM-haszonnövényeket, eddig ez volt az egyetlen olyan kísérlet, amiben a horizontális génátvitelt nem csupán közel rokon fajok között vizsgálták. Még két évvel a GM-cukorrépa termesztése után is kimutatható volt a talajban a transzgén. Ez a fontos eredmény azt bizonyította, hogy a transzgén-DNS annyira stabil, hogy a természetben még évek alatt sem bomlik el. Másfél évvel a betakarítás után a talajból még mindig több kanamycin-rezisztens baktérium kolóniát mutattak ki. Bár magyarázatként felvetették annak a lehetőségét is, hogy ezek a talajbaktériumok már eleve antibiotikum-rezisztensek lehettek, de mivel hét telep közül kettő a transzgént is tartalmazta, ez a magyarázat nem valószínű. Azt is felhozták ellenetesként, hogy a transzgén csak rátapadt a baktérium felszínére, és nem épült be a genomba. Avval a kísérlettel, amiben a transzgénhez sterilizálatlan talajt adtak négy napon át és naponta izolálták a bakteriális DNS-t, ezt a lehetőséget is kizárták. Ugyanis azt találták, hogy az első napon csökkent, de utána folyamatosan nőtt az izolátumban a transzgén mennyisége. Ez csak akkor lehetséges, ha a transzgén bekerült a baktériumba és az így keletkezett GM-baktérium kezdett szaporodni. A szerzők az eredményből azt a következtetést vonták le, hogy „*a kompetens baktériumok felvehetik a transzgént*”. Ez egyértelműen azt jelenti, hogy bekövetkezett a horizontális génátvitel.

A transzgén a táplálékból a szájban is átkerülhet az ott élő baktériumokba.

Mercer és Flint (16) az aberdeeni Rowett Intézetben emberi nyállal keverték össze genetikusan módosított plazmid DNS-t. Egy óra múlva a kémcsőben az eredeti DNS-nek 6-25 %-a nem bomlott még le. Ennél is fontosabb volt az a megfigyelésük, hogy amikor az egyik szájban élő baktérium faj egyedeit összekeverték a részben lebomlott transzgénnel, a baktérium rövid időn belül (kb. tíz perc alatt) transzformálódott (felvette és beépítette a transzgént a saját genomjába). Ez egyben azt is jelenti, hogy a genetikailag módosított növényekből az antibiotikum rezisztenciát hordozó markergén étkezéskor átkerülhet a szájban és az emésztőcsatornában élő baktériumokba.

Nagy-Britanniában a leedszi egyetemen John Heritage (17) vezetésével azt vizsgálták, hogy a kérődzők gyomrában a GM-tápból a transzgén átkerülhet-e a bendőbaktériumokba? Úgy találták, hogy a bendőben a transzgén gyorsan lebomlik, de ez a rövid idő is elég arra, hogy a bendő-baktériumok felvegyék a transzgént, azaz bekövetkezzen a génátvitel. Így ha a GM-takarmányban antibiotikum rezisztenciát kódoló markergén van, akkor a kérődzők bendőjében élő baktériumok is antibiotikum-rezisztenssé válhatnak.

A legmeglepőbb kísérleti eredményeket a kölni egyetemen Dörfler professzor csoportja kapta (18). Ők terhes egereket tápláltak egy bizonyos fajta génnel és azt találták, hogy ez a gén

megjelent az embriók agyában. Ez két dolgot bizonyított: az egyik az, hogy a DNS ahelyett, hogy a gyomorban lebomlott volna, felszívódott a bélből; a másik, hogy a gén bekerült a magzati agyba. Az agyat a vér-agy gát védi az idegen anyagok bejutásától. A magzatot pedig a méhlepénynek kellene megvédenie minden idegen behatástól. Ennek ellenére, a DNS képes volt ezeken az alapvető védőrendszereken is keresztüljutni. Dörflerék egy másik kísérletben arra voltak kíváncsiak, hogy a DNS hogyan bomlik le a bélben. Elhatározták, hogy összehasonlítják a szója levelében található fehérjékhez kötött DNS, és egy a természetben is előforduló, de mesterségesen szintetizált, csupasz DNS lebomlását. A természetes DNS-t 49 óráig lehetett a vékonybélben kimutatni. Azt találták, hogy az a DNS, amihez fehérjék és egyéb molekulák voltak kötve sokkal tovább maradt a bélben és sokkal lassabban bomlott le, mint a csupasz DNS. Így az ilyen DNS-nek sokkal nagyobb az esélye arra, hogy átkerüljön a bélbaktériumokba, mint a csupasz DNS-nek (19).

A newcastle-i egyetemen (20) hét olyan beteggel végeztek kísérletet, akiknek a vastagbélét valamilyen megbetegedés miatt kioperálták. Ezekben az emberekben a vékonybél végét a hasfalon át kivezték, így a táplálék megemésztetlen része (a béltartalom) a bélfalhoz erősített cserélhető zacskóban gyűlik össze. A hét betegnek egyszeri alkalommal genetikailag módosított szójából készült ételt adtak, és megnézték, hogy milyen mértékben bomlott le a belükben a transzgén DNS. Bár különböző mennyiségben, de minden egyes beteg béltartalmában teljes hosszágában ki lehetett mutatni a GM-szója transzgén szekvenciáját (20). Néhány mintából még négy átoltás után is kimutatható volt a szója transzgenje. Ez a kísérlet azt bizonyítja, hogy a GM-szójába átvitt transzgén a vékonybélben nem bomlik le teljesen. Még ennél is riasztóbb megfigyelés volt az, hogy a bélbaktériumok képesek a transzgent felvenni és átadni az utódaiknak. Eszerint, ha csak egyetlen alkalommal fogyasztunk GM-növényből készült ételt, még akkor is átkerülhet az antibiotikum-rezisztenciát kódoló gén az ember belében élő baktériumokba és átadhatja az antibiotikum-rezisztenciát. A kísérlet másik felében egészséges emberekkel etették ugyanazt a GM-szójából készült ételt, de a székletből már nem tudták a transzgent kimutatni. A transzgén a vastagbélben vagy elbomlott, vagy bekerült a bélbaktériumokba. Ez csak annyit jelent, hogy a kiürülő széklet már nem szennyezi a környezetet, de azt nem bizonyítja, hogy az antibiotikum-rezisztenciát kódoló gén a GM-növényből nem kerülhet át a bélbaktériumokba.

A newcastle-i kísérlet sajnos az egyetlen, ellenőrzött körülmények között embereken folytatott kísérlet, és ékesen bizonyítja a horizontális génátvitel lehetőségét. Az ellenőrzött körülményeket azért fontos hangsúlyozni, mert jelen körülmények között szinte mindannyian kísérleti nyulak vagyunk egy gigantikus, de rosszul tervezett kísérletben, ugyanis tudtunkon és akarattunkon kívül GM-élelmiszereket (többnyire GM-szóját) fogyasztunk. Ráadásul ebben a kísérletben a körülményeket sem lehet megválasztani és tudományosan kiértékelni, mert nincs megfelelő kontroll (azaz összehasonlítási alap). Ugyanis senki sem tudja, hogy mikor, mennyi és milyen GM-növényből készült élelmiszert fogyaszt. Ennek oka az, hogy Észak-Amerikában a GM-tartalmú növények természetűek, de a belőlük készült élelmiszerek jelölése nem kötelező.

Daganatos és egyéb betegségek

A bélhámsejtekben a karfiol mozaikvírus promóter nemcsak a vírusokat kódoló, hanem a sejtekben jelenlevő más géneket is aktiválhat. A GM burgonyát tartalmazó tápon tartott patkányok gyomor- és bélfalának szövettani vizsgálatakor kiderült, hogy a *CaMV* és a genetikai módosításban használt más DNS darabok hatására a hámsejtekben felgyorsul a sejtosztódás. Ennek alapján Stanley Ewen az aberdeeni egyetem vezető patológusa úgy gondolja, hogy a transzgenek a bélben nem szabályozható növekedést válthatnak ki (21), ami végül is

vastagbélrák kifejlődéséhez vezethet. A Skót Parlament Egészségügyi Bizottságához eljuttatott beadványában (22) figyelmeztetett annak a veszélyére, hogy a genetikailag módosított növények szabadföldi parcellás termesztése során a transzgén átkerülhet a táplálékba és a talajvízbe és ezen keresztül bekerülhet az ember emésztőcsatornájába. Ennek különösen fontos lehet az egészségre gyakorolt esetleges káros hatása Észak-Kelet Skóciában, ahol a bélrendszerrel kapcsolatos betegségek aránya többszöröse az országos átlagnak.

Az a laboratóriumi vizsgálatok során tett megfigyelés, hogy a *CaMV* promóter kölcsönhatásba léphet az emberi bőrsejtekkel, további esetleges veszélyre hívta fel a figyelmet. Ugyanis a GM-anyagból a promóter még akkor is át tud kerülni a bőrsejtekbe, ha közös kémcsőbe rakjuk azokat, vagy ha az ételkészítés során érintkeznek egymással. Ez azért lehetséges mert a GM- növényekben a *CaMV* promótert kódoló DNS darab szabad, és nincs a fehérjeköpennyel körülvéve, mint a karfiol mozaik vírusban. Így a GM-élelmiszerek esetén a *CaMV* promótert a fehérje köpenyre specifikus ellenanyagok nem tudják semlegesíteni.

A Brit Kormány Élelmiszerbiztonsági és Minőségi Csoportja levelet írt az amerikai Élelmiszer és Gyógyszerbiztonsági Bizottsághoz (*FDA*) a GM-virágpor belélegzésének esetleges veszélyeivel kapcsolatban. A levélből kiderült, hogy a GM-virágpor belélegzése nem csak a földeken a GM-növényekkel dolgozó munkásokra, hanem a lakosságra nézve is veszélyes lehet, hiszen a virágport a szél messzire elviheti.

A biotechnológiai ipar évek óta állítja, hogy a GM-élelmiszerek esetében a horizontális génátvitel nem fordulhat elő. A kutatókat és a lakosságot a kísérleti bizonyítékok hiányában azzal nyugtatják, hogy a karfiol-mozaikvírus-promóter csak növényi sejtekben működik, állati sejtekben nem aktív. Bár ennek a lehetőségét egyszerű kísérletekkel el lehetne dönteni, a kérdést mégsem vizsgálták.

Ha valaki a karfiol-mozaikvírus promóter használatát aggasztónak találja, a magyarázat így szól: az emberek évszázadok óta eszik a mozaikvírussal fertőzött kereszteseket (karfiolt, káposztát, brokkolit stb.) és ettől senkinek sem esett baja. Ez igaz, de nem lehet egyenlőségjelet tenni aközött, hogy az ember az egész vírust eszi, vagy csak a vírustól kivont szabad DNS-t. Amikor a vírust esszük, annak a genetikai anyaga a vírus fehérjetokjába van burkolva, és ez az, ami meghatározza a vírus specifikitását (azt, hogy milyen fajokat és egyedeket képes a vírus megtámadni). A specifikitás az evolúció során alakult ki úgy, hogy a karfiol-mozaikvírus tokja csak a káposztaféléket betegíti meg a káposzta kártevőinek segítségével, de az emberi sejtek többségéhez nem kötődik. Így ha karfiol-mozaikvírussal fertőzött növényeket eszünk, a vírus változatlanul megy át a szervezetünkön. Ezzel szemben ha a vírus genetikai anyagát szabadon, a vírusköpeny nélkül esszük, akkor a vírus-promóter és esetleg más hozzácsatolt DNS darabok is átkerülhetnek a GM-növényből a bélhámsejtekbe és a vérbe, sőt ahogy azt Dörfler professzor kísérletéből is láttuk (18), néha még a vér-agy gáton és a méhlepényen is átjuthatnak. Ezért a génmódosításhoz használt csupasz, vagy szabad DNS más veszélyeket hordoz, mint a vírus. Ezeket azonban még nem vizsgálták meg kellőképpen.

A csupasz DNS

A biotechnológiai kutatás és a GM-növények termesztése során nagyszámú új, fehérjéhez nem kötött, szabad, vagy csupasz DNS keletkezik és kerül a környezetünkbe. Ezek a szerkezete és nagysága változó. Lehetnek aránylag kicsik (oligonukleotidok), de az is lehetséges, hogy több millió nukleotid-párból állnak. A csupasz DNS-molekulák különböző kombinációkban patogén baktériumokból, vírusokból és egyéb parazitákból vagy más élő organismusokból eredő géneket tartalmazhatnak. Legtöbbjük előzőleg nem is létezett, ezért

ezek tulajdonképpen az élő szervezetek számára nem mások, mint idegen eredetű, szaknyelven xenobiotikus kémiai vegyületek.

A DNS-molekulák hosszú ideig megmaradnak a környezetben, beleértve az emésztő csatornát is, és alkalmasak arra, hogy horizontális génátvitellel más élőlények sejtjeit is transzformálják. Az így felvett DNS szakaszok beépülhetnek a sejtek genomjába és ennek következményei kiszámíthatatlanok. Feltételezik, hogy az antibiotikum-rezisztencia széleskörű elterjedéséhez hozzájárulhattak a GM-növények előállításához használt antibiotikum-rezisztenciát kódoló marker gének is, amelyek horizontális génátvitellel kerültek be a baktériumokba.

A jelenlegi engedélyezési rendszer és szabályozás nem veszi figyelembe az ezzel kapcsolatos veszélyeket. A biotechnológusok azzal érvelnek, hogy a GM-baktériumok közül csak az „ártalmatlanokat” engedik szabadon, és ezek nem jelenthetnek semmiféle veszélyt a környezetre. Úgy gondolják, hogy a már nem-élő baktériumok DNS-étől nem kell tartanunk. A biotechnológiai kutatásokat engedélyező hatóságok szerint csupasz DNS darabokkal csak ellenőrzött körülmények között, zárt rendszerekben (*contained use*) lehet dolgozni és ezeket „szabadon” nem használhatják. Ezzel szemben, a biotechnológiai ipar szerint a csupasz DNS molekulák biztonságosak és nem jelentenek semmiféle veszélyt a környezetre és nincs is szükség a szabályozásukra. Sajnos, ezt az állítást kutatási adat nem támasztja alá. Így nem tudhatuk, hogy a horizontális génátvitel szempontjából legfontosabbnak ítélt, és elképzelhetően veszélyes, nagymennyiségű csupasz transzgenikus DNS, ami a már elpusztított GM-baktériumokból hulladék formájában kerül ki, jelenthet-e valamiféle veszélyt a környezetre. Ennek a DNS-nek egy részét mint élelmiszert vagy takarmányt használják fel, műtrágyaként kiszórják a földekre, vagy egyszerűen kiöntik a szeméttelre. Az elővigyázatossági elv alapján a biotechnológusoknak erre vonatkozólag kísérleteket kellett volna végezniük, de ahelyett csak feltételezésekre támaszkodnak.

A GM-technológiával kapcsolatos egyéb problémák és megalapozatlan feltételezések

Az egyik alapvető feltételezés, amire a GM-technológia biztonságát alapozzák az, hogy a transzgen a befogadó szervezetben ugyanúgy viselkedik, mint a donor szervezetben. Mindezt tetézi, hogy a genetikai módosításhoz használt legtöbb transzgen nem ez a természetes gén, hanem annak mesterségesen szintetizált, vagy kurtított formája. Ugyanis beültetés előtt a bakteriális géneket úgy alakítják át, hogy a növényi génekhez hasonlóan viselkedjenek. Azonban sok olyan különbség van a két fajta gén között, amit figyelmen kívül hagytak. Például, nem vizsgálták meg részletesen, hogy a *cry*-gént-tartalmazó *Bt*-növények és *glyphosate* gyomirtónak ellenálló ROUNDUP READY-kukorica és -szója különbözik-e valamiben a természetes kukoricától és szójától. Ennek ellenére az engedélyezésért felelős hatóságok kételkedés nélkül elfogadták a biotechnológiai vállalatoknak azt az állítását, hogy a GM- és a hagyományos növények lényegileg azonosak. Sokan úgy gondolják, hogy az engedélyezési hatóságok rendkívül naivak a genetika és a molekuláris biológiai területén.

A növények genetikai módosításra való hajlama rendkívül különböző.

Egyes haszonnövények átalakításakor könnyebb, más fajokban elérni, hogy a növény a kívánt mennyiségű transzgen terméket előállítsa. Vannak olyan növények, amelyek hajlamosabbak arra, hogy veszélyes vegyületeket termeljenek, de a biztonsági vizsgálatok nem fektetnek elég súlyt az ilyen jellegű vizsgálatokra, annak ellenére, hogy génmódosításkor összetett és megjósolhatatlan kölcsönhatások léphetnek fel. Amikor a transzgent beültetik egy idegen genomba, az egész növény anyagcseréje megváltozhat, hiszen a génátültetéskor az ember nem

csak egy dolgot változtat meg. Minden változás hatni fog a növényben végbemenő biokémiai folyamatokra. Az is lehetséges, hogy az új gén egy sor olyan változást is elindít, amiről jelenleg még semmit sem nem tudunk. A gének befolyásolják egymást, és a fehérjék is hatnak egymásra is, meg a génekre is. A megjelenő fehérjék bizonyos géneket aktiválhatnak vagy elhallgattathatnak. Minden változással új kölcsönhatás jöhet létre, ami további változásokat okozhat.

Több gén egyszerre történő átültetésekor, amikor a szervezetbe nem csak egy gént, hanem egyszerre több gént raknak át, még nagyobb annak az esélye, hogy váratlan dolgok történjenek. Például a MONSANTO „NEW LEAF” nevű burgonyájába nyolc új tulajdonsággal rendelkező gént ültettek át. Ez a burgonya maga állított elő *Bt*-tartalmú rovarölő szert, ellenállt a vállalat gyomirtó szerének és számos növényi betegségnek, nagyobb volt a súlya és jobban bírta a sérüléseket is. A vállalat mégis úgy döntött, hogy ennek a GM-burgonyának a forgalmazását felfüggeszti, a felfüggesztés okának a megnevezése nélkül.

Az idegen megporzású növények új tulajdonságokra tehetnek szert, ha azokat a GM-növények porozzák be. Például Kanadában a GM-növényből történő génfelvétellel a vadon élő repce három különböző vállalat gyomirtó szerével szemben is rezisztenssé vált. Az így keletkező GM-növénybe bevitt gének és az általuk termelt fehérjék veszélyes kölcsönhatásba is léphetnek egymással. A hagyományos növényvédő szerek példáját használva könnyen megérthetjük, hogy milyen veszélyekről van szó. Ha a különféle permetszereket összekeverjük, akkor a hatékonyságuk bizonyos esetekben megsokszorozódhat. A kutatók véletlenül felfedezték, hogy a *cry*-toxint tartalmazó kukorica, repce és gyapot kártevők elleni hatékonysága megnő, ha azokat kismennyiségű antibiotikummal is bepermetezik. Olyan vizsgálatot viszont nem végeztek, ami megmutatta volna, hogy az állatokra, madarakra és emberekre is mérgezőbb-e ez a kombináció.

A GM-növényben az előre nem látható változások közül az egyik lehetőség az új toxinok termelése. A hagyományos növényekben gyakran kis mennyiségben előfordulhatnak olyan mérgező anyagok, amelyeknek ebben a koncentrációban az eredeti növényben ránk nézve láthatóan nincs káros hatásuk. Előfordulhat azonban, hogy a GM-növényben a genetikai módosítás során megnő ezeknek a káros anyagoknak a mennyisége. Így kockázatbecslés nélkül nem lehet megjósolni és kizárni annak a lehetőségét hogy a toxin-szint a baktériumokban, élesztőben, növényekben, vagy a transzgenés állatokban megnövekszik-e vagy változatlan marad a genetikai módosítás után. Ha a GM-növény termelte kémiai anyagok szintjében változás történik, mindaddig észrevétlenül növekedhet a toxinok koncentrációja, amíg esetleg ettől valaki meg nem betegszik. Különösen aggasztó, hogy a GM-élelmiszereknek nem csak azonnali, de elnyújtott káros hatása is lehet. Ezeket néha észreveszik, néha nem.

Az is előfordult, hogy a hatóságokhoz benyújtott adatok hibásak. Egy olyan esetről, ahol ezt észrevették, a brit *Sunday Independent* újság számolt be. Az újsághír szerint a MONSANTO-nál felcseréltek és összekeverték fontos, a növényvédő szernek-ellenálló kukoricára vonatkozó információkat, és a hibás adatokat nyújtották be az Egyesült Királyságban a genetikailag módosított növények engedélyezéséért felelős bizottsághoz. Amikor a bizottság tagjai észrevették, hogy a vállalat hibás adatok alapján akarta engedélyeztetni a terméket a MONSANTO-t felületes kutatással, szegényes adatértelmezéssel és a hozzáértés hiányával vádolták. Nem meglepő módon az alacsony színvonalú munka miatt a beadványt elfogadhatatlannak minősítették. Ez rendkívül aggasztó, mert ez nemcsak azt jelentette, hogy a MONSANTO-nál valaki valamit rosszul csinált, hanem azt is, hogy miután az USA-ban már engedélyezték ezt a kukoricát, az ottani hatóságnál senki sem vette észre ugyanezt a hibát.

Még ennél is aggasztóbb, amikor a forgalmazó vállalat nem vész észre olyan változásokat a GM-növényben amiknek a biológiai következményei esetleg döntő fontosságúak lehetnek. 2000 májusában egy olyan eset került napvilágra, amely az emberi hiba és az előre kiszámíthatatlan hatások kombinációjából jött létre. A MONSANTO genetikailag módosított szójababjáról van szó, ami ekkorra már hét éve volt a kereskedelmi forgalomban. A vállalat úgy tudta, hogy csak a *glyphosate*-rezisztencia génjét vittek át a szójába (természetesen a promóteren, markeren és az egyéb géneken kívül). A vállalat is nagyon meglepődött, amikor kiderült, hogy véletlenül még két másik géndarab is átkerült a szójabab genomjába.

Se Mater szerint (23), aki a Brit Génfigyelők Független Kutatócsoportja nevű szervezet igazgatója, „...ezek az eredmények azt bizonyítják, hogy a genetikai módosítás felületes dolog, és nem olyan pontos, mint amilyennek mondják”. Nemcsak, hogy a folyamatot nem lehet szabályozni, de még azt sem lehet előre tudni, hogy hány gént vittek át, milyen sorrendben és hová. Hozzátette azt is, hogy lehetséges, hogy a bekerült gén-darabok, vagy másolataik befolyásolhatják a többi transzgén működését és hatását, megváltoztathatják a növény kémiai összetételét, és ennek komoly hatása lehet a környezetre és az egészség biztonságára. Charlie Kronick, a Greenpeace szóvivője azt kérdezte, „... hogyha sem a vállalat, sem a hatóságok nem tudják, hogy milyen gének kerültek a szójába, mi mást nem tudnak még?”

Egy belga kutatócsoport kimutatta (24), hogy a véletlenül átvitt géntöredéken kívül a szójában van egy olyan, 534 bázispárból álló DNS-szakasz is, amely a módosítatlan szója genomjában nem fordul elő és nem volt benne az eredeti Monsanto beadvány adataiban sem. Ennek a DNS szakasznak biológiai jelentőségét senki sem kutatta és így erről csak találgatások jelentek meg a napilapokban.

A *New York Times* szerint (25) lehetséges az, hogy az új géndarab benne volt a szójában, de az eredeti DNS átrendeződött a genetikai módosítás során. Az is lehetséges, hogy a szója saját DNS-ének egyik szakasza elveszett, és emiatt más DNS került oda, ahol eddig ez a génszakasz nem fordult elő. Az újabb kutatások szerint van egy harmadik lehetőség is: a növény saját hibajavító enzimjei átrendezhették az idegen gén bázissorrendjét. Akármilyen is az oka, az új DNS-szakasz elég nagy ahhoz, hogy egy új fehérjét kódoljon. A kérdés az, hogy veszélyes-e ránk nézve ez az új fehérje. Jelenleg senki sem tudja, hogy tulajdonképpen mi ez az új DNS-szekvencia, mit termel és mi a hatása. A MONSANTO-t képviselő Tony Combes az újonnan felfedezett géndarab biztonságosságát azzal próbálta védeni, hogy az eredetileg elvégzett vizsgálatok melyek a GM-szójat biztonságosnak találták úgyszintén ezzel az extra DNS szakaszt tartalmazó szójával történtek, és ezek mind azt mutatták, hogy a szója biztonságos, ezért az extra DNS-darabok nem lehetnek ártalmasak.

Külön problémát jelent a GM-növényekkel kapcsolatban az is, hogy a különböző herbicid-rezisztens GM növények termesztésével megnőtt az ezekhez szükséges herbicidek használata anélkül, hogy ezeknek az egészségre és a környezetre gyakorolt hatását minden esetben kielégítően megvizsgálták volna. Így a manapság a genetikailag módosított növényeknek, mint pl. a *glyphosate*-rezisztens (ROUNDUP READY, RR) szójának a termesztéséhez használt *glyphosate* hatóanyagának az egészségre esetleg kifejtett hatása különösen nagy fontosságú lehet. Köztudott, hogy minden növényvédő szerre az engedélyezéskor előírnak egy maradványértéket (*MADI* értéket), amiről azt tartják, hogy még biztonságosan fogyasztható. Mielőtt a RR-szója forgalmazását engedélyezték volna az EU-ban, azt a megoldást választották, hogy a tagállamok, törvényeik szigorúságától függően, 8-20-szorosra megemelték a maradványértéket. Ennek a változtatásnak a bevezetését különösen nehéz megérteni mert a *glyphosate* megemelt szintjének a környezetre és az egészségre gyakorolt hatását nem lehet megállapítani anélkül, hogy a *glyphosate* humán toxicitását megvizsgálják, ez pedig nem történt meg. Az igazság az, hogy az új GM-növények termesztési technológiájával rendkívül nagy mértékben

megnövekedett a *glyphosate* használata. Emiatt az alacsony maradványérték nem teljesíthető és így a GM-szója nem is kerülhetne kereskedelmi forgalomba. Ez egyaránt sértené a gyártók és a termelők érdekeit is. A jelenlegi helyzet súlyosságát mutatja, hogy Dániában betiltották a *glyphosate* széleskörű használatát. A dán törvények megkövetelik, hogy a talajvíz- szennyezettség hivatalos mérés-adatait minden évben nyilvánosságra hozzák. A legújabb közzétett dán adatok szerint ugyanis a talajvizek *glyphosate* tartalma aggasztóan megnőtt, mert ez a hatóanyag vízoldható. A dán előrejelzések szerint, ha ezt a növényvédő szert nem tiltanak be, vagy legalább is nem korlátoznák, akkor az ivóvíz *glyphosate* koncentrációja 10 éven belül elérheti az egészséget veszélyeztető szintet.

Az engedélyező hatósághoz beadott anyag szerint a *glyphosate* a talajban 20 percen belül elbomlik. Ezt úgy állapították meg, hogy a laboratóriumban a talajmintát *glyphosate*-tal permetezték, majd vízzel összerázták, és ebből különböző időpontokban mintát vettek. A mintákat lecentrifugálták, hogy a talajt a víztől elválasszák, majd megmérték a talajban maradt *glyphosate* mennyiségét. Természetesen azt találták, hogy a talajban nincs *glyphosate*, hiszen az a vízben maradt. Az ipar szerint a *glyphosate*-rezisztens növények termesztése környezetbarát, és esetükben kevesebb növényvédő szert kell használni. Ez nagyon jól jön RR-növények forgalmazóinak és a *glyphosate* növényvédő szert használó farmereknek, mert azzal nyugtatják meg a lelkiismeretüket, hogy a *glyphosate* nem szennyezi a környezetet. Kétségtelenül, amikor *glyphosate*-tal permeteznek az egyéb növényvédő szerekből kevesebb szükséges, de nem a *glyphosate*-ból, mert az egyetlen kezelés – amit reklámoznak – sohasem elég. Ennek az az oka, hogy a gyomnövényfajok nem egyszerre csiráznak, így a kezelést ismételni kell. A megnövekedett vegyszerhasználat másik oka az, hogy ha a farmer RR-növényt termeszt, akkor a növényvédő szert nem kell olyan pontosan adagolnia, hiszen nem kell attól félnie, hogy a gyomnövényekkel együtt a haszonnövény is elpusztul. A *glyphosate* szélesebb körű használatának az elterjedését az is elősegítette, hogy ennek a szernek a szabadalmi joga már lejárt. Így a *glyphosate*-ot ma már más vállalatok is forgalmazhatják. Ez ennek a növényvédő szer árának a csökkenéséhez vezetett. Az is érdekes, hogy egyes biotechnológiai vállalatok a GM-vetőmag vásárolásakor szerződésben kötelezik a farmert, hogy a növényvédő szert csak tőlük veheti meg.

Hasonló problémákat vetett fel a *Bt*-növények széleskörű termesztése. A *Bacillus thuringiensis* (*Bt*) környezetbarát védekezési eszköz. Használatát még a biotermesztésben is engedélyezik és így senkinek sem lehet kifogása az ellen, hogy ennek a toxinnak a génjét genetikus módosításra használják fel. Bár ennek a szólamnak is van igazságmagja mert a biogazdálkodás valóban engedélyezi a permetezést a *Bt* baktériummal, de ez a módszer teljesen más elveken nyugszik, mint a *Bt*-növények használata.

A *Bt*-baktérium többféle protoxint, azaz mérgező előanyagot termel. A biogazdák a baktérium szuszpenzióját permetezik ki. Ebben ugyan benne van a *Bt*-toxin előanyaga, de ahhoz, hogy az előanyag toxinná alakuljon a kártevőknek először meg kell enniük és a bélrendszerükben (és csak ott) az előanyag méreggá alakul. A *Bt*-növényekbe a kurtított gént ültették be. méghozzá olyan formában, hogy ebből a növény minél többet termeljen. Ez a toxin a tarlómaradvánnyal nagy mennyiségben kerül a környezetünkbe.

Van más különbség is van a biogazdálkodásban kipermetezett és a GM-növényekben termelt „növényvédő szer” között. A biogazdaságokban a növényeket csak akkor permetezik, ha erre a sok kártevő miatt szükség van. A szer a növények felületére kerül, ahol a nap ultraibolya sugarai hatására hamarosan lebomlik vagy onnan a még nem hatástalanított szert le lehet mosni mielőtt a növény fogyasztásra kerülne. Ezzel szemben a *Bt*-növény minden egyes sejtje napi 24 órán át termeli a toxint és így ez felhalmozódhat a termőföldben. Ennek a lehetséges következményei ismeretlenek.

A közös tényező ebben a fejezetben az, hogy bár a biotechnológusok érvei tudományosnak látszanak ugyan, de csak azokat tudják meggyőzni, akiknek vagy hiányos a tárgyi tudása, vagy akik hinni akarnak ebben a technológiában. Ezt a „propagandát” nemcsak a biotechnológiai ipar szószólói fűjják, hanem bizonyos politikusok, és a tudományos világ egyes vezetői is. A biotechnológusok azt is hangoztatják, hogy a módosítás jelenleg használt módszere biztonságos és sem a környezetet, sem az emberek egészségét nem fenyegeti. Amikor a természetvédők megkérdezik, hogy hogyan lehetnek ebben olyan biztosak, akkor rendszerint tudományos fél-igazságokat vagy téves információkat kapnak válaszul. Ezeknek a tudományosnak hangzó torzításoknak a főbb pontjait igyekeztünk összefoglalni az alábbi táblázatban, ahol a propaganda-szólamot szembeállítottuk a valósággal:

PROPAGANDA	MI TÖRTÉNIK A VALÓSÁGBAN ?
A transzgén csak egy fehérjét kódol	A transzgén többféle fehérje szintézisében is részt vehet. Ennek a következményeit nem lehet előre megjósolni
A transzgén kódolta fehérje ugyanúgy fog viselkedni az új szervezetben, mint ahogy a donor szervezetben	Az idegen fehérje hibásan tekeredhet fel, vagy a sejtben összekapcsolódhat valamilyen más anyaggal és így megváltozhatnak a tulajdonságai. A befogadó szervezettől függően az új környezetben megváltozik a génexpresszió (a gének ki- vagy bekapcsolt állapota)
Egy idegen gén beültetése precíz és megjósolható. Az új gén nem okoz változást a genomban	Az idegen gén beültetése meghibásíthatja a befogadó sejt DNS-ének szerkezetét és géneinek működését. Ki- és bekapcsolhat géneket, eddig nem létező DNS szekvenciák kialakulásához vezethet és labilissá teheti a genomot
Az emésztés során a DNS elbomlik	A DNS nem bomlik el teljesen az emésztés során
A transzgén a táplálékból nem kerülhet át a bélbaktériumokba. Így az antibiotikum rezisztenciát kódoló gének használata biztonságos	Egyetlen GM-szóját tartalmazó hamburger fogyasztása elegendő ahhoz, hogy a transzgén átkerüljön a táplálékból a bélbaktériumokba
A transzgént bekapcsolva tartó promóter, a karfiol-mozaikvírus promóter egyedül a transzgén működését befolyásolja	A promóter a transzgént befogadó sejt genomjában más géneket is bekapcsolhat. Ez olyan fehérjék szintéziséhez vezethet, amelyek hatását nem lehet előre kiszámítani. A promóter a sejt genomjában található nyugvó vírusokat is aktiválhatja.

PROPAGANDA	MI TÖRTÉNIK A VALÓSÁGBAN ?
A karfiol-mozaikvírus promótere stabil	Ez a promóter destabilizálhatja a befogadó sejt genomját és rekombinációs forró pontokat képezhet. Ennek eredményeképp egyes gének, DNS részek, esetleg még a kromoszómák is képlékeny állapotba kerülhetnek. Így a DNS fragmentálódhat, egyes gének pozíciója megváltozhat úgy, hogy azok még más kromoszómákra is átkerülhetnek
A karfiol-mozaikvírus csak növényi sejtekben működik	Ez nem egy kísérletileg bizonyított tény. Sokak szerint (beleértve a saját nem közölt kísérleteinket) ez a promóter állati sejtekben is aktív.
A növények tápértéke nem változik génmódosításkor	Lényeges különbségeket figyeltek meg a szülővonal és a GM-növények összetételében (a fehérje tartalomban, az emésztést gátló fehérjék mennyiségében stb.)
A transzgén és az általa kódolt fehérje megjelenése semmiféle káros hatással sem jár a befogadó szervezetre és nem befolyásolja annak anyagcseréjét	Az idegen gén beültetése és az általa kódolt fehérje komplex, előre nem látható és számunkra ismeretlen kölcsönhatásokat idézhet elő a sejt működésében. A komplexitás csak fokozódik a több idegen gén egyidejű beültetésével
A GM-növények allergiát kiváltó hatása minimális	A GM-szója bevezetése óta a szója-allergia 50 %-al megemelkedett.

Ajánlott irodalom:

Mae-Wan Ho: Genetic engineering dream or nightmare? (1998) Gateway, Dublin

Andrew Rowell: Don't worry, it is safe to eat (2003) Earthscan Publications, London UK

A genetikailag módosított növények táplálkozástani megítélése

A GM-élelmiszerek ígért táplálkozástani- és egészségügyi előnyei

Növényeink kémiai összetevői nem mindig felelnek meg az emberi táplálkozás igényeinek. Ezen nem csodálkozhatunk, mert ezeknek az összetevőknek a növények egészséges fejlődését és a faj fennmaradását kell elősegíteniük. Elméletileg nincs akadálya annak, hogy a génátvitellel megváltoztassuk élelmiszernövényeink kémiai összetételét és tápértéküket az igényeinkhez idomítsuk. Jelenleg ez csak ígélet, mert az engedélyezett és forgalmazott első generációs, emberi és állati táplálékként felhasznált GM-növények tápértéke a legjobb esetben is csak megegyezik a nem-módosított növényvel. Az ipar ígérete szerint az úgynevezett második, illetve harmadik generációs GM-növények lesznek azok, amiknek a tápértékét majd megjavítják a genetikai módosítással. A biotechnológusok több ilyen GM-növény előállításán is dolgoznak. Érdekes ezek közül néhányat közelebbről is megvizsgálunk.

A magas-metionin tartalmú GM-szója

A táplálkozás szempontjából a szójával az a fő probléma, hogy a bennük lévő fehérjékben kevés a metionin, így az emlősök a szójafehérjéknek csak kb. a felét hasznosítják. Mivel a metionint az emlősök nem tudják szintetizálni, ezt az esszenciális aminosavat a táplálék szolgáltatja számukra. Ezért a fehérjék metioninban szegény hányada kárba vész. A probléma megoldása egyszerűnek látszott, ugyanis a brazil dió több metionin-dús fehérjét tartalmaz és ezek génjeit be lehetett vinni a szójába. A sikeres génátültetéssel a GM-szója metionin-tartalma kielégítővé vált. Szerencsére még mielőtt a GM-szója forgalomba került volna kiderült, hogy a génekkel a brazil dió allergiát kiváltó tulajdonságát is átvitték a GM-növénybe (26). A több metionint tartalmazó GM-szóját még a forgalmazás előtt biológiai tesztek vetették alá és kimutatták az allergizáló hatását, így el lehetett háritani az ezzel kapcsolatos veszélyeket. Egy hasonló esetben, amikor a tőkehal génnel módosított GM-paradicsom allergiát kiváltó tulajdonságait vizsgálták, már nem voltunk ilyen szerencsések. A tőkehalra allergiás betegek vére a GM-paradicsomra is allergiás reakcióval válaszolt (27). A tanulság ebből az, hogy a génátültetéssel nemcsak a kívánt sajátságokat vesszük át a módosítandó növénybe, hanem gyakran a nem-kívánatos tulajdonságokat is.

A sok béta-karotint tartalmazó GM-rizs (golden rice)

Délkelet-Ázsiában százmilliók szenvednek A-vitamin-hiányban, ami vaksághoz vezethet. A megoldás kézenfekvőnek látszott. A rizs az ázsiai népek fő tápláléka. Ha a rizsbe át tudjuk vinni a béta-karotinnak (az A-vitamin előanyagának) a szintézisében kulcsszerepet játszó enzimek génjeit, akkor ez megoldja az A-vitamin-hiány problémáját is. A svájci Potrykus professzor kutatócsoportjának sikerült is ezt a tudományos problémát megoldani (28) és a laboratóriumi üvegházban már termesztik a karotin sárga színéről arany rizsnek nevezett GM-rizst. Bár senki sem kétli, hogy ennek a kutatásnak nemes szándék volt az indítéka és mindenki elismeri, hogy az arany rizs rendkívüli tudományos teljesítmény, hiszen először sikerült teljes szintézis útvonalat átrakni a növénybe, de a GM-rizs haszna az A vitamin hiány gyakorlati megoldásban mégis problematikus.

Az arany GM-rizsből minden nap legalább 4 kg-ot kellene az embereknek fogyasztani ahhoz, hogy a napi A-vitamin szükségletüket kielégítse. Ráadásul, az A vitamin-hiányban szenvedő emberek szervezete csak akkor tudja a béta-karotint hatásosan felhasználni, ha táplálékuk fehérje-dús. Sajnos, az A-vitamin-hiánytól szenvedő emberek többsége a fejlődő világból kerül ki, és az élelmük gyakran fehérje-hiányos is. Ezért az arany rizs béta-karotinje az A-vitamin hiány problémáját csak részben oldaná meg. Az arany GM-rizs jó példája annak, hogy hogyan találjunk bonyolult megoldást egy egyszerű problémára. Miért részesítette a biotechnológiai ipar komoly anyagi támogatásban ezt a technológiát és költött el óriási összegeket az arany GM-rizs fejlesztésével kapcsolatos kutatómunkára, amikor az A-vitamin-hiány megoldására sokkal egyszerűbb és olcsóbb lehetőségek is kínálkoznának? Ha valóban az A-vitamin-hiány megszüntetésére kerestek volna megoldást, más eszközökhöz folyamodhattak volna. Az emberek szükségletét sokkal egyszerűbben lehetne fedezni a sárgarépa, vagy más béta-karotinben dús növény fogyasztásával.

A több fehérjét tartalmazó GM-burgonya

A több fehérjét tartalmazó GM-burgonyának kifejlesztését nemrégén jelentették be az indiai újságok, mint forradalmi módszert az indiai szegények fehérje-szükségletének fedezésére. Ez a GM-burgonya a disznóparéjból származó egyik fehérje génjét tartalmazza. Hogy ennek jelentőségét az emberi táplálkozásban világosan láthassuk, tudnunk kell, hogy a burgonyagumó nagy része víz, és nedves-súlyra vonatkoztatott fehérjetartalma csak kb. 2 %. Az ember napi fehérje szükséglete több száz grammra tehető. A géntechnológiával bevitt extra fehérje ezt csak olyan kevéssel növelte meg, hogy az új GM-burgonya fehérjetartalma hibahatáron belül azonos az eredeti burgonyáéval. Világos, hogy a bejelentett GM-burgonya semmiképpen sem tud javítani az éhező indiaiak sorsán, inkább ront rajta. Azon a területen, ahol a GM-burgonyát természetnek más, a több fehérjét tartalmazó növényeket (pl. babot, borsót stb.) tudnának termelni. Így ez a GM-burgonya inkább növeli a fehérje-hiányt, mintsem javítaná.

A GM-technológia szerepe a világ lakosságának élelmiszer-ellátásában

A biotechnológiai ipar egyik legfontosabb érve az, hogy az új GM-technológiával előállított haszonnövényekkel és a rájuk alapozott termelési módszerekkel annyira megnő a termelékenység, hogy megszűnik az éhezés a Földön anélkül, hogy az őserdőket kivágnánk, és új területeket vonnánk be a mezőgazdasági termelésbe. A biotechnológiai ipar milliőkat költ olyan GM-termékek propagálására, amelyek azt a látszatot keltik, hogy az iparnak az a fő célja, hogy a harmadik világban az éhező emberek életfeltételeit javítsa, és nem az, hogy függőséget teremtsen a mezőgazdaságban.

Nézzük a tényeket. A *FAO (Food and Agricultural Organization)*, az Egyesült Nemzetek Élelmiszer- és Mezőgazdasági Szervezete szerint a jelenlegi mezőgazdasági termelés bőven fedezi (120 %) a világ élelmiszerszükségletét. A becslések szerint ma közel 900 millió ember éhezik a Földön. Ez nem azért van így, mert nincs elég élelem, hanem azért, mert az emberek annyira szegények, hogy nem tudják sem megvenni, sem megtermelni az élelmüket. Még kevésbé tudnak versenyre kelni a gazdaságilag fejlett nyugati országok felvásárlóival, akik a szegényebb országokban olcsóbban megtermelt haszonnövény-felesleget a fejlett világ húsállatainak felhizlalására használják. A legtöbb harmadik-világbeli országban nincs sem lehetőség, sem infrastruktúra, hogy az élelmiszer-felesleget biztonságosan tárolják, vagy oda szállítsák, ahol élelmiszer-szűkében van a lakosság. Például, India jelenleg óriási búza-felesleggel rendelkezik, miközben emberek milliói éheznek az országban. Ezt a botrányt még tetézi, hogy a búza-felesleget tároló raktárak korszerűtlenek, és nem biztonságosak. Így a búza

jelentős része nem az éhező lakosság igényének a kielégítésére szolgál, hanem pocsékba megy a patkányok és egyéb kártevők miatt.

A jelenlegi előrejelzések szerint 2050-re a világ lakosságának száma kb. 50 %-kal megnő. A biotechnológiai ipar szerint a nagyszámú lakosság táplálkozási igényeit csak akkor tudjuk kielégíteni, ha a mezőgazdasági termelés is legalább ilyen arányban növekszik, és ezt csak és kizárólag a GM-növények széleskörű bevezetésével és az új termelési módszerekkel lehet elérni.

Nagyon nehéz megbízható és független kutatási adatokat találni az irodalomban arra, hogy a GM-termékek termesztésével valóban sikerült-e megnövelni a terméshozamot. A legmegbízhatóbb, tényekkel alátámasztott kutatási adatok a GM-szója termesztésére vonatkoznak. Az Egyesült Államokban a nebraskai egyetem kutatói két éven át négy különböző helyen vizsgálták, hogy a szója génmódosítása (és *glyphosate*-rezisztenssé alakítása) mennyire befolyásolta a terméshozamot. A kutatók öt egymás mellett termesztett GM-szója vonal hozamát hasonlították össze a szülővonaléval és az egyik bővebben termő, konvencionális szója fajtáéval is (29). Az adatokból világos, hogy a GM-szója vonalak hozama átlagosan kb. 6 %-kal volt kisebb, mint a szülővonalé, és 11 %-kal kevesebb, mint a bőven termő szójáé. 1999- és 2000-ben az Egyesült Államokban több, mint 10000 hektáron végeztek szabadföldi kísérleteket GM-, illetve nem-GM-szójával. Az eredményeket Charles Benbrook amerikai kutató statisztikai analízisnek vetette alá és azt találta (30), hogy a GM-szója hozama következetesen 5-10 %-al kevesebb volt, mint a nem-GM-szójáé. Az összehasonlító vizsgálatokban a GM-szója hozama 15-19 %-kal maradt el a bőven termő nem-GM-szójáétól.

A GM-szója kisebb terméshozamának valószínűleg három oka van. Az egyik, hogy a jelenleg forgalmazott *glyphosate*-rezisztens *RR*-szója eleve kishozamú tradicionális szójából ered. Ehhez adódott, hogy mind a genetikai módosítás, mind a *glyphosate* használata tovább csökkentette a terméshozamot. Ennél is súlyosabb negatív hatás volt az, hogy a genetikai módosítás lecsökkentette a szója stressz-tűrését, így a növény nehezebben viselte el a hőmérséklet-változást, a szárazságot, a talaj mikrobiális változásait, vagy a nyomelemek hiányát. Jelenlegi tudásunk szerint a stressz-érzékenység azért jött létre, mert amikor a szóját a *glyphosate*-rezisztencia génnel módosították, a bevitt transzgén-vektort nem tudták úgy irányítani, hogy ne zavarja meg a növény stressz-tűrését szabályozó enzimeinek génjeit. Másféle problémára hívták fel a figyelmet az arkansasi egyetem kutatói (31). Megállapították, hogy a *glyphosate*-rezisztens GM-szója termesztéséhez szükséges fokozott *glyphosate*-használat miatt a szója gyökerei rosszul fejlődtek és a gyökér nitrogénfixálási képessége lecsökkent. A szárazság, ami önmagában is képes a GM-szója terméshozamát 25 %-kal csökkenteni, ezt még tovább rontotta. Azt is megfigyelték, hogy a GM-szója termesztésével járó fokozott *glyphosate* használatakor megnőtt a talajban a toxin-termelése miatt veszélyes *Fusarium* gombák előfordulása. A gazdaságossági vizsgálatokkal kapcsolatban azt is meg kell említenünk, hogy a GM-vetőmag ára kb. 25-40 %-kal magasabb, mint a konvencionális szójáé. A csökkent hozam és a magasabb termelési költségek miatt valószínűtlen, hogy a genetikai módosítás elterjedjen a harmadik világban és segítsen a világ növekvő népességének élelem-ellátásában.

Hozam-csökkenést észleltek a GM-repcénél is a kanadai Saskatchewan Egyetem kutatói (32). A hagyományos repcével összevetve a *glyphosate*-rezisztens GM-repce hozama kb. 7,5 %-kal volt kisebb. A *cry*-toxint termelő *Bt*-kukorica az egyetlen olyan termék, ahol átlagosan néhány százalékos terméshozam növekedést tapasztaltak, különösen ott, ahol magas volt a kukoricamoly fertőzés. Benbrook szerint még a termelés kb. 2,6 %-osra tehető átlagos növekedése (30) sem kompenzálja a termelőket a GM-kukorica vetőmag magasabb áráért és a magasabb termelési költségeikért. Az adatok tehát nem támasztják alá azt az állítást, hogy a GM-termékek annyira megnövelik a terméshozamot, hogy a géntechnológia termékeinek bevezetésével a legelmaradottabb országokban is meg lehet szüntetni az éhezést.

A GM-növények termesztésének hatása a gyom- és rovarirtó szerek használatára

A biotechnológia egyik ígért előnye az, hogy a GM-növények bevezetésével a gyom- és rovarirtó szerek használatát szignifikánsan le lehet csökkenteni, ezért a GM-növények környezetre gyakorolt hatása pozitív. Ezzel szemben az *USDA* (az Amerikai Mezőgazdasági Minisztérium) négy éven keresztül összegyűjtött adatainak tárgyilagos és független analízise azt mutatta (33), hogy a GM-növények bevezetésével a gyomirtószer használata inkább megnőtt, minthogy lecsökkent volna. Még a ritka esetben tapasztalt némi javulás is csak rövidéletű volt, mert a nagymennyiségű vegyszer-használattal a gyomnövényekben és a kártevő rovarokban is felgyorsult a rezisztencia kifejlődése.

A biotechnológiai ipar szerint a *glyphosate*-tal és a *glufosinate*-tal (Finale 14 SL; Zopp) is csak egyszer kell permetezni az ezeknek ellenálló GM-növényeket. Az adatok viszont azt mutatják, hogy a GM-növények bevezetése óta szignifikánsan megnőtt mindkét vegyszer használata. Ezt jól lehet látni a *glyphosate*-rezisztens GM-szója esetében, ha a *glyphosate*-használatra vonatkozó adatokból a felső (főleg a GM-szója termesztéséhez használt) és az alsó (főleg egyéb növények termesztéséhez használt mennyiségeket) 10 %-ot hasonlították össze. Az adatokból kiderült, hogy a GM-szóját több gyomirtóval kezelték, mint a nem-GM szóját. Ezeknek a gyomirtó szereknek a használata évről-évre nő. Hasonló adatok találhatóak az irodalomban a *glyphosate*- vagy a *glufosinate*-rezisztens GM-kukorica esetében is. Meggyőzőek az eredmények a gyomirtó szer-rezisztens repcével is. Még a GM-növények termesztése iránt elkötelezett kanadai repce-ipar adatai is azt mutatták, hogy a GM-repce permetezéséhez 20 %-kal több vegyszert használtak, mint a nem GM-repchéhez. A jövő szempontjából különösen aggasztó, hogy bizonyos gyomok a használt gyomirtó szerrel szemben rezisztenssé váltak, és hogy ezeket ki lehessen irtani, ahhoz vagy a kipermetezett gyomirtó szer mennyiségét kell emelni, vagy más hatóanyagokat kell használni.

A rovarirtó szernek ellenálló GM-növények közül a legfontosabbak a különböző *cry*-toxinokat termelő GM-kukorica- és a GM-gyapot vonalak. Ha a kukoricát a *cry*-toxinnal módosítják, akkor védetté válik az európai kukoricamoly kártétele ellen és elvileg kevesebbszer kell rovarirtó szerekkel permetezni, mint a hagyományos kukoricát. Ezzel szemben a rovarirtó szer használatának statisztikai analízise azt mutatja, hogy a rovarirtó szerek alkalmazása csak kismértékben csökkent. Noha az USA-ban a *Bt*-kukoricát minden évben egyre nagyobb területen termesztik, a rovarirtó szerrel permetezett és a nem-permetezett kukorica földek aránya Benbrook szerint 1995 és 2000 között 6,7 %- és 7,3 % között maradt (33). Itt jegyezzük meg, hogy jelenleg Magyarországon ez a kártevő olyan kevés kárt okoz, hogy gyakorlatilag sehol sem védekeznek ellene. Ezért a *Bt*-kukorica hazai kipróbálása során nem létező problémára keresnek megoldást.

A *Bt*-gyapot termesztésekor, némi sikert könyvelhetett el a biotechnológiai ipar, mert az Egyesült Államokban az összes termőföldre kipermetezett rovarirtó szerek mennyiségének átlaga csökkent. A siker államról államra változott. Amíg néhány államban a *Bt*-gyapot bevezetésével majdnem teljesen elkerülték a rovarirtó szerek használatát, addig a többi államban a kipermetezett mennyiség megduplázódott. Ugyanis a vegyszerhasználat attól függött, hogy milyen kártevők jelentek meg az adott területen. A *Bt*-gyapot termelését sikerként könyvelték el ott, ahol a kártevők (hernyó-félék) a toxin hatás-spektruma alá tartoztak, és kudarcnak ott, ahol olyan kártevők jelentek meg, amelyek ellen nem nyújtott védelmet a *CryIA*-toxin. Azokban az országokban, ahol a *Bt*-növényeket csak kisebb területeken termesztették, mint pl. Kínában vagy Ausztráliában, hasonló megfigyeléseket tettek.

A Bt-rezisztencia kifejlődése

A legfőbb probléma a *Bt*-növények bevezetésével várhatóan az, hogy felgyorsítják a kukorica és gyapot kártevőiben a *cry*-toxin rezisztencia kifejlődését. Ez érthető, hiszen a *Bt*-növények minden egyes sejtje termeli a toxint, így a szántóföldek *cry*-toxin koncentrációja eddig soha nem látott mértékben nő. A rezisztencia kifejlődése a *cry*-toxin hatásosságának megszűnéséhez vezet, ami nemcsak a *Bt*-toxinra alapozott GM-növények termesztésében okozhat komoly károkat, de a biotermesztésben is, mert hatástalanítja ezt a fontos védekező szert is. A biotechnológiai ipar azzal érvel, hogy ha a permetezés a *Bacillus thuringiensis* készítményekkel a biotermesztésben elfogadható, akkor a *cry*-toxint termelő növények termesztését is el kell fogadni. Ezzel két olyan módszer közé tettek egyenlőségjelet, amelyek alapjukban különböznek egymástól.

A *cry*-toxin hatékonyság csökkenésének veszélye olyan nagy, hogy még a biotechnológiai ipar és a szabályozó hatóságok is óvintézkedéseket javasoltak és próbálják ezeket bevezetni. Ezeknek az intézkedéseknek az a céljuk, hogy lelassítsák a *Bt*-rezisztencia kifejlődését. Ennek értelmében az amerikai mezőgazdasági minisztérium megköveteli, hogy azokon a területeken, ahol *Bt*-kukoricát termesztnek, az összes bevetendő területnek a 20 %-át hagyományos kukoricával kell bevetni. A menedék a kártevők érzékenységének fenntartását szolgálja. Az elképzelés szerint, amikor a *Bt*-mentes területeken élő nem-rezisztens kártevők párosodnak a rezisztensekkel akkor az utódok nem öröklik a rezisztenciát, mivel a *Bt*-rezisztenciát hordozó gén nem domináns. Ezúton a *cry*-toxin tovább megőrizheti a hatásosságát. A baj csak az, hogy ezt a feltételezést sem előzte meg megbízható kísérleti munka. Az sem segít a helyzeten, hogy a védő-övezet kialakítása nem könnyű, és nem is ellenőrizhető a gyakorlatban. A tapasztalat azt mutatja, hogy az Egyesült Államokban ezt az előírást sokan nem tartják be. A harmadik-világban pedig ez a stratégia teljesen lehetetlen. Ilyen körülmények között a rezisztencia gyors kifejlődése elkerülhetetlen.

A fentiekből azt a tanulságot vonhatjuk le, hogy a GM-növények termesztésének bevezetése nem váltotta be a hozzá fűzött reményeket. A terméshozam sem nőtt szignifikánsan és a használt vegyszerek mennyisége sem csökkent érezhetően a mezőgazdasági termelésben.

Sokan nem értik, hogy ilyen körülmények között az amerikai farmerek miért nem adják fel a GM-növények termesztését. Ezt különböző okokkal magyarázzák és érdemes ezek közül néhányat megemlíteni, hogy tanulságul szolgáljanak a gazdáknak azokban az országokban, ahol most akarják a GM-növények nagyipari termesztését bevezetni. A GM-növények elterjedtségének okai a következők lehetnek:

- A gazdák tájékozatlansága az új technológiával kapcsolatban;
- A biotechnológiai vállalatok nagyhatású és eredményes propagandája;
- A vállalatok beavatkozása, mert felvásárolják a legnépszerűbb vetőmag féleségeket és ezeket csak GM-formában forgalmazzák;
- A GM-növények termesztésének első időszakában tapasztalt terméshozam- és profit-növekedés;
- Az állami támogatás jelentős növekedése az USA nagy farmjain;
- A biotechnológiai vállalatokkal kötött szerződések felbontásával járó nehézségek;
- Az USA kormányserveinek a propagandája, és ami a legfontosabb:
- A jelentős munkaerő és költségmegtakarítás a nagy farmokra alapozott mezőgazdasági egységeknél, főleg az USA-ban.

Elgondolkoztató, hogy az itt felsorolt okok majd mindegyike főleg az USA nagy farmjai számára jelenthet időszakos előnyt, de a harmadik világban a kis területeken gazdálkodó farmereknek valószínűleg inkább anyagi és egyéb hátrányokat okoz. Így aztán nehéz elfogadni a biotechnológiai ipar képviselőinek és az USA politikusainak azt a kijelentését, hogy a XXI. században a GM-technológia vívmányai meg fogják váltani a világot.

A legtöbb GM-termék Amerikából (az USA-ból, Argentínából és Kanadából) ered. A világ más országaiban élő népek inkább a mezőgazdasági gyarmatosítás egyik formájának, mint a termelési módszerek forradalmasításának tekintik a GM-technológiát.

Ajánlott irodalom:

Ferenczi Andrea: Genetika – génetika (1999) Harmat Kiadó, Budapest

A GM-növények biztonsági vizsgálata és engedélyezése

A genetikailag módosított növények biztonsági vizsgálata

A genetikailag módosított növényekről azt tartják a biotechnológusok, hogy az új növényfajták közül ezek a legbiztonságosabbak, hiszen ezeket sokkal többféle vizsgálatnak vetették alá, mint bármely más növényt. Ez valószínűleg így is van. A kérdés csak az, hogy milyenek a biztonsági vizsgálatok, kik végzik ezeket, és mit jelentenek az eredmények.

A GM-növények engedélyezése különösen az Egyesült Államokban a *lényegi azonosság* elvén alapszik. Az amerikai *FDA* (Food and Drug Administration: az élelmiszerek és gyógyszerek biztonságáért felelős szervezet) azt tartja, hogy ha egy élelmiszer a tapasztalatok alapján biztonságos, akkor a génmanipulálással előállított és a hagyományostól megkülönböztethetetlen új élelmiszer is biztonságos, ezért nem szükséges vizsgálni. Azzal, hogy a GM-növények előállítási módját azonosnak tekintik a hagyományos növényneveléssel és nem hangsúlyozzák ki a két módszer különbözőségét, a biotechnológiai ipar megtakaríthatja a biológiai tesztelés jelentős költségeit. Ez a gyakorlatban annyit jelent, hogy ha pl. a hagyományos paradicsom biztonsággal ehető és a genetikailag módosított paradicsomot ránézésre nem tudjuk ettől megkülönböztetni, és a kétféle paradicsom kémiai összetevői hasonlóak, akkor a GM-paradicsom is biztonsággal ehető, azaz a GM-növény lényegileg azonos a hagyományos növényvel. Az *FDA* a lényegi azonosság elvére hivatkozva nem tartja szükségesnek a genetikailag módosított élelmiszerek vizsgálatát és ennek alapján 1996 óta számos GM-növény kibocsátását engedélyezte.

A GM-növények engedélyezésének általános feltételei

A lényegi azonosság

A lényegi azonosság vizsgálata a gyakorlatban úgy történik, hogy a biotechnológiai vállalat alkalmazottai összegyűjtik a módosításra kerülő növény összetételére vonatkozó adatokat és analizálják a GM- és a szülő vonal főbb kémiai összetevőit (fehérje, szénhidrát, zsír, hamu stb.). Ha úgy találják, hogy a GM-növényen mért adatok beleesnek a fajta összetételére vonatkozó adattartományba, akkor a GM-növényt lényegileg azonosnak tekintik a hagyományossal. Jogos azonban a kérdés, hogy mi az, amit összehasonlítanak, hogyan történik a meghatározás, hol végzik a vizsgálatokat, és kik állapítják meg, hogy a GM- és a hagyományos növény lényegileg azonos-e vagy sem?

A legtöbb szülő vonalat már régóta számos országban termesztik, így sok adat áll a vállalat rendelkezésére. A tudományos irodalomban a kultúrnövények kémiai összetételre számos adatot lehet találni. Az összehasonlítás egyik módszere az, hogy a vállalat alkalmazottai az összegyűjtött kémiai adatokat statisztikailag kiértékelik. Minden összetevőre kapnak egy értéktartományt, mondjuk azt, hogy a hagyományos szójabab fehérjetartalma 25 és 40 % között változik. Megméri a GM-szója fehérjetartalmát, ami mondjuk 32 %. Minden rendben van, hiszen ez az érték beleesik a szója fehérjetartalmára kapott 25 és 40 % közti tartományba. Ennek alapján a GM-szóját lényegileg azonosnak lehet tekinteni a hagyományossal. Ezt el lehet játszani az összes többi összetevővel is. Ha a szülő vonal az eddigi tapasztalatok alapján biztonsággal fogyasztható és a GM- valamint a szülő vonal kémiai összetétele hasonló vagy megegyezik, akkor a GM-növénynek is biztonságosnak kell lennie.

A fenti gondolatsoron alapuló összehasonlítással két probléma van. Az egyik az, hogy a növények összetétele nagymértékben függ a talaj minőségétől, a csapadéktól, a napsütéses órák számától és a vegyszerezéstől stb. A szóját például Argentínától, Brazilián és az Egyesült Államokon át az európai országokig sokfelé, így Magyarországon is termelik. Ezekben az országokban a körülmények nagyon eltérőek, ezért a növények kémiai összetétele igen széles sávot ölel fel. Nagyon nehéz azt elképzelni, hogy a GM-szója összetétele annyira megváltozzon, hogy kívül essen ezen a széles sávon. Ezért a lényegi azonosság vizsgálatokor csak az azonos körülmények között termesztett, tehát azonos időben, azonos összetételű talajba vetett, azonos időjárási körülmények között és azonos agrotechnikával termesztett és vegyszerezett, egyszerre betakarított szülői- és GM-növény összetételét lenne szabad összehasonlítani. Mivel ezek azonos körülmények között nőttek, az összetételükben mutatózó esetleges különbség valószínűen a genetikai módosítás következménye.

A GM-növények ilyen szigorúan tudományos módszerrel történő vizsgálata sajnos inkább a kivétel, mint a szabály. A legismertebb példa az így elvégzett vizsgálatokra a skóciai GM-burgonya vizsgálatunk. Ebben a projektben Durhamban a szülővonalként használt DESIREE burgonya genomjába a hóvirág hagymájában található lektin (egy szénhidrátkötő-fehérje), a *GNA* génjét vitték be. Többféle GM-növényt készítettek, és ebből két sikeres vonalat választottak ki. Ezeket a Dundee melletti Skót Növénytermesztési Kutatóintézetben (*Scottish Crop Research Institute, SCRI*) szaporították el. A kontroll (szülői) burgonyasor egyik oldalán az egyik, másik oldalán a másik *GNA*-GM-burgonya vonalat termesztették. A növények gumóiból mintát vettünk és elvégeztük a kémiai analízist. Az eredményekből az derült ki, hogy az egyik GM-burgonyavonal fehérjetartalma megegyezett a szülővonallal, tehát lényegileg azonos volt vele, a másik GM-burgonya vonal azonban 20 %-kal kevesebb fehérjét tartalmazott mint a szülői vonal és a másik GM-burgonyavonal (34). Részletesebb vizsgálatokból az is kiderült, hogy a fehérje tartalom belül, az egyes fehérje komponensek mennyisége eltérő volt. Ezen kívül a GM- és a nem-GM-burgonya vonalak más táplálkozási szempontból fontos összetevőiben is előfordult szignifikáns különbség.

Csak nemrég derült ki a *Journal of Nutrition* folyóirat archívumából (35), ahová az eredményeket letétbe helyezték, hogy hasonló eredményeket kaptak egy másik, a GM-szójababra vonatkozó összehasonlító vizsgálatban is. Ennek eredményét azonban a tudományos folyóiratban nem közölték le. Az említett kísérletet a Monsanto kutatói végezték Puerto Rico-ban (USA) a *glyphosate*-rezisztens RR-szójával. Amikor a kutatók a GM- és a nem-GM-növényt egymás mellett növelték, szignifikáns különbségeket találtak a két vonal között (35). Mert a GM-szóját nem lehetett lényegileg azonosnak tekinteni a hagyományos szójával, úgy döntöttek, hogy a *Journal of Nutrition* című folyóiratban csak azokat az eredményeket publikálják, amelyek alátámasztják a két vonal lényegi azonosságát. Miután ezeket az adatokat nem terjesztették be a hatóságokhoz, a vállalat megkapta a GM-szója termesztésére és a termék forgalmazására szóló engedélyt.

A másik probléma a lényegi azonossággal az, hogy az ilyen összehasonlító vizsgálatok nem tudják kimutatni, hogy a növényben keletkezik-e a genetikai módosítás következtében új mérgező anyag, vagy megnő-e valamelyik, a szülőben csak kis mennyiségben előforduló, esetleg ki sem mutatható mennyiségű mérgező anyag szintézisének hatékonysága. Ehhez biológiai tesztesztelési módszerekre van szükség, amikről a későbbiekben lesz szó.

Nagyon könnyű megérteni, hogy mi a probléma a lényegi azonosság használatával. A kergemarhákórral fertőzött szarvasmarha a kémiai összetétele alapján lényegileg azonos az egészséges állattal, hiszen köztük csak a prion fehérje konformációjában, és nem a mennyiségében van a különbség. Gondoljuk el, hogy mi lenne akkor, ha csak az egész állat kémiai összetétele alapján kellene döntenünk arról, hogy melyik állat húsát fogyasszuk?

Sokan úgy tartják, hogy a GM-növények sohasem lehetnek azonosak a szülői vonallal, mert olyan új géneket tartalmaznak, amelyek hiányoznak a szülőkből. Ezek az új gének teszik lehetővé a növény szabadalmaztatását. Így a lényegi azonosság elve fából vaskarika.

Az EU-ban fontosnak tartott feltételek

Az EU-ban és hazánkban a GM-növények engedélyezése a döntési sor kérdéseire adott igen és nem válaszok alapján történik. Az engedélyt akkor adják ki, ha a kérdések megválaszolása alapján a termék biztonságosnak ítéltető, és a kibocsátás kockázata kicsi. A kérdésekre az engedélyt kérő vállalat válaszol, és az szolgáltatja a kísérleti adatokat is. A gyógyszerek engedélyezésével ellentétben, a kérelmezőt nem kötelezik az összes kísérleti adat benyújtására. Ez annyit jelent, hogy ha az engedélyt kérő vállalat esetleg rendelkezne olyan adatokkal, amelyek meggátolnák az engedély kiadását, a titkosságra hivatkozva megtagadhatja ezeknek az adatoknak a kiadását.

Az antibiotikum-rezisztenciát kódoló gén használata

A GM-növények engedélyezéséhez bizonyítani kell, hogy a GM-növény genomjába az antibiotikum-rezisztenciát kódoló génnek csak egyetlen példánya épült be és így kicsi a rezisztencia átvitelének veszélye. Ezt a vállalatok a bélbaktériumok estében igen kicsinynek, mindössze 0,001 ezreléknek becsülik. Mit is jelent ez? Az antibiotikum rezisztenciát kódoló gén a növény minden egyes sejtjében előfordul. Igaz, csak egyetlen példányban. Eszerint tehát a géntvitel gyakorisága minden millió baktérium esetén csak egynél következhet be. De azt is figyelembe kell venni, hogy az ember bélrendszerében körülbelül 100 milliárd baktérium él és ezek, ha nem is gyakrabban, de mondjuk minden órában osztódnak. A kockázat-bebecslési számításoknál ezen kívül azt is figyelembe kellene venni, hogy hány ember eszik GM-élelmiszert. Ezek száma jelenleg, szerény becslések szerint is több tízmillió. Ha ehhez még hozzátesszük az összes GM-növény sejt számát, akkor nagyon nehéz fenntartani azt az állítást, hogy a géntvitel kockázata igen kicsi.

Az antibiotikum-rezisztenciát kódoló markergén használata ellen sokan emeltek kifogást. A biotechnológiai ipar is elismeri, hogy ezeknek a géneknek a használata problémás és a jövőben megpróbálják kiküszöbölni őket. Viszont semmit sem csinálnak azokkal a jelenleg termelt GM-növényekkel, amelyekben a rezisztencia gén már benne van.

Az ember és állat tűrőképessége

Az engedélyezésnél azt is figyelembe kell venni, hogy az emberek mennyit fogyasztanak bizonyos növényfélékből, mert az esetleges egészségkárosító hatás függ az elfogyasztott étel mennyiségétől. A helyzet nem ilyen egyszerű. A GM-növények kockázatbecslésekor például feltételezik, hogy az átlagember a *Bt*-kukoricából is csak annyit fog enni, amennyit a hagyományos kukoricából fogyaszt. Lehetséges, hogy ennyi kukoricában a *Bt*-toxin mennyisége még olyan kicsi, hogy az egészségre nincs kimutatható, káros hatása. De mi történik akkor, ha a *Bt*-kukorica mellett valaki még *Bt*-burgonyát és RR-szóját is eszik? Összeadódnak-e ezek a hatások? Az engedélyező hatóságok nem veszik figyelembe ezeket a kombinált hatásokat, amikor a GM-élelmiszerek biztonságát vizsgálják. Az állatoknál még súlyosabb lehet a helyzet. Amíg az emberek többféle ételt esznek és a diétájuk változatos, addig az állatokat általában egyféle táppal etetik, és ha ez GM-növényekre van alapozva, az emésztőrendszerükbe és a szervezetükbe nagymennyiségű GM-táp kerülhet. Ezért az esetleges káros hatás is nagyobb lehet, mint az embereknél. A vágóállatokat mi fogyasztjuk, ezért fontos, hogy a takarmány is biztonságos legyen. Az engedélyezésnél a biztonság megállapításához azt is számításba kellene venni, hogy az állatok GM-táppal való etetésekor mennyi a tápban lévő összes GM-növény mennyisége, mert az állat egészségére és növekedésére ezeknek az együttes hatása a döntő.

A transzgén biztonsága

Az EU-ban az engedélyezéshez bizonyítani kell az átvitt gén biztonságos voltát. Ha a transzgént olyan szervezetből vitték át, amelyet eddig az emberek biztonsággal fogyasztottak, akkor a hatóságok szerint nincs további tennivaló. Ilyen eset akkor fordul elő, ha például a kukoricából visznek át egy gént a paprikába.

Ha a transzgén biztonságára nincsenek adatok, akkor toxikológiai vizsgálatokkal kell megállapítani, hogy az átvitt gén biztonságos-e egyáltalán, és ha igen, akkor milyen mennyiségben tekinthető biztonságosnak. Ezt úgy vizsgálják, hogy a transzgént átviszik egyfajta baktériumba vagy esetleg élesztőbe, és ezekkel a mikrobákkal nagymennyiségű transzgén-fehérjét állítatnak elő. Ezeket izolálják és a mikrobiális fehérjéket etetik a kísérleti állatokkal (egerekkel vagy patkányokkal).

A módszer első látásra megfelelőnek tűnik, de valójában nem az. A genetikai determinizmussal kapcsolatban már említettük, hogy a különféle fejlettségi fokon álló szervezetek ugyanarról a génről eltérő felépítésű és szerkezetű fehérjéket szintetizálhatnak. Ráadásul, amikor a sejtek ezeket a fehérjéket legyártják, azokra különféle cukrokat és egyéb kémiai jelző molekulákat csatolhatnak. A fehérje megfelelő kémiai összetétele és térszerkezete elengedhetetlen a biológiai hatás kifejtéséhez. Ennek alapján nem meglepő, hogy ugyanazon DNS alapján a növényi, állati és bakteriális sejtek különböző tulajdonságú és térszerkezetű fehérjéket szintetizálnak. A baktériumban vagy élesztőben termelt fehérjék ezért nem alkalmasak annak eldöntésére, hogy a növényekben termelt fehérjék biztonságosak-e. A GM-baktériumban és a GM-növényben termelt fehérjék között az egyik lényeges, és bizonyított különbség a transzgén-termékek glikozilálásában van (36). (Ez a különféle cukormolekulák fehérjékhez kapcsolódását jelenti). A növényi sejtek repertoárjában sokféle cukor szerepel: fruktóz, glükóz, mannóz, galaktózamin, glükózamin stb. Ezek a követelményeknek megfelelően változatosan és eltérő sorrendben kapcsolódhatnak a növényekben gyártott fehérjékhez. A baktériumok ezek közül csak néha, és akkor is leggyakrabban csak a mannózt kapcsolják a szintetizált fehérjékhez. Ezért ha a transzgén kódolta fehérjét baktériumban termeltetik és ennek a toxicitását tesztelik, igen valószínű, hogy más eredményt kapnak, mint a GM-növényben termelt fehérjék vizsgálatakor. De hát miért nem a növényben termelt transzgén fehérjét vizsgálják? Azért, mert a növényben olyan kevés a transzgén fehérje, hogy azt nem lehet kinyerni és tesztelni, állítja a biotechnológiai ipar. A GM növényben tényleg kevés a transzgén fehérje, de az nem igaz, hogy ezt nem lehet tiszta állapotban a GM-növényből kinyerni. Az eddig forgalomba hozott transzgének vagy herbicid-rezisztenciát biztosító enzimeket, vagy lektineket (*Bt*-toxin) kódolnak. Mindkét fehérje-típust affinitás-kromatográfiával egy lépésben aránylag könnyen lehetne izolálni, ahogy azt a skóciai *GNA*-burgonya esetében tettük (34).

A transzgén fehérje stabilitása a bélben

Az engedélyezésnél a hatóságoknak figyelembe kell venni az emésztő csatornában lévő transzgén fehérje és DNS stabilitását. Az ideális transzgenikus fehérjének vagy DNS-nek nyom nélkül és nagyon gyorsan le kellene bomlani a bélrendszerünkben, hogy ne fejthessen ki káros hatást. A táplálékban előforduló legtöbb fehérje és DNS kétségkívül hamar alkotó elemeire bomlik. Ezért a biotechnológiai ipar feltételezi, hogy a transzgenikus DNS-darabok és az általuk kódolt fehérjék nem különböznek a táplálékban előforduló többi DNS-től és fehérjétől, így ezek sem jelenthetnek semmiféle veszélyt a fogyasztókra.

Igaz, hogy minden élelemben van DNS is és fehérje is. De az nem igaz, hogy ezek mind lebomlanak a tápcsatornában. Azért eszünk, hogy a sejtek működéséhez és megújulásához szükséges energiát és az építőanyagot biztosítsuk a szervezetünk számára. Az emésztőcsa-

tornában a fehérjék aminosavaikra, a DNS és RNS pedig nukleotidokra és bázisokra bomlik le. Ezekre ugyanúgy szükségünk van, mint az energiát adó cukrokra és zsírokra. Hogy ezeket az építőanyagokat a szervezet megszerezze, az emésztőrendszer valóban lebontja a fehérjék nagy részét, de nem mindegyiket. Számos olyan fehérjét ismerünk, amelynek olyan a térszerkezete (vagyis úgy van feltekerve), hogy az emésztő rendszer enzimejei nem tudják megtámadni. Ilyen fehérjék a lektinek (cukor felismerő és cukorkötő fehérjék), amelyeknek génjeit előszeretettel alkalmazzák transzgénekként a GM-növényekben. A *Bt*-növényekben termelődő *cry*-toxinok is a lektinek családjába tartoznak. A hóvirág hagymában található *GNA* (amivel a skóciai burgonyakísérletünket végeztük) is lektin. Ezek közül a biológiailag aktív fehérjék közül egyesek képesek bizonyos sejtek felületéhez kötődni, mert ott specifikus receptoruk van. Ha a lektin-fehérje összekapcsolódik a receptorával, akkor gyakran ellenállóvá válik az emésztéssel szemben és nem bontható le egykönnyen. Ez a biológiában nagyon fontos koncepció. Sejt-felületi receptora van többek között a hormonoknak (az inzulinnak, a szteroid hormonoknak stb.), a növekedési faktoroknak (növekedési hormon, inzulin-szerű növekedési faktor stb.) és a lektineknek is. Ezeket az anyagokat az emésztő enzimekkel kémcsőben, extrém körülmények között aránylag könnyen le lehet bontani. De ha bekerülnek a tápcsatornába és ott összekapcsolódnak a receptorukkal, akkor lebonthatatlanná válhatnak és így biológiailag aktívak maradnak.

Hasonló a helyzet a DNS-sel is. Igaz, akármit is eszünk, egyben DNS-t is eszünk, hiszen mind a növényi (zöldségek, gyümölcsök stb.), mind az állati eredetű (húsok, tojás, stb.) táplálékok tartalmazzak DNS-t. A táplálkozástudománnyal foglalkozó régi szakkönyvek szerint a bélben a DNS teljesen lebomlik. Ezt hangoztatják a biotechnológusok is. „*Ha a DNS nem bomlana le a bélben, akkor a zöld növények fogyasztásakor mi is megzöldülnénk*” – mondják. Ha ez igaz lenne, akkor viszont nem lenne értelme a DNS-en alapuló gyógyszereknek, vakcináknak stb. és a vírusos bélfertőzésektől sem kellene tartanunk

Ha a transzgén és az általa termelt fehérje a bélcsatornában tökéletesen lebomlana, akkor nem lenne szükség toxikológiai vizsgálatra sem. A biotechnológiai vállalatok ezért vizsgálják mesterséges körülmények között a transzgén-fehérje lebonthatóságát. Mivel a vizsgálatokat nem a bélben, hanem a kémcsőben végzik, az eredményekből levont következtetések nagy valószínűséggel az emlősök esetében nem helytállóak.

A lebontási vizsgálatot úgy végzik, hogy egy kémcsőben a lebontandó GM-fehérjét savas közegben pepszinnel, majd ezt követően lúgos közegben tripszinnel keverik össze (a pepszin és a tripszin emésztést végző enzimek), testhőmérsékletre melegítik és, bizonyos időközönként mintát véve, megméri a már lebomlott fehérje mennyiségét (37). A módszer azért megtévesztő, mert így a legtöbb fehérje másodpercek alatt lebontható, ezért ezzel a módszerrel nagyon könnyű arra a következtetésre jutni, hogy a transzgén-fehérjék nem fejthetnek ki semmiféle biológiai hatást, mert pillanatok alatt lebomlanak, amikor bekerülnek az emésztőcsatornába.

A bélben a körülmények lényegesen különböznek attól, mint ami a kémcsőben van. A közeg nem olyan savas vagy lúgos, mint a kémcsőben. A gyomorban és a bélben a fehérje nem önmagában van jelen, hanem az ennyivaló más komponenseivel összekeveredve. A táplálék heterogén és különbözőképpen van aprítva. A legfontosabb különbség a két módszer között az, hogy a bélben a fehérjék a receptorukhoz kapcsolódva ellenállhatnak az emésztésnek, de mivel a kémcsőben a bélrendszer nincs jelen, a hatást nem is lehet reprodukálni.

Hogy mit ehetünk meg és mit nem, azt az emberi faj évezredek óta próbálgatta. A tapasztalatokat őseink nemzedékről nemzedékre átadták az utódoknak. (Különböző is, legtöbbször az új táplálékot először az állatokon próbálták ki). Az emésztőrendszerünk együtt fejlődött a leggyakrabban fogyasztott táplálékokkal és volt rá elég idő, hogy összehangolódjanak. Az is biztos, hogy amennyire csak tudjuk, próbáljuk elkerülni a romlott és fertőzött ételek fogyasztását. Nem esszük meg a zöldségek és gyümölcsök hibás részeit, és tudatosan nem eszünk sem baktériumokat, sem vírusokat. A vegyszereket sem esszük meg, sőt igyekszünk azokat messziről elkerülni. Ezzel szemben a GM-növényben mind a bakteriális, mind a vírus

eredetű transz gének előfordulnak, mégpedig olyan kombinációkban, amelyek a természetben eddig sohasem fordultak elő. Az evolúció határokat állított a különböző életformák közé. Ezeket a határokat a génmanipulálás semmibe veszi. A tápcsatornánknak nincs ideje, hogy a GM-növényekben előforduló új kombinációkhoz hozzászokjon.

A genetikai módosítás egyik célja az, hogy oltóanyagot (vakcinát) lehessen termelni az élelmiszer-növényekben. A biotechnológusok szerint az emberek inkább megeszik az oltóanyagot tartalmazó banánt, minthogy injekciós tűvel szurkálják őket. Ez valószínűleg igaz is. Egyben arra is jó példa, hogy a biotechnológusok is tudják, hogy sem az összes fehérje, sem a DNS nem bomlik le teljesen. Ha ugyanis a DNS is és az összes fehérje is teljesen lebomlik – ahogy azt a GM-szója és GM-kukorica esetében állítják – akkor hogyan lehetséges, hogy az azonos technikával készített banánban az oltóanyag fehérje és az ezt kódoló DNS megmarad? Ha teljesen lebomlanának, akkor az oltóanyag nem lenne hatékony és a banán génmódosítása kárba vesztett munka és költség lenne. A génmódosítással átvitt fehérje és DNS lebomlik, amikor a GM-növényeket étkezésre termesztjük, de lebonthatatlan, amikor a GM-növény oltóanyagot tartalmaz! E két állítás között belső ellentmondás van. Ezek feloldása csak újabb kutatómunka révén lehetséges.

Az aggódo fogyasztók megnyugtatását célozza a biotechnológiai ipar azzal a kijelentéssel, hogy „*az Egyesült Államokban genetikailag módosított növényekből készült élelmiszereket az emberek évek óta fogyasztják és ezektől még soha senkinek semmiféle baja sem lett*”. Ez az állítást úgy hangzik, mintha orvosilag alátámasztott tény lenne. De hogyan lehet ezt tudni, és főleg, kijelenteni? Senki sem betegedett vagy halt meg az Egyesült Államokban a genetikailag módosított élelmiszerek bevezetése óta? Természetesen sokan meg is betegedtek és meg is haltak. Mivel a GM-élelmiszerek nincsenek jelölve, ezért senki sem tudja, hogy ki, mikor, miből és mennyit evett illetve eszik. Ilyen körülmények között hogyan tudhatnánk, hogy az adott megbetegedésnek van-e valamilyen köze a GM-élelmiszerek fogyasztásához? A GM-növények nem tartalmaznak rögtön ható, halálos mérgeket. Azonban a káros hatásokat hosszútávon nem lehet kizárni.

Az is lehet, hogy a GM-növényekkel hasonló a helyzet, mint a dohányzással. Ha az ember elszív egy cigarettát, kutya baja sem lesz. Ha azonban évtizedeken át dohányzik (lásd krónikus hatások), akkor a tüdőráktól az érrendszeri megbetegedésen át sokféle betegsége kialakulhat. A dohánygyárak már évtizedek óta tisztában vannak a dohányzás káros hatásaival. Mégis, mennyi ideig is tartott, amíg a bíróságon a betegek és az állam kártérítési pert tudott nyerni?

Egy dolog biztos. Az amerikai egészségügyi szervek hivatalos statisztikái szerint 1996-tól meredeken megugrott a bélrendszeri rendellenességek, fertőzések, az allergiás betegségek és a nyirokszervi, prosztatata-, emlő-, hasnyálmirigy-rákos megbetegedések száma. Ugyanebben az évben, 1996-ban kezdték el az USA-ban a GM-haszonnövények termesztését és forgalmazását. A biotechnológiai iparnak is fontos lenne, hogy kimutassák, hogy ezek között a dolgok között nincs összefüggés. Ha azonban nem vizsgálják a GM-növények biztonságát és nem jelölik a forgalomban lévő GM-élelmiszereket, akkor még a statisztikák sem hívhatják fel a figyelmet az esetleges veszélyre. Ilyen körülmények között a fogyasztók számára az egyetlen biztonságos stratégia, hogy igyekezzenek a táplálkozásukból kihagyni a GM-növényeken alapuló élelmiszereket. Pontosan ezt teszi ma az európai fogyasztók többsége.

A GM technológia semlegességének problémája

Az engedélyező hatóságok és az ipar egyezsége alapján csak az egyes GM-növények biztonságát kell megvizsgálni, de a technológiát nem, mert a génátvitel technikája maga semleges. Ez nem általánosan elfogadott tény, különösen azért, mert ez a technológia a gene-

तिकai determinizmus már több szempontból is túlhaladott elméletén alapszik és kísérleti kutatómunkával sincs egyértelműen alátámasztva. Sokan úgy vélik, hogy a technológiai kutatásban kevés súlyt fektettek a génátvitel pontatlanságával, valamint a promóter és a markergén használatával kapcsolatos problémák vizsgálatára.

Azt is gyakran halljuk, hogy először minden új technológia bevezetése ellenkezésbe ütközik, de ez azután lassan eltűnik. Azt remélik, ez így lesz a biotechnológiával is. A múltban az emberek hasznát szolgáló technológiákat a népesség elég hamar elfogadta. Nem tudunk arról, hogy a villamosság bevezetését a lakosság 80-90 %-a ellenezte volna, sem arról, hogy a gyárakban az új technológiával készült kocsikat az emberek megsemmisítették volna. Ezzel szemben tüntettek a nukleáris energia és az atomreaktorok használata ellen. Nem éppen ok nélkül, ha Csernobilre, Paksra és a halmozódó radioaktív szennyezőanyagok biztonságos tárolásának a problémájára gondolunk.

A legfontosabb közös vonás azokban a technológiákban, amiktől az emberek idegenkednek az, hogy nem érzik, hogy igazán kezükben tartanak az új technológiát és az az érdekeiket szolgálja. Minden eddig bevezetett új technológiát kordában lehetett tartani. Az áramot ki lehet kapcsolni. Az atomerőműveket le lehet állítani. De ha a transzgén a természetben elszabadul, akkor azt többé nem lehet korlátozni, sem megállítani, sem kikapcsolni, sem visszahívni. A növényi GM-technológia bevezetése irreverzibilis. A biotechnológusok azzal érvelnek, hogy a GM-növények önmagukban nem életképesek, hiszen semmiféle növényt nem nyomnak el, nem szorítanak ki, és állandó gondozás hiányában (trágyázás, permetezés stb.) rövid időn belül maguktól elpusztulnak. Ez az érvelés nem helytálló. Lehet, hogy a GM-növény elpusztul, de az is lehet, hogy nem. Csak egy dolog biztos. Az, hogy a transzgén elszabadul és kikerül a környezetbe, ahogy azt máris számos példa bizonyítja. Az idegenmegporzóknál a transzgén a virággal bekerül a nem GM-növények genomjába (fajta-társakba), átkerül a talajba (ismeretlen baktériumfajok sokasága közé) és a rokon fajokba. Ha egy gén a faj vagy fajta fennmaradása szempontjából előnyös, az terjedni fog. Gondoljunk csak a növényvédő-szerekkel (pl. *atrazine*, *2,4-D*) szennyezett talajra és vizekre. A szennyezett környezetben élő növények számára előnyös az olyan gén, ami a növényvédő szer elbontását segíti.

Ami a precizitást és előre kiszámíthatóságot illeti, tudjuk, hogy a fenti géneket tartalmazó, úgynevezett gén-konstrukciót gyakran génpuskával belövik a sejtbe vagy „megfertőzik” vele az átalakítandó sejtet. Nem lehet előre megmondani, hogy éri-e találat a sejtmagot, és sikeres volt-e a génbevitel. Azt sem, hogy az átalakítás során a génkonstrukció hány példánya épült be a genomba. Ez csak a génbevitt követő szelekció során dől el, például amikor (a marker géntől függően) antibiotikum vagy növényvédő szer jelenlétében szaporítják a transzformált sejteket. Az ilyen kezelést csak a sikeresen átalakított sejtek élik túl. Azt, hogy a sikeres génbevitel során a transzgén hol és hány példányban épül be a genomba még akkor sem lehetne előre megtervezni, ha ismernénk az átalakítandó szervezet (pl. növény) teljes genomját. De a különféle élőlények genomjaiból eddig csak néhányat sikerült feltérképezni. Ezek közé tartozik az ember, a rizs, a fonálféreg, vírusok, baktériumok és néhány más élőlény DNS szekvenciája. E mellett olyan növények és mikrobák génjeit is átviszik és felhasználják génmódosításra, amiknek a genomját egyáltalán nem ismerjük.

Amikor már megtörtént az átalakítás csak akkor lehetne a bevitt gének példányszámát (kópia számát) és néha a helyzetüket (pozíciójukat) meghatározni, de ez legtöbbször nem történik meg. A sikeresen átalakított sejtek közül sok nem is életképes. Ennek több oka lehet. Előfordulhat, hogy a befogadó sejt genomjában a transzgén egy életfontosságú gén közepébe épült be, esetleg az egyik fontos gén működését leállította vagy felerősítette. Az is lehetséges, hogy a transzgén mérgező termelést indít el és ez gátolja a módosított sejt anyagcseréjét.

A génátalakítás pontosságával kapcsolatos problémákat a következőképpen lehet illusztrálni. Egy edényben, egyidejűleg ugyanazzal a gén-konstrukcióval több ezer sejtet módosítanak. Tegyük fel, hogy ezer sejtből néhány (mondjuk 10 vagy 20) fogadja csak be a transzgént (az új genetikai anyagot). Ebből a néhány sejtből csak kettő vagy három lesz életképes, azaz ennyinél volt problémamentes a génbevitel. Abban is biztosak lehetünk, hogy még az életképes sejtek sem egyformák, mert a genomjukba a transzgén nem ugyanúgy épült be (nem ugyanabba a pozícióba). Emiatt többen azt állítják, hogy a génmódosítást nem is szabadna „technológiának” nevezni. A technológiai folyamattól ugyanis elvárják, hogy azonos kiinduló anyagokból azonos körülmények között azonos termékeket állítson elő (pl. az autó, a cipő, vagy a kenyér). A génátalakítás nem tudatosan reprodukálható reakció. Igen kicsi annak a valószínűsége, hogy két módosított sejtben a konstruktum ugyanolyan példányszámban, pontosan ugyanarra a helyre épüljön be és ennek ugyanazok legyenek a következményei.

Allergén hatások és a genetikai módosítás

Korunk új népbetegsége az allergia. Nagyon sok gyerekről még csecsemőkorban kiderül, hogy egy- vagy több ételre allergiás. A gyerekek egy része ezt kamaszkorra kinövi. Azonban egyre több olyan esettel találkozunk, amikor felnőttek válnak egyik napról a másikra allergiássá. Hogy pontosan mitől és miért leszünk allergiások, azt az orvosok sem tudják megmagyarázni. Nagyon sok kutatás foglalkozik az allergiás megbetegedésekkel és egyre újabb gyógymódokkal próbálkoznak.

Az allergiát kiváltó anyagot *allergén*nek nevezzük. A szervezet immun-rendszere az allergénnel szemben ellenanyagot termel, amit ki lehet mutatni. Nem mindig könnyű azt megállapítani, hogy ki mire allergiás. Ezt leggyakrabban bőr-tesztel vizsgálják. A beteg bőrébe nagyon kis mennyiségben sokféle, allergiát kiváltó anyagot juttatnak és megnézik, hogy ezek közül a páciens melyikre reagál.

Az allergiáért az ember immun-rendszere a felelős. Allergiát legkönnyebben olyan fehérjék váltanak ki, amelyekhez más anyagok (például cukrok, vagy fémionok) is kapcsolódnak. Ha a szervezetünk olyan allergénnel találkozik, amelyik igen erős reakciót vált ki, akkor az immun-rendszer emlékezni fog erre az anyagra. De mi az, amire emlékszik? Egy térbeli alakzatra, egy felszíni térképre. Arra, hogy egy ponton a fehérje hogyan van feltekeredve. Ezt a képet az immunrendszer elraktározza.

Az immun-rendszer sejtjei, mint a járőrök, állandóan ellenőrzik a szervezetet. Ha találkoznak az allergénnel, akkor védekezési reakcióba kezdenek. Ez mindenkiben másféleképpen jelentkezik: a felfújódástól a hasmenésen, bőrkiütésen, csalánkiütésen át a viszketegségig. Van akinél a reakció olyan erős, hogy az illető sokkos helyzetbe kerül (anafilaktikus sokk), amibe bele is lehet halni. A reakciókat gyógyszerekkel lehet mérsékelni, de csak röviddel azután, hogy az allergén a szervezetbe kerül.

Az allergiának két olyan fontos tulajdonsága van, amivel az összes többi betegségtől eltér. Az egyik az, hogy az allergia teljesen egyéni. Nincs rá szabály, hogy ki mire allergiás. Lehet, hogy tíz olyan emberből, aki a búzára allergiás, mindegyik más-más, a búzában előforduló, de egymástól lényegesen különböző anyagra reagál. Ez annyit jelent, hogy a vérükben egyénenként más, de lehet, hogy tíz különféle búzafehérje elleni ellenanyag van jelen.

Az allergia másik érdekes tulajdonsága, hogy az allergiás roham kialakulása nem az allergén mennyiségétől, hanem csak a jelenlététől függ. Más betegségeknél minél több kórokozó vagy mérgeanyag jut az ember szervezetébe, annál súlyosabbak a tünetek. Például, minél többet eszünk a romlott ételből, annál nagyobb a valószínűsége annak, hogy súlyosabban betegszünk

meg, azaz a nagyobb mennyiség nagyobb hatást vált ki. Az allergiánál nincs ilyen összefüggés. Egy icike-picike ételnyommal ugyanakkora hatást válthatunk ki, mintha jól belakunk abból az ételből, amire allergiásak vagyunk.

Ezt a két tulajdonságot azért kell hangsúlyozni, mert megmagyarázza, hogy miért nem lehet általánosítani. Ez annyit jelent, hogy nem lehet az allergiára általánosan használható tesztet kidolgozni sem.

Már említettük, hogy a genetikai módosításkor fennáll annak a lehetősége, hogy a növénybe átvitt idegen gén új fehérjék megjelenését eredményezi. Előfordulhat az is, hogy az új fehérjének az eredetihez képest megváltozik a térszerkezete. Az is lehetséges, hogy a sejtben az eredetileg kis mennyiségben termelt allergén mennyisége megnő. A GM-élelmiszerekkel kapcsolatban éppen az a fő probléma, hogy a népességben megnőhet a táplálék-allergia előfordulása. Ha a GM-élelmiszerek nincsenek jelölve, könnyen előfordulhat, hogy az allergiás egyén meghal azután, hogy tudtán és akaratán kívül allergént fogyasztott. Ezért a GM-élelmiszereket engedélyező hatóságok számára az egyik legnagyobb probléma az allergének kimutatása, és aggodalmuk nem ok nélkül való.

Nagy Britanniában, Yorkban működik egy olyan táplálkozástudományi laboratórium, ahol az élelmiszer-allergiákat tartják nyilván. 1999 márciusában a kutatók az 1998-as adatokat vizsgálva észrevették, hogy a szója érzékenység egy év alatt 50 %-kal emelkedett. Az emelkedés egybeesett a GM-szóját tartalmazó élelmiszerek kereskedelmi forgalomba hozatalával, bár e két dolog között nem tudtak ok-okozati összefüggést találni.

Már volt arról szó, hogy táplálkozástani szempontból a szója fehérjetartalma és különösen a minősége nem tökéletes. Mint azt már előbb is említettük, a szója módosításakor a kutatók arra gondoltak, hogy megnövelik a szója tápértékét azzal, hogy a brazílióban előforduló sok metionint tartalmazó fehérje génjét viszik át bele. A biotechnológusok tudták, hogy a brazílióra sok ember allergiás, de nem tudták, hogy melyik az a fehérje, ami ezt a reakciót kiváltja. Arra gondoltak, hogy nagyon kicsi annak a valószínűsége, hogy a brazílióban lévő több, mint 20000 fehérje közül éppen az átvitelre szánt fehérje az, ami az allergiát kiváltja. Pedig pontosan ez történt. Az a GM-szója, amibe átvitték a nagy metionin-tartalmú fehérjét kódoló gént, nagyon erősen reagált a brazílióra allergiás betegektől vett vérrel. Ez annyit jelentett, hogy a brazílióra allergiás betegekből a szója is allergiás tüneteket váltott volna ki. Mivel az Egyesült Államokban a GM-növényből készült élelmiszereket nem kell jelölni, gondoljuk csak el, mi történt volna azzal a beteggel, aki szóját tartalmazó ételt vásárol. Annak ellenére, hogy gondosan elolvassa a címkét, hogy az enivalóban nincs brazílió, allergiás anafilaktikus rohamot kaphat és ebbe akár bele is halhat.

A helyzet viszonylag könnyű azoknál a transz géneknél, amelyekről tudjuk, hogy allergiát kiváltó forrásból származnak. A vérbankokban sok allergiás beteg szérumát őrzik, akiről pontosan tudják, hogy mire allergiásak. Ezek segítségével a gyanús GM-növények megvizsgálhatók. A szója esetében ezt a módszert követték és így vették észre az allergiás tulajdonságot. Könnyű a döntés abban az esetben is, ha az átalakítandó növényről köztudott, hogy allergiát okoz. Az engedélyezéshez csak meg kell mérni, hogy nőtt-e az allergén mennyisége.

Annak ellenére, hogy állatokon jól lehet vizsgálni a GM-növények táplálkozástani és toxikológiai tulajdonságait, sajnos az allergizáló hatás vizsgálatára nincsenek egyértelműen megfelelő állatmodellek. Ezért az egyes GM-növények allergizáló hatását egyelőre csak közvetve lehet vizsgálni. Van néhány módszer, ami alapján az engedélyező hatóságok döntenek. Az engedélyezés ebben az esetben is a döntési sor kérdéseire adott válasz alapján történik.

Első lépésben az adatbázisokat kell átnézni és megtudni, hogy a transzgen DNS szekvenciája mutat-e hasonlóságot a több mint 200, allergiát kiváltó fehérje valamelyikének génszekven-

ciájához. Azt gondolják, hogy a GM-növénybe átvitt fehérje és az ismert allergének aminosav-sorrendjének összehasonlításából is meg lehet állapítani annak valószínűségét, hogy a GM-növény jelenthet-e allergiás veszélyt. Úgy tartják, hogy a hasonlósághoz a transzgén DNS-szekvenciájában legalább nyolc egymás után következő aminosavat kódoló szakasznak meg kell egyeznie egy allergén DNS-szekvenciájával. Ha ilyen hasonlóságot találnak, a GM-növényt nem szabad engedélyezni. Az újabb kutatások szerint lehet, hogy már hat aminosav azonossága is elegendő. Sőt, nem is szükséges az abszolút azonosság, mert hasonló karakterű aminosavak jelenléte (ún. konzervatív helyettesítés) ugyancsak kiváltja az allergizáló hatást (38).

Ilyen vizsgálatokkal aminosav szekvencia hasonlóságot tudtak kimutatni a béta-laktoglobulin (allergén tejfehérje), és a *Cry3A* bakteriális toxin, az egyik *cry*-toxin és a vitellogenin, a tojásban található egyik allergén között (39). Ezért azt ajánlják, hogy a szekvencia hasonlósággal óvatosan kell bánni, mert az allergia veszélyének megállapításához nem csak az szükséges, hogy az allergén fehérjén hat egymást követő aminosav azonos legyen, hanem az is, hogy az allergén fehérjén legyenek olyan epitópok (térbeli szerkezetek), amihez az allergén ellenanyaga, az IgE hozzá tud kapcsolódni (39).

A szekvencia azonosság hiánya azonban még nem garancia arra, hogy a transzgén-kódolta fehérje nem okoz allergiát. Térbeli hasonlóság akkor is kialakulhat két fehérje között, ha az ehhez szükséges aminosavak-sorrendje különböző. Ezért a következő lépésben azt kell megvizsgálni, hogy a transzgén kódolta fehérje molekulásúlya, a hozzákötődő szénhidrátok szerkezete, a fehérje oldhatósága, stabilitása, izoelektromos pontja és hőstabilitása nem egyezik-e meg valamely ismert allergénével. Ezekhez a vizsgálatokhoz a legtöbb esetben az *Escherichia coli* baktériumban termelt transzgén-fehérjét használják annak ellenére, hogy a fehérjéhez kapcsolódó cukormolekulák különbözősége komoly hatással lehet a fehérje feltekeredésére és stabilitására, így az allergiát kiváltó képességére is.

Ha a transzgén-kódolta fehérje lebomlik az emésztő traktusban, akkor várhatóan nem fog allergiát okozni. Mivel a jelenlegi gyakorlatban a fehérjének enzimekkel szembeni stabilitását kémcsőben mérik és nem a bélben (37) sem a fehérje valódi stabilitására, sem allergiát okozó hajlamára nem lehet következtetni. Ezért a GM-élelmiszerek allergizáló hatásának a megállapítására a döntési sor kérdéseire adott válaszokon alapuló döntés tudományosan hibás hozzáállás. Ha ugyanis ezekkel a módszerekkel a GM-fehérje és a már bizonyítottan allergén fehérje közötti hasonlóságot nem lehet kimutatni, azzal még nem lehet a GM-élelmiszer allergiát okozó képességét kizárni.

Mi a helyzet az allergiával és a jelenleg forgalomban lévő GM-növényekkel? A RR-szója esetében a kémiai összetétel és a lényegi azonosság elve alapján kimondták, hogy a RR-szója lényegileg azonos a természetes szójával, mert a növényvédő szer lebontásáért felelős gén átvitele nem változtatta meg sem az összetételt, sem az allergiát okozó képességet. De amikor a vállalat az egyik tudományos cikkben adatokat közölt a RR-szója táplálkozástani hatásairól, világossá vált, hogy a GM-szójában lényegesen megnőtt a tripszin-inhibitor mennyisége (35). Ez olyan emésztést-gátló fehérje, amelyről már korábban kimutatták, hogy allergén. Azt viszont sokkal nehezebb eldönteni, hogy az a fehérjéje, amit eddig nem fogyasztottunk, okozhat-e allergiát.

Egy felmérés során allergia vizsgálatokat végeztek mezőgazdasági munkásokon a *Bacillus turingiensis*-sel való permetezés előtt és után. A bőr-teszt azt mutatta, hogy néhány munkásban allergia alakult ki a baktérium spóráival szemben (40). Ezeknek a munkásoknak a vérére fel lehetett volna használni arra, hogy a *cry*-toxint-tartalmazó GM-növények allergizáló hatását megvizsgálják. Ez ezért is fontos lett volna, mert az újabb kutatások azt mutatják, hogy a *Cry1A* nevű toxin, aminek a génjét több növénybe is átvitték, azon kívül, hogy allergiát okoz, nagyon hatásos adjuváns (lásd a 41 hivatkozást), azaz olyan anyag, ami a vele együtt a szervezetbe kerülő

más anyagok elleni immun-reakció kiváltását elősegíti). Az is lehetséges, hogy más transzgen-kódolta fehérjéknek is van ilyen adjuváns hatásuk. Az ilyen transzgen megnövelheti a GM-növényben eredetileg jelenlévő gyenge allergének hatékonyságát is.

A döntési fa kérdései alapján a Star-Link nevű GM-kukoricát, amit az európai Aventis cég forgalmazott az Egyesült Államokban, az EPA (az amerikai Környezetvédelmi Ügynökség) csak állati takarmányként engedélyezte. Ez a kukorica a *Bacillus thuringiensis* baktérium egyik olyan toxinját tartalmazza, amit *Cry9C*-nek neveznek. Kémcsőben ennek a toxinnak még a baktériumban termelt változata sem bomlott le elfogadható sebességgel, így a Star-Link kukoricát nem találták alkalmasnak emberi fogyasztásra. 2000 szeptemberében a *Friends of the Earth* (A Föld Barátai) nevű szervezet néhány kukorica-tartalmú élelmiszerből mintát vett, és ezeket elküldte az egyik hatósági laboratóriumba. A mintákról kiderült, hogy az emberi fogyasztásra nem engedélyezett *Cry9C Bt*-toxin transzgent tartalmazták. A nagy élelmiszer-áruházak polcairól több száz kukoricát tartalmazó élelmiszert kellett visszahívni. A hír hallatán a japán és koreai kukoricaimportőrök visszamondták az USA-ból a rendeléseiket, ugyanis kiderült, hogy az abban az évben termelt kukorica jelentős része a *Cry9C* génnel volt szennyezve. A GM-kukoricát előállító vállalat állítólag figyelmeztette a Star-Link kukorica-vetőmagot vásárló farmereket, hogy ezt a kukoricát a többitől elkülönítve kell kezelni, mert emberi fogyasztásra nem használható, de a farmerek azt állították, hogy erről mit sem tudtak, ezért a termést összekeverték a többi kukoricával. Annak ellenére, hogy a Star-Link-kukoricát a vetésterületnek kevesebb, mint 1 %-án termesztették, a gén részben bekeveréssel, részben keresztbeporzással mégis beszennyezte az USA teljes kukoricakészletének 22 %-át be.

Az USA-ban rendkívül népszerűek a kukoricát tartalmazó, mexikói jellegű ételek. Amikor a STAR-LINK-problémára terelődött a figyelem, a kukoricából készült ételek fogyasztása után sok ember észlelt magán allergiás tüneteket. Ezek közül sokan nem is tudták, hogy allergiásak a kukoricára. Hivatalosan meg nem erősített hírek szerint néhányuk anafilaktikus sokkot kapott. Még ma sem tudjuk biztosan, de lehetséges, hogy épp ők ették a transzgent tartalmazó kukoricát. Annak ellenére, hogy ezekből a betegek közül a vérminták rendelkezésre álltak, a megfelelő vizsgálatokat mégsem végezték el, így a STAR-LINK allergizáló hatását nem lehetett sem bizonyítani, sem kizárni. Az különösen érthetetlen, hogy az EPA miért a forgalmazó vállalatotól kérte el a vizsgálathoz szükséges *Cry9C* fehérjemintát. Mivel ezt a fehérjét GM-baktériumban termelték, már a vizsgálatok előtt meg lehetett jósolni, hogy a rekombináns *Cry9C* fehérje nagy valószínűséggel nem fog reagálni azoknak a betegeknek a vérével, akik a GM-növényben szintetizált *Cry9C* ellen termeltek ellenanyagot, hiszen a két fehérje lényegesen különbözhet egymástól. A kontroll vérmintákat sem frissen vették le azoktól a betegektől, akikről előzőleg már megállapították, hogy nem allergiásak a kukoricára, hanem a régóta fagyasztva tárolt vérmintákat használták. Mivel a lefagyasztott kontroll vérminták gyakran adnak téves pozitív reakciót, az allergia megállapításához használt anyag is, de maga a módszer is tudományosan hibás volt.

Ezek után nem lehet csodálkozni azon, hogy a vállalatot felmentették az allergia-kiváltó kukorica termesztésének és forgalmazásának vádjá alól. Ennek ellenére, az Aventis több, mint egy milliárd dollár kártérítést fizetett a különféle vállalatoknak, farmereknek, kereskedőknek stb. A végeredmény a hatóságok szerint az lett, hogy a STAR-LINK gén szennyezésként bekerült az Egyesült Államokban termelt kukoricák genomjába.

Alighanem az allergiát okozó hatás a GM-technológia Achilles-sarka. Ha egy ismert allergént használnak a transzgen forrásaként, nagyon valószínű, hogy a GM-növény is allergiát fog kiváltani. Sajnos ennek a fordítottja nem igaz. Jelenlegi tudásunk alapján egyik GM-növényről sem lehet előre biztosan megjósolni, hogy okoz-e allergiát vagy sem.

A biztonsági vizsgálatok hiányosságai

Azt tapasztalhatjuk, hogy terjedelmesek ugyan azok a dokumentációk, amelyeket az engedélyezéshez mellékelnek, de kevés bennük az olyan adat és kísérleti eredmény, amelynek alapján biztosan el lehetne dönteni, van-e vagy lehet-e káros hatása a beépített vagy a beépítendő génnek. Ezeket az adatokat és eredményeket megfelelő biológiai vizsgálatokkal kellene alátámasztani. Az említett dokumentációk nem hivatkoznak olyan kísérletekre és vizsgálatokra sem, amelyek kimutatnák a DNS-szakaszok esetleges összekeveredését (gene-scrambling) is.

Tény, hogy az Egyesült Államokban, ahol a legtöbb GM-vetőmagot és GM-élelmiszert engedélyezték, a hatóságok semmilyen vizsgálatot nem követelnek a vállalatoktól. Csak arra van szükség, hogy hat héttel a forgalomba hozatal előtt a biotechnológiai vállalat értesítse a hatóságokat az új géntermék kibocsátásáról. Ezt a lényegi azonosság elvével indokolják. Az elmúlt évben ugyan az FDA revízió alá vette ezt az álláspontját, és úgy döntött, hogy mégiscsak szabályozni kellene a génmanipulációval előállított élelmiszerek engedélyezését, de ezek a szabályok egyelőre még váratnak magukra.

Bár kezdetben az EU-ban a GM-növények engedélyezésénél az egyik fontos tényező ugyancsak a lényegi azonosság volt, ma már az engedélyezés a döntési sor kérdéseinek megválaszolásával történik. Az EU 1998 óta nem engedélyezett új GM-növényeket azzal az indoklással, hogy még nem készült el az új géntechnológiai törvény. Azonban 2004-től újabb GM-növények engedélyezése várható és a GM-növények szabadföldi termesztését is jóvá fogják hagyni.

A fentieket figyelembevéve fontos lenne leszögezni azt, hogy mik azok a biztonsági vizsgálatok, amiket eddig még nem végeztek el a már engedélyezett GM-növényekkel (elsősorban a génmanipulált szójjával, kukoricával stb.), vagy ha a kísérleteket el is végezték, azokat nem közölték le a tudományos folyóiratokban, és eredményeiket nem nyújtottak be a hatóságokhoz. Talán a legfontosabb annak tisztázása lenne, hogy mik azok a minimális követelmények, amelyeket a GM-növényeknek és a belőlük készített élelmiszereknek ki kell elégíteniük és milyen vizsgálatokat kell rajtuk okvetlenül elvégezni az engedélyezés és a forgalmazás előtt.

A spliceszómák esetleges szerepe a génátvitel technikájában tisztázásra szorul. Ehhez az szükséges, hogy a módosítás után a GM-növény összes fehérjéjét azonosítsák (pl. proteomixxel), az egyes fehérjék mennyiségét meghatározzák és összehasonlítsák az eredeti növényével. Így azt is tisztázni lehetne, hogy a *CaMV 35S* promóter nem kapcsolta-e be a növény valamelyik eredetileg hallgató génjét, és hogy valamelyik működő gén véletlenül nem kapcsolódott-e a génmódosításkor. Azt is fontos lenne tudni, hogy ha a gének működésében esetleg valamilyen változás következett be, akkor ez csak egyes szervekben, vagy a növény minden részében megtörtént-e.

- Meg kell vizsgálni, hogy megváltoztatja-e a génmódosítás a szintetizált fehérjékhez kapcsolódó vegyületeket vagy kémiai csoportokat és a fehérjék térszerkezetét (alakját, térbeli szerkezetét), hogy meggyőződhetnek arról, hogy vajon az új fehérjét a befogadó növény saját saperonjai jól tekinték-e fel.
- A módosított növény teljes DNS láncát szekvenálni kell ahhoz, hogy kiderüljön, milyen hatással volt a génbevitel és az újonnan bevitt génszekvencia a növény hibajavító enzimeire és okozott-e valamilyen változást a genomban. Ilyen vizsgálatokkal például meg lehetett volna a GM-szójjában találni azt a két új DNS szakaszt, amit a belga kutatók csak évekkel később derítettek fel.

- Meg kell vizsgálni, hogy a horizontális génátvitel nem vezet-e új vírusok keletkezéséhez (ez köpenyfehérje DNS gén átvitelnél merül fel), vagy hogy nem aktiválódtak-e nyugvó vírusok a növény genomjában.
- Szükség lenne arra is, hogy GM-növényeknél ne csak a termés mennyiségére, hanem az összes más paraméterekre kifejtett környezeti hatásokat is megvizsgálják.
- A szintetikus géneket össze kell hasonlítani a természetben előforduló változatokkal, hogy meg lehessen állapítani, milyen hatása van a gének expressziójára azoknak az eltéréseknek, amelyek a genetikai módosítás során létre jöhetnek közöttük.
- Több gondot kellene fordítani a több gén egyszerre történő átvitelének (gene stacking) következményeire és az ebből eredő esetleges veszélyek kutatására (ez arra az eshetőségre is vonatkozik, amikor GM-növényekből keresztbeporzással, nem szándékosan ugyan, de egyes transz gének átkerülnek más növényekbe, esetleg GM-növényekbe is).
- Meg kell vizsgálni, hogy a transzgén bekerülhet-e az állati vagy az emberi szervezetbe, pl. a GM-növényeken alapuló élelmiszerek fogyasztásakor a bélhámsejtekbe belsejtekbe akár táplálkozáskor, akár valamilyen más úton, pl. az ivóvízzel, esetleg a GM-növény pollenjének belélegzésével. Ez vonatkozik a karfiol-mozaikvírus promóterre is.

Az amerikai Commoner professzor (5) arra figyelmeztet, hogy ezek közül az alapvető kísérletek közül egyet sem végeztek el, mégis több milliárd transzgén-tartalmazó növény nő a szabadban és alig tudunk róluk valamit. *„Ha figyelembe vesszük, hogy a váratlan hatások valószínűleg csak lassan fejlődnek ki, ezeket a növényeket sok generáción át kellene figyelni. Az állandó megfigyelés és analízis hiányában nem vesszük észre, ha esetleg valamilyen probléma alakulna ki. A genetikailag módosított növények termelése olyan gigantikus, ellenőrizhetetlen és elrontott kísérlet, amelynek teljesen kiszámíthatatlan a kimenetele.”* – mondta.

Bejuthatnak-e engedélyezés nélkül a GM-élelmiszerek az emberi táplálékláncba és ennek milyen következményei lehetnek

A GM- és a nem-GM-termékek különválasztása és elkülönített forgalmazása majdnem lehetetlen a jelenlegi termelési, feldolgozási és raktározási módszerek mellett ha ahhoz a biotechnológiai vállalatok nem járulnak aktívan hozzá. Az allergiával kapcsolatban már említettük, hogy mi történt a *Cry9C* toxint tartalmazó STAR-LINK kukoricával. Ebből az engedélyező hatóságok megtanulhatták volna, hogy ha az országban ugyanazt a növényt hagyományos és GM-formában is termesztik, a hagyományos növény és az abból készített élelmiszerek is elkerülhetetlenül tartalmazni fognak több-kevesebb GM-terméket is. Bár sokan azzal érvelnek, hogy a STAR-LINK kukorica-szennyezés nem volt veszélyes az emberek egészségére, ez az eset azt bizonyította, hogy a hatóságokat teljesen készületlenül érte a szennyezés. Kiderült, hogy veszély esetén nincs olyan begyakorolt, vagy hatásos módszerük, amelynek a segítségével bármily veszélyes GM-anyagot gyorsan és teljesen mértékben ki lehet vonni a forgalomból. Az, hogy a STAR-LINK veszélyes volt-e vagy sem, vitatható, de a felkészületlenség hiánya még akkor sem engedhető meg, ha a potenciálisan veszélyes GM-növényt nem élelmiszer, hanem takarmány, vagy pl. gyógyszer előállítására végzett termesztik

A GM-növények és különösen a gyógyszert termelő GM-növények termesztésével kapcsolatos esetleges veszélyek annyira reálisak, hogy ez nemcsak a kételkedő kutatókat és a természetvédő szervezeteket aggasztja, de még az amerikai szupermarketek szövetségét is, amelyek aggályukat fejezték ki amiatt, hogy a forgalmazott élelmiszerekbe a fogyasztók egészségét veszélyeztető bioaktív anyagok kerülhetnek. A GM-technológiának ez az új ága azért lehet veszélyes, mert a szabadban termelik azokat a GM-növényeket (elsősorban a

kukoricát, dohányt és a banánt), amelyekben a gyógyszereket, immun-reagenseket és oltóanyagokat termelik, így reális annak a veszélye, hogy a keresztbeporzás és a hagyományos növényekkel való elkerülhetetlen keveredés következtében az élelmiszerekben is megjelenhetnek biológiailag aktív gyógyszerek és immun-reagensek, akár akarjuk, akár nem. Erre már volt is példa, amikor az *USDA* (az Egyesült Államok Mezőgazdasági Minisztériuma) nagy összegű bírságot szabott ki az egyik szántóföldi kísérleteket végző vállalatra (*Prodigen*), mert biológiailag aktív anyagokkal szennyezte a környezetet és az ottani élelmiszer-növényeket, megszegve a még meglehetősen laza amerikai előírásokat is. Ez egyelőre még csak egy kísérletnél fordult elő, de mi lesz akkor, ha ezeket a GM-növényeket nagyban kezdik el termesztetni, ahogy azt Coloradóban 2004-től tervezik?

Végül, sokan attól félnek, hogy a GM-növények nagybani termesztése Európában lehetetlenné teszi a biogazdálkodást. Nagy-Britanniában a biotermesztésben résztvevő gazdák szövetségének (*Soil Association*) előírásai szerint a biotermékek GM-szennyezése egyáltalán nem engedhető meg, ami gyakorlatilag nulla szennyezést és toleranciát jelent. Ilyen körülmények között a GM-növények termesztése az egyre népszerűbb biotermesztés felszámolását jelentheti.

Mindebből elkerülhetetlen az a következtetés, hogy a GM-növények hosszú távú biztonsági- és stabilitási vizsgálatát olyan módszerekre alapozták, amelyek első megközelítésben tudományosan látszanak ugyan, de közelebbről megvizsgálva nem csak a társadalom, hanem egyes kutatók szerint sem kielégítőek. A biotechnológiai ipar azt hirdeti, hogy a GM-növények csodálatos dolgokra képesek. Nagyobb a hozamuk, táplálkozástanilag előnyösebbek (több vitamint, kevesebb és jobb összetételű zsírt tartalmaznak stb.), mint a hagyományos növények, és olyan rendkívüli körülmények (aszályos és szikes földeken stb.) között termeszthetők, ahol más haszonnövények nem élnének meg. Érdekes módon ezek mindig csak azokra a GM-növényekre vonatkoznak, amelyek jelenleg még nem léteznek és csak a jövőben kerülnek kibocsátásra.

Ezzel szemben a jelenleg a piacon lévő GM-növények vagy csak a herbicidek lebontására (többnyire a *ROUNDUP GYOMIRTÓ*) képesek, ami több *glyphosate* használatot és magasabb szermaradvány-értékeket eredményezett élelmiszereinkben, vagy maguk termelik a rovarölő szert (*Bt*-növények), ami a fogyasztó számára annak a permetezőszernak a fogyasztását eredményezi, amelyet a növény termel. Ezek alapján világos, hogy a haszon azé, aki a magot eladja, vagy esetleg azé, aki a növényt termeszt, de a kockázat mindig a fogyasztóé.

Az eddig elvégzett kockázatbecslési tesztek tanulságai

A FLAVR-SAVRTM paradicsom

Néhány GM-növény biztonsági-vizsgálatának leírása megtalálható az irodalomban, de a GM-paradicsommal végzett vizsgálatokat tudományos cikkben eddig még nem közölték le. Ezek az Egyesült Államokban végzett vizsgálatok rendkívül fontosak azért, mert a génmanipuláció szabályozásának a történetében egyedülálló szerepet játszottak. A legtöbb szakértő is meglepődik, amikor megtudja, hogy eddig az *FDA* csak egyetlen GM-növény biológiai biztonsági vizsgálatát rendelte el, a FLAVR-SAVRTM paradicsomét. A GM-paradicsomba ültetett génnek az érést kellett volna lelassítania. A FLAVR-SAVRTM -paradicsom az antiszensz technikával (lásd a 22. oldalt) készült, mégpedig azért, hogy a paradicsom érését előidéző gén működését egy komplementer bázissorrendű transzgen bevitelével leállítsák. Az *FDA* szerint a FLAVR-SAVRTM transzgen és az antibiotikum-rezisztenciát kódoló *kan'* (markergén) nem okozott változást a paradicsom kémiai összetételében és a glikoalkaloidok szintjében sem. (A glikoalkaloidok a paradicsomban alacsony koncentrációban előforduló méreganyagok.) A GM-paradicsommal akut toxicitási vizsgálatokat végeztek. Mivel az *FDA*-nak nincs saját laboratóriuma, ezért a kísérletekre külső megbízást adtak az egyik laboratóriumnak. A kísérlet során a hím és nőstény patkányoknak naponta gyomorszondán át egy-egy homogenizált GM- illetve nem-GM-paradicsomot adtak. Emellett az állatok rendszeren kaptak enni és inni. A kísérlet végén az *FDA* szerint semmiféle különbséget sem találtak a hagyományos és a GM-paradicsommal etetett patkányok között. Nem volt eltérés sem súlygyarapodásban, sem a táplálék felhasználásban, sem a hematológiai értékekben. Ebből azt a következtetést vonták le, hogy a GM-paradicsom nem káros az állatokra. Ezért az *FDA* úgy döntött, hogy a jövőben a GM-növényből készült élelmiszereket biológiai vizsgálat nélkül is engedélyezni lehet (az *FDA* máig sem kíván meg semmiféle biztonsági vizsgálatot).

Egy bírósági ügy kapcsán azonban az *FDA* vizsgálati adatai nyilvánosságra kerültek és számos kísérleti hibára, valamint tévedésre derült fény. Kiderült (41), hogy

- a GM- és nem-GM-paradicsom mintákat nem egy helyen termesztették és nem egy időben szedték le, azaz lehet, hogy nem voltak lényegileg azonosak
- kétszeres súlykülönbség volt a patkányok súlyában a kísérlet indításakor és ez kiértékelhetetlenné tette a patkányok növekedési adatait, tápanyag hasznosítását és a szerveik közötti különbség megállapítását.

További problémát okozott, hogy a szövettani vizsgálatok szerint a GM-paradicsommal etetett 20 nőstény patkány gyomra közül az első értékeléskor négy, a második, ezt ellenőrző értékelésnél hét állatnál eróziós-nekrotikus elváltozásokat találtak a patológusok. Egyszerűen mondván, a patkányoknak gyomorvérzésük volt. Ezek a tünetek nem jelentkeztek sem a hagyományos paradicsommal etetett patkányoknál, sem a GM-paradicsomot kapó hím állatoknál. Ezeket az adatokat az *FDA* egyszerűen nem vette figyelembe, azt állítván, hogy ezek spontán keletkező, ideiglenes tünetek, amit a paradicsomban lévő nyálkaoldó anyagok okoztak. Az indoklással csak az a probléma, hogy a hagyományos termesztésű paradicsomban nincs ilyen anyag. Az eredményeket azzal is magyarázták, hogy a patkányok stresszes állapotban voltak. Ezt azért nehéz elfogadni, mert az állatok annyit és akkor ettek és ittak, amikor és amennyit csak akartak és a ketrecben is szabadon mozoghattak. Amikor ezt az érvet sem fogadták el, akkor az *FDA* azt állította, hogy a vérzés az állatokban maguktól elmúlt.

Ezzel az a gond, hogy az állatokat előbb megölték, és csak utána vettek mintát a szövettani vizsgálatokhoz. Az állatokat csak egyszer lehet megölni, és mivel a kísérleti körülmények minden patkánynál azonosak voltak, nehéz azt megmagyarázni, hogy a nekrozis miért csak a GM-paradicsommal etetett nőstény patkányoknál jelentkezett. A nekrozis esetleges következményei azért is fontosak, mert a kísérlet során azt találták, hogy a kísérlet során a 40 GM-paradicsom szuszpenziót kapó patkányból hét elpusztult. Ezt semmivel sem tudták megindokolni.

Embereknél a gyomorvérzés életveszélyes lehet az időseknél és azoknál, akik nem-szteroid jellegű gyulladásgátlókat szednek, például aszpirint, algopirint, kalmopirint. (A kondíció fokozottan veszélyes a fekélyesek vagy egyéb bélbetegségekben szenvedőkre nézve.)

Ezekből a vizsgálatokból azt a következtetést vonhatjuk le, hogy az *FDA* toxikológiai vizsgálatainak sem a tervezése, sem a kivitelezése nem felelt meg a tudomány jelenlegi normáinak. Miután az eredményeket sem közölték semmilyen tudományos folyóiratban és így nem voltak alávetve a szokásos tudományos referálásnak sem, az *FDA*-nak az a döntése, hogy mindezek ellenére sem a FLAVR-SAVR-paradicsom, sem más GM-növényből készült élelmiszer nem jelent veszélyt az egészségre és ezért nem kell vizsgálni sem, nem nyugszik megfelelő tudományos alapokon.

Kizárható-e az egészség-károsodás lehetősége a független, átlátható és tudományosan megalapozott táplálkozástani- és toxikológiai kockázatbecslés hiányában?

Kétségtelen, hogy az élelmiszerek biológiai tesztelése és táplálkozástani értékelése nem könnyű feladat. A különböző élelmiszerek összetétele rendkívül változatos. Különösen nehéz az emberekkel hosszabb ideig, szigorúan megszabott és ellenőrzött táplálkozástani kísérleteket folytatni. Ezért a jó nevű nemzetközi szakirodalomban csak nagyon kevés ilyen témájú cikk található. Még a felületes szemlélőnek is feltűnik, hogy a GM-élelmiszerek esetleges káros egészségügyi hatásait taglaló irodalmi összefoglalók nagy része a különböző magán, vagy hivatalos személyek és szervek véleményét tartalmazza a referált folyóiratokban közölt tudományos adatok helyett. Jelenlegi adatbázisunk annyira szegény, hogy ebből teljesen lehetetlen a GM-táplálékok biztonságára megbízható következtetéseket levonni. A viszonyok jellemzésére elég csak annyit említenünk, hogy a tudományos irodalomban eddig nem közöltek le egyetlen humán klinikai vizsgálatot sem. A kevés rendelkezésre álló adat is ipari laboratóriumokban kisállatokkal végzett kísérletekből származik és az eredményeket nem ellenőrizték független kutatók. Európában az elmúlt időszakban számos élelmiszer-biztonsággal kapcsolatos botrány volt. Amikor ezek napvilágra kerültek, a felelős politikusok az utolsó pillanatig körmük szakadtáig tagadták, hogy a már engedélyezett élelmiszerek közül valamelyik is egészségügyi problémát okozhatna. Így az egyszerű polgárok nem sok hitelt adnak sem a politikusok, sem a többnyire állami alkalmazásban álló kutatók kijelentéseinek. Bármennyire nehezükre is esik ezt a hivatalos közegeknek elfogadni, de minden józan paraszti ésszel gondolkozó ember számára világos, hogy az élelmiszerként felhasznált növényeink genetikai módosítása radikálisan új módszer (az esetleges új előnyökkel vagy hátrányokkal). Ezért a GM-élelmiszerek biológiai és táplálkozástani kockázatát, még a forgalmazásuk és fogyasztásuk előtt, és a biotechnológiai ipartól függetlenül kellett volna megvizsgálni. Sajnos, az a néhány eddig elvégzett teszt azt jelzi, hogy különösen hosszú távon, a lehetséges veszélyek igenis valóságosak. Nem lenne szabad beleegyezni, hogy a biotechnológiai ipar a vizsgálatok módszertani nehézségeire hivatkozva ne végezze el azokat az alapvető biológiai- és táplálkozástani vizsgálatokat, amelyek elengedhetetlenek a kockázatbecsléshez. Arra is megfelelő anyagi fedezetet kell találnunk, hogy az eredményeket a

független kutatásokkal vagy megerősítsék, vagy elvessék. Az az érv, hogy nincs egyértelmű bizonyíték arra, hogy a GM-élelmiszerek veszélyesek lennének az egészségre, nem bizonyítja azt, hogy ezek biztonságosak. Ez különösen fontos hiszen nyolc évvel a GM-technológia bevezetése után is alig egy tucat tudományos közleményből áll a GM-termékek biztonságára vagy esetleges káros hatásaira vonatkozó irodalom. Ezek között is csak kettő akad, amelyik valóban független laboratóriumból származik. A tudományban a kísérleti bizonyíték a döntő, és nem a pozíció, vagy a rang.

A biológiai tesztelés és a javasolt kísérleti terv

A GM-növényeket csak alapos vizsgálatok után lenne szabad engedélyezni. Ez nyilvánvalóvá vált a lényegi azonosság problematikus volta miatt is, meg a *FDA* GM-paradicsom adataiból is, meg azokból a kísérletekből, amelyeket Skóciában a *GNA*-burgonyával végeztünk. Az alapos vizsgálatokhoz a modern analitikai módszereken (*DNS-csip*, *DNS-profil meghatározás*, *proteomix*, *metabolomix stb.*) kívül biológiai vizsgálatokra is szükség van, mert ezek nagyobb valószínűséggel képesek az esetleges káros hatásokat kimutatni és a fogyasztók egészségét védeni.

Az a több-lépcsős vizsgálat, amelye javaslatot tettünk, egymással összefüggő és fokozatos tesztelési módszeren alapul (34, 40). Az első lépés, hogy megtaláljuk a megfelelő transzgént. Az a fehérje, amit ez a gén termel sem az emberre, sem az állatra, sem más hasznos szervezetre sem lehet toxikus. A módosítás után a génterméket izolálni kell a GM-növényből, és be kell bizonyítani, hogy a GM-növényben termelt fehérje azonos az eredetivel. Erre a célra az *Escherichia coli* baktériumból tisztított fehérje nem használható, hiszen a növényi sejt és a baktérium ugyanarról a *DNS*-szekvenciáról különféle glikoziláltságú és térszerkezetű fehérjét szintetizálhat!

A lényegi azonosság megállapításához a GM- és a szülő vonal növényeit azonos körülmények között, egymás mellett kell termesztetni, és ezekből kell a mintákat venni. A mintákból minden ismert összetevőt megbízható és modern analitikai módszerrel (*proteomix*, *metabolomix*, *DNS-csip* technika, *DNS-profil meghatározás stb.*) meg kell határozni.

A táplálkozástani (és esetleg toxikológiai) vizsgálatok minden esetben szükségesek a GM-növény biztonságának megállapításához. Alapvető, hogy ezekhez a kísérletekhez fiatal, gyorsan növő állatokat használjunk. A kísérlet indításakor az állatok súlyának nagyon szűk határokon belül kell lennie (a megengedhető eltérés nem lehet több, mint 1-2 %). Abszolút követelmény, hogy az összes táp fehérje- és energia-tartalma azonos legyen, valamint a kísérleti- és kontroll állatok azonos mennyiségű tápot kapjanak, különben nincs jogunk a mért értékeket összehasonlítani. Folyamatosan követni kell az állatok növekedését, anyagcseréjét és vizsgálni kell a szerveik fejlődését, elváltozásait, az immun- és endokrin-rendszer működését. Ahogy az a skóciai GM-burgonyakísérletünkénél történt, minden kísérletben két-féle kontroll tápot kell etetni. Az egyik kontroll olyan, a szülő vonalra alapozott táp legyen, amely a GM-vonallal azonos körülmények között termesztett növényen alapul. A második kontroll ugyanez a táp, de ehhez még hozzá kell adni a termesztett GM-növényből izolált transzgén fehérjéjét ugyanabban a mennyiségben, mint amennyi a GM-növényben található (szülő vonal + a géntermék). Ezt a két kontrollt kell összehasonlítani a GM-növényt tartalmazó kísérleti táppal (GM-táp). Biztosítani kell, hogy az állatok a tápból azonos mennyiséget egyenek.

Az azonos mennyiségű tápon tartott, egyedileg etetett patkányok csoportjait (csoportonként minimum 5-6 állatot) a kísérlet alatt folyamatosan figyelni kell, hogy nem tapasztalunk-e náluk valamilyen rendellenességet. Minden állat fejlődését egyedileg kell követni. A nitrogén

egyensúly és a tápanyag-hasznosítás méréséhez rendszeres időközben vizelet- és székletmintákat kell venni. A kísérleti táp etetésének megkezdése előtt is, és a kísérlet során is vérmintákat kell venni az immun- és endokrin rendszer működésében bekövetkező esetleges változások nyomon követésére. A kísérlet végén az állatok bélrendszerét, béltartalmát és belső szerveit ki kell venni és a súlyukat megmérni, mielőtt a hisztológiai- és DNS-vizsgálatra, valamint a kémiai analízisre stb. felhasználnánk azokat. Különösen nagy figyelmet kell szentelnünk a GM-növényen alapuló táp bélrendszerei hatásainak. Ez érthető, hiszen ez az első szerv melynek felületi sejtjei érintkezésbe kerülnek a GM-táp összetevőivel. A bélrendszerben okozott változások rendkívül fontosak lehetnek a GM-növények táplálkozási biztonságának megítélésében.

A kísérleti adatok statisztikai értékelésénél többszörös variancia-analízist kell végezni. Ha ennek alapján a GM- és a szülői vonalon alapuló táppal etetett csoportok paraméterei között különbség van, akkor a GM-növényen alapuló élelmiszer nem biztonságos és a további részletes vizsgálatok feladata, hogy ennek okát megállapítsa.

Ha a szülői vonalon tartott és a szülői vonalhoz adott izolált géntermékkel etetett csoportok között mért értékek statisztikailag szignifikánsan eltérnek, akkor a transzgén terméke nem biztonságos és ezt a gént nem szabad génmódosításra használni.

Ha a szülői vonalból készített kontroll táphoz adott izolált génterméket tartalmazó és a GM-növényen alapuló tápon tartott állatokon mért értékek különböznek, akkor a génmódosítás folyamatával és módszerével van a probléma. Ugyanis mindkét csoport tápjának azonos a kémiai összetétele, mindkettő azonos mennyiségben tartalmazza a génterméket, és csak annyi különbség van a két diéta közöttük, hogy az egyikben a génterméket a genetikailag módosított növény termeli, míg a másikban a génterméket vegyszerként keverjük a táplálékhoz. Skóciai kísérletünkben ilyen különbséget találtunk a GNA-burgonya etetésekor. A még nem módosított burgonyára alapozott kontroll tápon és az ugyanerre a burgonyára alapozott diétán, amihez a GNA-t csak hozzáadtuk, az állatok bélrendszere hasonlóképpen viselkedett. A GM-tápon tartott kísérleti csoport bele viszont ezektől különbözött, tehát nem a transzgén, hanem a genetikai módosítás folyamata volt a felelős a változásért (21).

Szigorúan ellenőrzött körülmények között meg kell vizsgálni a GM-növényeken alapuló élelmiszerek reprodukciós képességre gyakorolt hatását is, különösen akkor, ha a hím és a nőstény patkányoknál is találunk problémákat és ha az elváltozások a GM-táppal etetett patkányok nemi szerveit (a herét, a prosztatát, a méhet vagy a petefészket) érintik. Ezeket a kísérleteket legalább négy generáción át kell folytatni ahhoz, hogy megismerjük a GM-élelmiszerek hosszú távú hatásait. A négy generáción át folytatott kísérletekre azért van szükség, mert körülbelül ennyi idő kell ahhoz, hogy a kóros elváltozások kialakuljanak és észlelhetők legyenek.

Ezekben a tesztekben a patkányt, mint humán modellt használjuk. A kísérleti eredmények értékelésekor figyelembe kell vennünk, hogy a leánygyermek petesejtjeiben már a születésekor ott van az anyától származó genetikai anyag a következő generáció számára. Így a nagymamát érő környezeti hatások befolyásolják az anyai ágon öröklődő kromoszómák kiválasztódását. Ez a mai gyermekek esetében az 1950-es évekre tehető, amikor megindult a mezőgazdaság kemizálása, a nők elkezdtek munkába járni, általánossá vált a közétkeztetés és elterjedtek a babatápszerek. A gyermekek bölcsődébe és óvodába jártak. Ezeknek a folyamatoknak az esetleges hatása csak mostanában jelentkezhethet.

Az apai spermioenezist és az örököltes kromoszómákat a jelenlegi környezeti hatások és a mai táplálkozási szokások befolyásolhatják. Gondoljuk csak el, mit jelent ez, ha új táplálkozási szokásaink hatását értékelni akarjuk, különösen, amikor figyelembe vesszük a mezőgazdaság kemizálását és mostanában a GM-élelmiszerek bevezetését.

Éppen ezért, ha az állatkísérletek nem jeleztek veszélyt, a GM-táplálék kockázat-becslésének következő lépésében a GM-élelem humán biztonságát kell vizsgálni. Az eredményeket a gyógyszerekhez hasonlóan, meg kell erősíteni önkénteseken végzett *placebo*-kontrollt használó, kétszeresen vak klinikai vizsgálatokkal. A vizsgálatoknál azt is figyelembe kell vennünk, hogy a jelentkező esetleges problémák várhatóan súlyosabbak lesznek az öregeknél, gyerekeknél, valamint a bélrendszeri és a vírusos megbetegedésekben (hepatitis, *HIV* stb.) szenvedőknél és a rákos betegeknek.

Rendkívül fontos lenne olyan új típusú kutatások megindítása, amelyek azt vizsgálják, hogy lehetséges-e a jelenleg használt, de megbízhatatlan géntechnológiai módszert olyan új technikával helyettesíteni, amely szilárd tudományos alapokon áll és a segítségével előállított GM-termékek tulajdonságai könnyebben megjósolhatóak, és mind a környezet, mind pedig az egészségünk szempontjából biztonságosabbak, mint a jelenleg forgalomban lévők. Amíg ez nem történik meg, addig ragaszkodni kell ahhoz, hogy a vázolt javaslatokon alapuló kockázatbecslést, vagy ennek valamilyen bővített változatát elvégezzék minden új, és már elfogadott GM-növényen is.

A GM növényekkel kapcsolatos nemzetközi törvények és előírások

A különböző természet- és környezetvédő civil szervezeteknek, egyes tudósoknak és az európai fogyasztók jó részének egyik visszatérő követelése, hogy a GM-növényeken alapuló élelmiszerek forgalmazását függeszték fel (azaz moratóriumot kell hirdetni) addig, amíg el nem végzik a megfelelő biztonsági vizsgálatokat. Az USA politikusainak és gazdasági vezetőinek az az egyik panasz az EU-val kapcsolatban, hogy 1998 óta nem hagyták jóvá egyetlen új GM-növény engedélyezését és az ezekből készített élelmiszerek forgalmazását sem. Bár az EU formálisan nem hirdetett moratóriumot a GM-növények engedélyezése ellen, de ezt az Egyesült Államokban mégis úgy tekintik, mint *de facto* moratóriumot. Emiatt panaszt emeltek a Világkereskedelmi Szervezetnél. Az USA szerint az EU viselkedése nem felel meg a szabad világkereskedelem szabályainak, így az EU tulajdonképpen a saját mezőgazdaságát védi. Az USA ezt az amerikai mezőgazdaságot igazságtalanul megkülönböztető, hátrányos intézkedésnek tekinti. Innen is látszik, hogy a GM-növények kérdésében a tudomány, a gazdaság és a politika szinte szétválaszthatatlanul összefonódik.

Ha ehhez még azt is hozzátesszük, hogy a világ nagy része, az EU-t is beleértve, aláírta az ún. Cartagena-protokollban meghirdetett elővigyázatossági elvet (amihez az USA, és néhány más, a GM-növények termesztésében érdekelt ország nem csatlakozott), akkor világossá válik, hogy a nemzetközi jog jelenlegi zűrzavara is komplikálja a GM-technológia helyzetét. Az elővigyázatossági elv kimondja, hogy azok az államok, amelyek úgy vélik, hogy a GM-növények bevezetése fenyegeti környezetük vagy népességük egészségét vagy biztonságát, és ezt alapos okokkal alá is tudják támasztani, legálisan visszautasíthatják a GM-növények (főleg az Egyesült Államokból jövő) behozatalát. Ez pedig homlokegyenest ellenkezik a Világkereskedelmi Szervezet szabályaival.

Az eddig még nem engedélyezett GM-növények problémája nem súlyos. Ezeknél a befogadó állam az eddiginél sokkal szigorúbb követelményeken alapuló géntörvényre hivatkozva (lásd az EU újonnan megfogalmazott GM-szabályozó törvényeit és törvényjavaslatait) megtagadhatja minden olyan GM-növény behozatalát, amely nem felel meg a törvények előírásainak. Az egyes államok az elővigyázatossági elvre hivatkozva gyakorlatilag moratóriumot hirdethetnek. Azt is tudnunk kell, hogy ebben az esetben az állam elkötelezi magát arra, hogy a moratórium idejét a biztonsági vizsgálatok elvégzésére használja fel. Így ezt az elvet nem lehet arra használni, hogy a GM-növények behozatalát bárki is véglegesen megtagadja.

A törvény azt is előírja, hogy mind az engedélyezett, mind a jövőbeli GM-növények engedélyezését az esetlegesen felmerülő új adatok birtokában rendszeres időközönként újra meg kell vizsgálni.

A probléma a már évek óta engedélyezett GM-növényekkel van. Ugyanis azok a régebben elvégzett biológiai és táplálkozástani vizsgálatok, amelyek alapján ezeknek a GM-növények forgalmazását jóváhagyták, ma már nem felelnek meg a követelményeknek. A nemzetközi jog szerint nem lehet visszamenőleg moratóriumot hirdetni. A legújabb EU szabályok ezt úgy próbálják rendezni, hogy az egyes GM-növények engedélyét csak meghatározott időtartamra adják ki. Ennek lejártával a forgalmazó biotechnológiai vállalatnak új engedélyezési kérelmet kell benyújtania. Ebben a kérelemben minden GM-növénynek (függetlenül attól, hogy már előzőleg forgalomban volt-e vagy sem) a már érvényben lévő, szigorúbb engedélyezési eljárásnak is meg kell felelnie, ha a vállalat a GM-növényt továbbra is forgalmazni akarja.

Az elmondottakból következik, hogy a *de facto* moratórium csak akkor szolgálja az emberiséget, ha ezt az időt arra használjuk fel, hogy alapvető, jól tervezett és kivitelezett tudományos kutatómunkával vizsgáljuk meg a GM-növények biztonságát és létjogosultságát.

Ajánlott irodalom:

Ferenczi Andrea: Genetika – génetika (1999) Harmat Kiadó, Budapest

A multinacionális cégek és bankok szerepe a biotechnológiában.

A GM-növények termesztésének globális következményei

A világ vetőmag előállításának és forgalmazásának kb. 30 %-a alig több, mint egy tucat multinacionális cég és leányvállalataik tulajdonában van. Ezeknek a vállalatoknak az öntörvényű növekedését (fúzióját) semmi sem tudja megállítani.

Ilyenek például a Merck, a Calgene, az Agracetus, az Asgrow Agronomics, a Sementes Agroceres (Brazília), a Holden's Foundation Seeds, az American Home Products, a Unilever's Plant Breeding International Cambridge, a MAHYCO (India), a Dekalb Delta & Pine Land Company, a Monsanto és Cargill International Company, stb.

Ezeknek a vállalatok a birtokában van genetikai módosításra vonatkozó szabadalmak nagy része. Közülük is kiemelkedik a Monsanto. A vállalat szabadalmainak a felsorolása ízelítőt adhat a koncentrációs mértékéről, hiszen birtokukban van a mai GM-technológiai szabadalmak többsége:

- a Bollgard gyapot

- a GM-szójabab (Agracetus)

- a *glyphosate*-rezisztens GM-növényekre vonatkozó szabadalom kukoricára, búzára, rizsre, szójára, gyapotra, cukorrépára, repcére, kenderre, napraforgóra, burgonyára, dohányra, lucernára, egyes nyárfákra, a fenyő-félékre, almára, szőlőre. A növényeken kívül szabadalmazták még az ezekkel a növényekkel kapcsolatos növénytermesztésben használt módszereket is: a gyomirtást, a vetést, és a többi tevékenységet

- a rekombináns marha növekedési hormon rBGH

- a GM-technológián alapuló orvosi szabadalmak

A biotechnológiai ipar meghirdetett célja, mint azt a Monsanto megfogalmazta: "... *hogyan megoldást találjanak a világ egyre növekvő élelmezési és egészségügyi gondjaira.*" Sokan úgy gondolják, hogy a valódi céljuk a monopolhelyzet kialakítása, a GM-növények mindenáron való elfogadtatása, és minden más megoldás hitelének lerombolása. Ennek elérésére a jog, a tudomány és a reklám minden rendelkezésre álló módszerét igénybe veszik. Ezt a célt támogatja az USA hivatalos politikája, amely ehhez igénybe veszi az állami, szövetségi és nemzetközi jogot és törvényeket. A cél eléréséhez felhasználják a politikusokat, az állami tisztviselőket, a szabadalmi jog kiskapuit, a Világ Kereskedelmi Szervezetet (*WTO*), és a mezőgazdasági termelést, az egészség és a környezet védelméért felelős hatóságokat és az élelmiszeripart szabályozó szervezeteket (az *USDA-t*, az *APHIS-t*, a *FDA-t*, az *EPA* stb.)

A ma függetlenül alig vizsgált és így biztonságosnak sem tekinthető GM-növények elterjedésével fennáll annak a lehetősége, hogy ez az irreverzibilis technológia egészségügyi, környezeti és gazdasági veszélyeket jelenthet a világ számára. A GM-növények termelésében a technológia visszafordíthatatlansága a legfontosabb tényező és ha ezt a folyamatot nem korlátozzák vagy nem sikerül megállítani, akkor a világ termőföldjeinek transzgen-szennyeződése elkerülhetetlen. Ez valószínűleg befejezett tények elé állítja az emberiséget. A GM-növények világméretű termelése olyan világ kialakulásához vezethet, ahol monokultúrák

fogják borítani még azokat a termőföldeket is ahol ez a termesztési módszer nem általános és felgyorsul a biodiverzitás felszámolása.

A vetőmag monopólium azt eredményezi, hogy a farmerek függőségbe kerülnek. Ehhez az is hozzájárul, hogy a GM-élelmiszerek világméretű fogyasztása révén a GM-haszonnövényeken alapuló élelmiszeripar tovább koncentrálódik és az így kialakult egyre nagyobb vállalatok összefonódnak a GM-vetőmagot forgalmazó multinacionális vállalatokkal, ami ezek hatalmának további növekedéséhez vezet.

A molekuláris biológia és a biotechnológia üzletté válása

Néhány, az ipar számára fontossággal bíró tudományág üzletté válása Nagy-Britanniában a XX. század közepén indult el, eleinte lassan, majd Margaret Thatcher, brit miniszterelnök-asszony konzervatív kormánya idején felgyorsult. Sokan úgy tartják, hogy ő az, aki tönkretette a brit alaptudományok kutatását, és bezáratta az összes olyan kutatási egységet, ahol nem tudtak a közvetlen gyakorlati hasznosításra vonatkozó kérdésekre kielégítő választ adni. Ez a folyamat lassan áterjedt egész Európára és a világ más országaira is és így a brit viszonyok leírása képet adhat az általános folyamatról. Azt mondhatjuk, hogy a XX. század 70-es éveiben kezdődött el egyes tudományágak, és ezen belül a biotechnológia ipari és kereskedelmi függősége. Mrs. Thatcher miniszterelnöksége alatt az intézetek és egyetemek egyre jobban kezdték az üzleti érdekeket szolgálni, és ezzel a tudomány szem elől veszítette igazi céljait. A kutatók is elvesztették függetlenségüket, mert ettől kezdve a tudomány fő célkitűzése nem a világ és az élet megismerése, hanem az anyagi javak és a gazdagság tudományos bázisának a megeremtése lett.

Az 1980-as években az angol kormány felállított egy bizottságot, amely magas képzettségű és komoly pozíciókat betöltő emberekből állt. Az volt a feladatuk, hogy olyan gazdasági és szellemi irányelveket dolgozzanak ki, amelyek segítségével az ország gazdasági jövőjét biztos alapokra lehet helyezni. A csoport egyik legfontosabb megállapítását így lehet röviden összefoglalni: az a jó tudomány, amit rövid időn belül pénzzé lehet váltani. A tudás csak akkor jó, ha az eredményeket rögtön fel is lehet használni, azaz ha valami hasznos dolog jön ki a kutatásból. Például jobb TV-eket, vagy gyorsabb számítógépet lehet építeni. Ez még nem lenne baj. A technológiai fejlődés fontos, de ezt csak a megalapozott elméleti kutatási eredmények biztosíthatják. A probléma akkor kezdődik, amikor ezt a folyamatot a feje tetejére állították és a termék kezdte el irányítani a tudományt. Ha a tudományt kizárólag csak az üzletet szolgáló kommerciális kutatásnak tekintjük, akkor feladtuk az alaptudományok fontosságát, szem elől veszítve azt, ami évszázadokon keresztül a haladás lendítőkereke volt. Ha rövidtávon csábítónak tűnik is, hogy a tudományt kizárólag a gazdasági érdekek szolgálatába állítsuk, hosszú távon ez nem szolgálja az emberiség érdekeit.

A brit állam vezetői a 90-es évek kezdetéig a célratoró és termék-orientált kutatást tartották fontosnak. A pénzt a kutatásokra még ebben az időszakban is főleg az állam adta, de a költségek folyamatosan, szinte exponenciálisan emelkedtek. Ezért Margaret Thatcher úgy döntött, hogy az állami terheket könnyítheti, ha az ipart szolgáló tudományt nem a társadalomnak, hanem az iparnak magának kell finanszíroznia. Ez jó politikai húzás volt, ugyanis a tudomány fő irányában a cél továbbra is a tudományos alap kutatáson nyugvó termékek létrehozása volt, viszont a brit kormány egy csapásra megszabadult a kutatási támogatások kötelezettségének nagy részétől.

Ez az új kutatás-finanszírozási mód elvileg nem okozott volna problémát, ha az új rendszer bevezetése nem hozott volna alapvető változást a kutatók számára. De sajnos, hozott. A kutatáshoz szükséges jelentős pénzeszegeket, amelyeket eddig a kormány (illetve az

adófizetők) biztosítottak, az ipartól kellett megszerezni. Valójában a kutatókat megvette az ipar, és ennek komoly következményei lettek. Az alapkutatásra kevesebb pénzt fordítottak, mert az ipar magára a termékre és a szolgáltatásokra helyezte a súlyt. A másik tényező, ami ebben az óriási változásban szerepet játszott, az volt, hogy az ipari kutatás egyik fő jellemzője a titkosság. Az iparnak az az érdeke, hogy az új és az általuk pénzelt kutatási eredmények ne juthassanak el a riválisokhoz. Ezzel ellentétben a tudományban a titkosság a tudományos kutatás legnagyobb ellensége. A tudomány előrehaladása a kutatók közti szabad adat- és eszmecserén alapul.

Az ipar részvétele a tudomány anyagi támogatásában önmagában még nem lenne káros, ha ez mértékkel történe. Ehhez azonban a kommerciális kutatást megfelelő keretek közé kellene szorítani. Ez azonban nem könnyű feladat.

Ezt egy, a brit viszonyokra jellemző példával lehetne jól illusztrálni. Az egyik intézetben a kutatók már hosszabb idő óta orvosi témán dolgoztak. Az egyik gyógyszergyár tudomást szerzett ezekről a kísérletekről és jelképes összegért egyszerűen megvette az intézettől a kutatókat az adataikkal és az eredményeikkel együtt. Így a jövőbeli kutatások támogatásával ingyen megkapta az előző évek eredményeit is anélkül, hogy ehhez egy fillérrel is hozzájárult volna. A szerződést a vállalat és az intézet állította össze és írta alá, de a kutatók (és az adófizetők) megkérdezését nem tartották szükségesnek. Pedig nekik attól a naptól kezdve a fizető céget kellett szolgálniuk. A vállalat engedélye nélkül még a szerződés aláírása előtti időszak eredményeit sem közölhették le. Az intézet azért adta el a kutatókat, mert ez volt a rövid-távú anyagi érdeke. Ez a prostituálódás folyamata.

Ugyancsak példaként említhetjük, hogy Indiában vannak olyan egyetemi tanszékek, amelyeket a biotechnológiai vállalatok szőröstül, bőrostül megvettek. Ilyen például a bangalori egyetem mezőgazdasági tanszéke, amely a MONSANTO vállalat egyik leányvállalatának a tulajdonába került.

A genetikában járatlan tudósok többsége, ha munkája során kapcsolatba kerül a genetikai módosítással, úgy kezd neki a munkának, hogy az ötlet milyen nagyszerű és mennyire fontos az emberiség szempontjából. Eleinte mi is így gondoltuk. A nemes cél a legtöbb kutatót fellelkesíti. De amíg az ember tájékozatlan a részletekben, addig nem tud megfelelő kritikával közeledni a GM-technológiához. A genetikai módosításról még most is sokan azt gondolják, hogy minden rendben van vele. Amikor valaki belevág az ilyen jellegű kutatásba és a téma előrehaladásával megjelennek a problémák, törvényszerű, hogy felmerül benne a kétely és gondolkodni kezd. Azzal nem sokan gondolnak, hogy ezeknek a kételyeknek a kinyilvánítása a kutatáson túlmutató következményekkel járhat. Elvégre nem csak kutatók vagyunk, hanem állampolgárok is, akik tiszta, rendezett és egészséges környezetben akarnak élni. Így aztán a genetikai módosítást nemcsak tudományos, hanem társadalmi, etikai stb. szempontból is meg kell vizsgálni. Sokaknak akkor nyílik csak ki a szeme, amikor a kételyek nyilvános hangoztatása heves ellenreakciókat vált ki. Az emberek ilyenkor, hozzánk hasonlóan, a saját kárukon tanulják meg, hogy meddig képesek a hivatalos szervek elmenni a GM-technológiát kritizáló nézetek elhallgattatásában.

A biotechnológiai ipar intoleranciája

A biotechnológiai ipar és az őket támogató politikai rendszer nehezen visel el a genetikai módosítási technológiával kapcsolatos kritikát. Erre is sok jó példát lehetne felhozni de talán az egyik legfrappánsabb ezek közül a mi esetünk. A skót Agrár-, Környezeti-, Élelmiszerügyi- és Halászati Minisztérium (SOAEFD) 1995-ben úgy döntött, hogy pénzelni fogja azt a 3-éves kutatási programot, amelyben három kutatócsoport vesz részt. Ezt a programot egyikünk (Pusztai Árpád) vezette. Legfontosabb feladatunk az volt, hogy a hatóságok számára

megbízható vizsgálati módszereket dolgozzunk ki a GM-növények esetleges egészségügyi- és környezeti veszélyeinek felderítésére. A másik kötelezettségünk az lett volna, hogy olyan kísérleti módszer-gyűjteményt állítsunk össze, amely biztos alapot nyújt a kockázatbecsléshez és amit a vállalatokkal is be lehet tartatni, hogy a GM-növények kockázatát és veszélyeit ezzel minimalizáljuk.

A kísérletekben modellként olyan GM-burgonyát használtunk, amelybe az egyik vállalat a hóvirág hagymájában található rovarellenes lektin (a GNA nevű fehérje) génjét vitte be. Az előkísérletekben a hóvirág lektin az emlősökre veszélytelennek bizonyult, mert az izolált GNA etetésekor még akkor sem találtunk elváltozásokat, amikor a GM-növényben várható mennyiség 800-szorosát kevertük a patkányok tápjába. Ezért úgy látszott, hogy a GNA génjét biztonságosan fel lehet használni a növények genetikai módosítására. A biotechnológia történetében ez volt az első és egyetlen alkalom, amikor hosszas elővizsgálatok alapján választottuk ki az átültetendő transzgént.

A *GNA*-t tartalmazó GM-burgonyák vizsgálatakor kiderült, hogy azok ugyan hatásosan ellenálltak a levéltetvek és fonalféreg kártevésének, ahogy ez az előkísérletek alapján várható is volt, de meglepetéseként az is kiderült, hogy nem volt ok-okozati összefüggés a burgonya levélben a *GNA* mennyisége és a kártevők elleni védelem mértéke között. Ez annyit jelent, hogy esetünkben többször a legkevesebb *GNA*-t tartalmazó GM-növények mutatkoztak legellenállóbbnak az atkák ellen. Azok a növények, amelyeknek a levelében több volt a *GNA*, néha kevésbé voltak védettek. A következő váratlan eredmény az volt, hogy a *GNA*-burgonya a kártevőkön kívül a hasznos rovarokat is károsította, pl. a levéltetvet fogyasztó katicabogarat. Az állatkísérleteink során pedig nyilvánvalóvá vált, hogy a táplálékkal felvett GM-burgonya azon kívül, hogy változást okozott az emlősök (patkányok) bélrendszerében és néhány más belső szervben, az immunrendszer működését is gátolta. Mindez annak dacára történt, hogy előzőleg már meggyőződünk a *GNA* fehérje biztonságos voltáról.

A dilemmánk az volt, hogy mit tegyen a kutató akkor, ha ilyen alapvető fontosságú és messzemenő következményekkel járó megfigyelést tesz? Mi a teendő, ha tudjuk hogy az emberek eszik már az ugyanezzel a technológiával előállított és már engedélyezett GM-növényeken alapuló élelmiszereket? Nyugtassuk meg a lelkiismeretünket, maradjunk csöndben és folytassuk a kutatást, vagy figyelmeztessük polgártársainkat is a megfelelő biztonsági vizsgálatok nélkül piacra dobott GM-élelmiszerek esetleges egészségkárosító hatására?

Úgy gondoljuk, hogy a társadalom iránti kötelesség és a tudományos etika fontosabb, mint a vállalatok haszna. Árpád 1998 augusztus 10-én interjút adott az egyik brit televíziós társaságnak a „*World in Action*” programban. Hangot adott annak az aggodalmának, hogy a brit fogyasztók az elmúlt 18 hónapban olyan GM-élelmiszereket fogyasztottak, amelyeket nem vizsgáltak meg kielégítően, ezért veszélyesek lehetnek az egészségre. A TV műsor óriási média-érdeklődést váltott ki, amit Árpád állásából való felfüggesztése, tudományos alkalmasságának megkérdőjelezése és eredményeink intézet általi megtagadása követett. Sajnos, az ilyen eljárásra nem ez az egyetlen példa. Azóta nyilvánvalóvá vált, hogy az ember hiába hisz naivul a kutatói szabadságban és hallgat a lelkiismeretére. Az intoleráns, csak a pénz parancsának engedelmeskedő, profit-motivált érdekeket képviselő politikai és tudományos vezetők mindenkit elhallgattatnak. Különösen a genetikai módosítást kritizáló és a technológiával kapcsolatos problémákat feltáró kutatási eredmények hangoztatása érinti kellemetlenül azt a politikai és gazdasági vezetést, amelyik a GM-technológia mellett kötelezte el magát. Ők ugyanis azt remélik, hogy a GM technológia sikeres bevezetése és nagybani terjesztése a jövőben százezreknek biztosít majd új munkalehetőséget és megemeli az állam adóbevételét. Ezért a vezető körök még a kételkedést sem tűrik el. A GM technológia

támogatása olyan számukra, mint egy vallási hadjárat. Mindenkit könyörtelenül félreállítanak az útból, aki akadályozza ennek az új iparágnak az elfogadását és térhódítását.

A kutatás folyamatosan csökkenő állami támogatása helyett a kutatás finanszírozását jórészt a bankok és az általuk támogatott nemzetközi nagyvállalatok vették át. Jelenleg ezek a cégek a politikai vezetéssel együtt, minden rendelkezésükre álló eszközzel az óriási profitot és befolyást ígérő biotechnológiai ipar (a GM-növények termesztését és a GM-gyógyászati módszerek) fejlesztését erőltetik, a biotechnológia forradalmában reménykedve. Korunkban a tudományos, ipari és a politikai hatalom a rendelkezésére álló összes eszközt és a pénzt arra használja, hogy fellépjen a kételkedők ellen. Sikerült ugyanis meggyőzniük magukat arról, hogy a biotechnológia az egyedüli járható út az emberiség számára. Aki ellenzi, vagy megkérdőjelezi a géntechnológia világmegváltó képességét vagy biztonságát, az luddita. (Ludditáknak nevezték azokat a kéziszővőket, akik a nagy ipari forradalom alatt összetörték a szövőgépeket.)

Az intézményesített elhallgattatás módszerei

A gazdasági, politikai- és tudományos intézmények nem tűrik a GM-technológia kritikáját. Mindent megtesznek annak érdekében, hogy megakadályozzák a rebellis nézetek általános elterjedését. Rendkívül sokrétűek és változatosak azok az intézményesített módszerek, amelyek segítségével azokat a szakembereket hallgattatják el, akiknek az eredményei vagy nézetei ellentétben állnak az üzleti vagy állami (politikai) érdekekkel.

Íme ezek közül néhány:

- Érvénybe léptetik a kutató szerződésének azon passzusát, amely előírja, hogy az alkalmazott semmilyen eredményről sem beszélhet az igazgatója írott engedélye nélkül. (Ez minden brit akadémiai kutató munkaszerződésének része). Ha az illető ezt megszegi, akkor az adatait elkobozzák és lehetetlenné teszik, hogy tovább dolgozzon.
- Felállítják a helyi, nagy tekintéllyel bíró kutatókból álló fegyelmi bizottságot, hogy kivizsgálja a „vétkes” fegyelemsértését. Ezután olyan sajtó-nyilatkozatot adnak ki, amelyben a bizottság megállapítja, hogy hibás volt a kísérlet tervezése és kivitelezése, ezért az adatok vagy semmit sem bizonyítanak, vagy épp azt mutatják, hogy minden a legnagyobb rendben van. A lényeg az, hogy a tényleges adatok ne kerüljenek a nyilvánosság elé.
- Ezt az egészet megismétlik országos és akadémiai szinten. Ez alkalommal az ország leg-hírnevesebb (lehetőleg aktívan már nem kutató) szakembereit és akadémikusait vonják be a bizottságba. Ők is interjúkat adnak a médiának, beszélnek az eredményekről, természetesen ugyanazt bizonygatva, hogy az adatok hibásak. Az eredményeket megint csak nem adják közre. Elmondják, hogy a vétkesnek különben sem szabad hinni, mert nem becsületes: vagy hazudik, esetleg másoktól tulajdonította el az adatokat, vagy a legfontosabb adatokat meghamisította, de lehet, hogy a hasára ütött, és nem is csinálta meg a kísérleteket. Ezért a kísérleteket meg kell ismételni olyan szakértőkből álló csoporttal, akiknek megvan a megfelelő képzettségük és ez a szakterületük. (Ez egyben azt is jelenti, hogy a vádlott nem jó szakember.) Természetesen ezeknek a kísérleteknek a finanszírozására nem adnak pénzt, így a kísérleteket soha senki sem tudja megismételni.
- A vétkes kutató eredményei – mint mondják – nem megbízhatóak, mert rossz volt a kísérlet tervezése, és az alkalmazott módszerek sem voltak megfelelőek. Vagy: a kutató előre tudta, hogy milyen eredményt vár és nem a megfelelő kontrollt alkalmazta. A levont következtetéseket nem támasztják alá a kísérleti eredmények. Az egész kutatást figyelmen kívül kell hagyni, hiszen az eredményeket nem tudták leközölni nemzetközi tudományos

folyóiratban, vagy ha mégis, akkor a folyóirat vagy kis impakt faktorú, vagy rendkívül alacsony a tudományos színvonala. Más (meg nem nevezett) adatok ellentmondanak az eredményeknek. Vagy: az eredmények nem szignifikánsak, vagy azokat nem a megfelelő statisztikai módszerekkel értékelték ki, esetleg ugyan az eredmények szignifikánsak, de nincs biológiai jelentőségük. Különbösen is, az eredmények semmit sem bizonyítanak, és nem is jellemzőek. Így aztán később a kísérleteket egy jobb kísérleti terv alapján, és javított, vagy pontosabb módszerekkel újra meg kell csinálni. Természetesen ez sem következik be.

A tudósok nem lehet hinni, mert nem megbízható, vagy túl öreg vagy még túl fiatal és tapasztalatlan, vagy össze volt zavarodva, vagy nincs meg a megfelelő képzése vagy szakképzettsége. Valószínűleg csak fel akarta magára hívni a figyelmet, rossz szándék vezette vagy híressé akart csak lenni stb.

Megkérdezhettünk, hogy ezekkel a módszerekkel eddig hány becsületes, de naiv kutatót hallgattattak el világszerte, és még hányat fognak a jövőben elhallgattatni. Olyan embereket, akik ragaszkodnak a tudományos igazsághoz, és nem a személyükre vagy a jövőjükre káros következményeket fontolgatják, avagy nem veszik figyelembe az üzleti és politikai érdekeket. Hányan áll módjában egyáltalán beszélni arról, hogy mi is történt vele? Sajnos, valószínűleg nem soknak és ez nem csak a kutatók kára, hanem az egész társadalomé is.

A biotechnológia bevezetésével kapcsolatos morális kérdések

Az emberek véleményét a neveltetésük, az életpaszatalaik és etikai kódexük formálja. Tapasztalataik jelentős része vagy a szakmájukból és a munkájukból, vagy a környezetük megfigyeléséből ered. Mindenkinél van valami elképzelése arról, hogy hogyan kellene élni. A tudósok közül sokan döntenek morális alapon úgy, hogy nem hajlandók olyan kutatásban részt venni, amelynek bármi köze van a háborúhoz vagy a nukleáris technológiához, mert nem akarják, hogy tudományukat az emberiség ellen használják fel.

A tudományos döntéseknél a szociális és etikai szempontokat is figyelembe kell venni. Ez egyaránt vonatkozik a kutatókra és a tudományos élet irányítóira is. A kutató ugyan hiheti azt, hogy azt csinálhat amit akar, de a valóságban ez nincs így. Abban például majdnem mindenki megegyezik, hogy az emberek klónozása tiltandó. Ez olyan probléma, ami megbolygatja az emberiség valláserkölcsei alapjait. Arra sincs jogunk, hogy embertársainkon beleegyezésük nélkül kísérletezzünk. Etikai alapon az is elfogadhatatlan, hogy kutatásaink eredményét az emberiségre kényszerítsük anélkül, hogy ehhez előzőleg megnyernénk embertársaink hozzájárulását. Ahhoz is erős morális alapokon kellene állnunk, hogy képesek legyünk anyagi érdekeinket és kutatói büszkeségünket is figyelmen kívül hagyva korlátozni magunkat és kutatásainkat, ha azok az emberiség érdekeit vagy fennmaradását veszélyeztethetik, még akkor is, ha ez a veszély csak hosszú távon jelentkezne. Még ha egyesek bele is egyeznének ilyen jellegű kísérletekbe, a felelősséggel bíró kutatóknak mégiscsak meg kell valahol húznia a vonalat. Viszont ha a kutató képtelen a megengedett határokon belül maradni, akkor erre a társadalomnak kell őt kényszerítenie. A tudósok néha túl elfogultak a saját kutatásaikkal szemben ahhoz, hogy az emberiség hosszú távú jövőjét racionálisan figyelembe vegyék. Nem lehet megengedni például azt, hogy a tudósok eugenetikai kutatásokkal kísérletezzenek.

Fontos, hogy a génmanipulációval kapcsolatos kísérletekről az emberiség együttesen döntsön annak ellenére, hogy a 7,5 milliárd ember nem ülhet le egy asztalhoz. Meg kell találnunk annak a módját, hogy az emberek maguk határozhassanak az őket érintő kérdésekről. A természettudományos kérdésekben a társtudományoknak, a filozófiának, a művészeteknek és a különféle vallási szervezetek képviselőinek, és minden olyan embernek a nézeteit figyelembe kell venni, aki esetleg más szemszögből ítéli meg a génmanipulálást, mint a

biotechnológusok. Már csak azért is, mert adófizetőként ők is hozzájárulnak a kutatások anyagi támogatásához.

A vitának minden esetben meg kell előznie az új technológia vagy kutatási eredmény gyakorlati bevezetését és nem utólag, a technológia bevezetése után kell beszélni róla. Addigra ugyanis az anyagi érdekek már mindent eldöntöttek, ahogy ez a genetikai módosítás bevezetésével is történt.

Jelenleg a legtöbb egyetem tudomány-politikájára még nem jellemző, hogy arra tanítsák a diákokat, hogy minden cselekedetnek társadalmi kihatása is van. Szerencsére már léteznek olyan egyetemek, ahol a politikai- és társadalomtudományokat együtt tanítják a természettudományokkal, a környezattal és a művészetekkel éppen azért, hogy a diákok minél könnyebben befogadják ezt az elvet. Még a természettudomány iránt érdeklődő hallgatóknak is meg kell érteniük, hogy akármit is tegyenek, annak társadalmi kihatásai is lesznek.

Milyen választási lehetőségünk van – Merre menjünk?

Ez a fejezet nem alapos és tudományosan mindenre kiterjedő értekezés, hanem a saját gondolatainkat és véleményünket tartalmazza arról, hogy szerintünk milyen választási lehetőségek állnak az emberiség előtt. Mi az, amit a legjobbnak tartanánk, a biotermelést, a tradicionális mezőgazdaságot, vagy a GM termékeken alapuló technológiát, esetleg ezek valamilyen kombinációját? Melyiket gondoljuk a legbiztonságosabb, hosszú távon is fenntartható útnak és van-e még lehetőségünk a választásra? Mik azok a lehetőségek, amelyek közül választhatunk?

A hagyományos termesztés

Folytathatjuk a jelenlegi mezőgazdasági gyakorlatot, ami az intenzív vegyszer használaton alapuló monokultúras növénytermesztést jelenti, de a GM-növények nélkül. Ez bizonyos szempontból *status quo*-nak számítana a mezőgazdasági gyakorlatban. Jelenlegi tudásunk alapján azonban ez az út hosszútávon nem járható az állandó műtrágyázás és a nem kellőképpen tesztelt és biztonságos növényvédő szer-használat miatt, ami a termőföld leromlásához és a vízkészletek elszennyeződéséhez vezet (42).

A GM-növényeken és -állatokon alapuló mezőgazdaság

Ez is monokultúrán alapuló, intenzív mezőgazdasági termesztés. A herbicid-rezisztens növények termesztéséhez ugyan kevesebb-féle növényvédő szert használnak, de mint láttuk, a termesztéshez használt vegyszerekből nagyobb mennyiség kerül a környezetbe, mert a vegyszereket nem kell pontosan adagolni. Ez a módszer népszerűbb a nyugati fejlett világ és különösen az USA mezőgazdaságában, mert a herbicid-rezisztens növények nagyparcellás termesztése kevesebb emberi munkaerőt igényel, ezért olcsóbb. Azokat a GM-növényeket, amik a rovarirtó szereket maguk termelik (*Bt*-növények), nem kell permetezni a kukoricamoly vagy kukoricabogár ellen. Ugyanakkor a növények nagy mennyiségű hatóanyagot juttatnak a környezetbe. Ezek esetleges káros hatását, vagy kombinált hatását a talajbaktériumokra, talajban élő állatokra, a vadakra és az emberek egészségére egyáltalán nem, vagy nem kielégítően vizsgálták.

Az előbb felsorolt két termesztési rendszer eredményeit és problémáit együtt tárgyalhatjuk, mert köztük a különbségek főleg fokozatiak. Bár a mezőgazdasági termelés intenzitásának növelésével a farmerek kezdeti előnyhöz jutnak, de hosszú-távon a problémák felhalmozódnak. Mindkét rendszerben a gépekkel és a kevés emberi munkaerővel megművelt parcellákon a

kártevők és gyomok legtöbbször néhány év alatt (általában 20 generáció) rezisztenssé válnak egyes hatóanyagokra, ezért folyamatosan egyre újabb és hatékonyabb vegyszereket kell használni, illetve újabb GM-növények előállítására és használatára lesz szükség. A farmerek költségei az új és drágább vegyszerek és technológiák használata miatt folyamatosan nőnek, és ez majdnem biztosan kizárja, hogy ezeket a technológiákat a harmadik világ parasztjai felhasználhassák. A mezőgazdasági munkások egészsége az állandó vegyszerhasználat miatt, a lakosság egészségi állapota pedig a vegyszer-maradék tartalmú élelmiszerek, és az elszennyeződött ivóvíz fogyasztása miatt romlik. A környezetben és az élelmiszerekben a permetezőszer-maradványok mennyisége folyamatosan nő (4, 42). Bár Európában és nálunk is csökken a régebbi típusú peszticidek felhasználása, de a nagyobb hatásfokú vegyszerek egyre nagyobb méretű alkalmazásával a termőföld és a talajvizek elszennyeződése növekszik. A növényvédő szereket különböző de hatásosabb kombinációkban alkalmazzák mert így nagyobb a hatásuk (például a nagybritanniai GM és nem-GM kukorica szabadföldi kísérleti termesztésében a kontrol nem-GM kukorica permetezőszerhez atrazint is keverték). Azonban az ilyen kombinációkban alkalmazott permetezőszereknek a környezetre és az egészségre gyakorolt hatását senki nem vizsgálta meg.

Az intenzív és nagy vegyszerigényű mezőgazdasági termelés rontja a termőföldek minőségét. A felmérések szerint már a világ jó termőterületének kb. 30-40 %-át elvesztettük. Ez is fontos tényező abban, hogy egyre nagyobb az igény az új termőföldre, és folyamatosan törlik fel a szűzföldeket. Ahogy az őserdőket folyamatosan irtják, úgy az új termőterületért egyre többet kell fizetne. Ezért megnő a fakitermelés és folyamatosan romlik a levegő minősége. Ma már mindenütt megfigyelhetők a globális időjárás-változás hatásai.

Jelenleg az élelmiszerek aránylag olcsók, mert a tömegtermelés miatt nagy a versengés a szabadpiacon. Az tud eladni, aki a legolcsóbban termel és juttatja el az árut a kereskedőkhöz. A termelő az árut sokszor veszteséggel kénytelen eladni. Az élelmiszerek forgalmazásának profitja pedig elsősorban a felvásárlók és kereskedők zsebében marad. Ahhoz, hogy a gazdák a termelést fenntarthassák, valamint az újabbnál újabb technológiák és vegyszerek árát fedezni tudják, bankkölcsönöket kénytelenek felvenni. Ha a termés nem megfelelően alakul, vagy a termelési költségek emelkednek, a kölcsönöket nem képesek visszafizetni. Földjeik és javaik a bankok kezébe kerülnek, és onnan tovább vándorolnak az egyre nagyobb területen, gépekkel és modern technikával még gazdaságosan termelő nagygazdákhöz. Az eladósodott parasztok vagy bérmunkát vállalnak az iparban vagy mások birtokain, vagy munkanélkülivé válnak. Szomorú tény, hogy manapság sok országban az összes foglalkozás közül a farmerek öngyilkossági aránya a legnagyobb.

Az olcsó élelmiszerek főleg a fejlett nyugati világ polgárainak rendelkezésére állnak, ahol egyre nagyobb az igény az állati eredetű táplálékokra (húsrá, tejre, tejtermékekre, tojásra stb.) Az állattartás rengeteg takarmányt igényel, amit intenzív termelésben állítanak elő. Nő az állatok hormon-, növekedési faktor-, antibiotikum- és gyógyszerfogyasztása, és ennek hatását mi is érezzük. A túltápláltság és az intenzív húsfogyasztás miatt a fejlettebb nyugati országok fogyasztói közt nő az elhízás és egyre gyakoribbá válnak a civilizációs betegségek (szív és érrendszeri megbetegedések, cukorbetegség, rák stb.). Ugyanakkor a fejlődő világban romlik az egy főre jutó, és a helyi lakosság által fogyasztott élelmiszerek aránya. Egyre többen éheznek és válnak földönfutókká, míg országaikban exportra termelik az élelmiszert és takarmányt, amit a helyi lakosság nem tud megvásárolni. Így a mezőgazdasági termékek egyre hosszabb utat tesznek meg a termelés helyétől a fogyasztóig. A szállítás pluszköltséget és egyben környezeti károsodást is jelent.

Az intenzív vegyszerhasználatot igénylő monokultúrán alapuló hagyományos és GM-termékeket termesztő mezőgazdasági rendszerben a vegyszerek, a vetőmag, az üzemanyag, a gépek, az emberi munkaerő árát és természetesen a profitot, a gazdaságnak kell kitermelnie.

Ezek azok a közvetlen költségek, amit a gazda fizet. A termelés közvetett költségei, a környezet megóvására és a környezeti károk helyrehozására fizetett összegek, az egészségügyi ellátás, a gyógyszer és egyéb költségek nem közvetlenül a mezőgazdaságot és az élelmiszeripart, hanem az adófizető polgárt terhelik. Így ezeket a közvetett költségeket a gazdaságossági számításoknál nem veszik figyelembe.

Biogazdálkodás

Azok az emberek, akik látják a fenti problémákat, és tudatosan védeni szeretnék magukat és környezetüket a vegyszerek és a GM-növények estleges káros hatásától, egyre nagyobb számban fordulnak a biotermékek felé. A biotermékek előállításához ugyanis csak komposztot, vagy érett vagy hőkezelt trágyát szabad használni és csak néhány, már bevált, az egészséget- és környezetet kímélő vegyszer használata megengedett. A biotermesztésben szintetikus vegyszerek és a genetikailag módosított vetőmag használata tilos. A felhasznált természetes eredetű vegyületek körét és a termelés módját szigorúan ellenőrzik. Így ez a mezőgazdasági termelési mód kíméli legjobban a környezetet és védi a talajvizet, a vadakat és madarakat. Monokultúra helyett a növénytársításokat helyezi előtérbe. Igaz, a biotermelés munkaigényesebb, ezért a termelés drágább. Ez a termelési mód a biodiverzitást, a sokféle termék előállítását helyezi előnybe, így ha valamilyen természeti csapás következtében valamely haszonnövény termesztése kudarcot vall, a többi termék biztosítja a gazda és családja megélhetést. A biotermesztés legfontosabb előnye a többi módszerrel szemben az, hogy biztosítja a fenntartható fejlődést (*sustainable development*), így a harmadik-világban és különösen a szegényebb országokban jelenleg ez a módszer az egyetlen javasolható út. A fenntartható fejlődés a definíció szerint (43) „nem lépi túl az adott ökológiai rendszer eltartó, létfenntartó képességét, mellette a bioszféra képes megújulni és nem szenved visszafordíthatatlan károkat”. Ez a termelési mód lehetőséget nyújt arra, hogy kielégítsük a jelen igényeit anélkül, hogy a jövő generációk szükségleteit veszélyeztetnénk.

Újabb kutatási adatok szerint a világon ma 8,98 millió farmer 28,9 millió hektáron használ fenntartható mezőgazdasági biotermelési módszereket és a biotechnológiai ipar propagandájával ellentétben, ezzel a módszerrel nemhogy csökkenne, hanem inkább emelkedik a terméshozam, és ugyanakkor nő a földek termékenysége. A helyi lakosság élelmiszer ellátása is biztosítható, szemben az exportra orientált termesztéssel. A biotermesztés helyi hagyományokon alapul. Egyes Latin-Amerikai országokban még a rossz termőtalajok minőségét is sikerült megjavítani pl. Az egyik helyi babfajta (az ún. *mucuna-bab*) termesztésével, ami évente 100 tonna szerves anyagot produkál és a levegő nitrogénjének megkötésével nitrogénnel gazdagítja a talajt. Természetesen a biogazdálkodásban a környezet vegyszerszennyezése is jóval kisebb, mint a konvencionális- vagy a GM-növényeken alapuló mezőgazdaságban.

A bioélelmiszerek előállítása a fenntartható fejlődést tartja szem előtt. A hulladék anyagot a háztartáson és a biogazdaságon belül használja fel, támogatva az integrált, energiakímélő termelési módszereket.

Végül, néhány országban, mint például Indiában komoly erőfeszítéseket tesznek, hogy a hagyományos, nem-GM növényeken alapuló termesztési módszereket valamilyen megbízható módon kombinálják a korlátozott vegyszerhasználatot igénylő, úgynevezett integrált kártevők elleni védelmi módszerrel (*integrated pest management*, vagy IPM-mel).

A biogazdálkodásnál a legnagyobb költséget az emberi munkaerő képezi, ami a legtöbb országban, főleg a harmadik világban korlátlanul rendelkezésre áll. Ennél a mezőgazdasági formánál is számolni kell a vetőmag árával, de ezt a gazdák többsége maga megtermeli. A talajmunkát minimálisra csökkentik, hogy megőrizték a termőföld nedvességtartalmát és

mikrobiális egyensúlyát, így az üzemanyag költség nagy részét is meg lehet takarítani. Brazília egyes vidékein a legújabb próbálkozások szerint például a magot a gyomos földbe vetik. A kisgazdaságok eleget keresnek ahhoz, hogy fenn tudják magukat tartani. A vegyszerek árából, a technológiai díjból származó megtakarítás részben kompenzálja a magasabb munkabéreket. Igaz, néhány országban szükségessé válhat a gazdák állami támogatása. Ugyanakkor a fogyasztók egészségesebbek termékekhez jutnak és a környezeti károk minimálisak. Ennél a termelési módnál a közvetett költségek jelentősen kisebbek.

A GM-technológia megbízhatatlansága és kiszámíthatatlansága és, a megnövekedett agrokémikália használat a multinacionális vállalatok anyagi és politikai hatalmával kombinálva a növénytermesztés és a világ élelmiszer ellátásának jövőjét fenyegetheti. Véleményünk szerint a világot, és különösen a szegényebb harmadik világot csak az alacsony befektetést igénylő, és a fenntartható fejlődést biztosító biogazdálkodás mentheti meg, vagy esetleg az integrált kártevők elleni védelmi módszerrel (IPM) kombinált hagyományos termesztés, amiben csak tesztelt és bizonyítottan biztonságos vegyszereket szabad használni.

Ennek alapján egyértelműen a fenntartható biotermelés (esetleg a hagyományos termesztés az *IPM*-el kombinálva), az egyedüli fenntartható és életképes módszer, ami az emberiség jövőjét hosszú távon biztosíthatja.

Ajánlott irodalom:

Darvas Béla: Virágot Oikosnak (2000) L'Harmattan Kiadó, Budapest

Darvas Béla, Polgár László, Schwarczinger Ildikó és Turóczi György: A biológiai növényvédelem helyzete Magyarországon (1999) OMFB, Budapest

A világ leghumánusabb géntörvénye – a norvég géntörvény

Ezzel a fejezettel nem az a célunk, hogy a jelenleg érvényben lévő magyar, európai vagy más ország géntörvényét ismertessük, mert ezeket a géntörvényeket mindenki letöltheti az internetről, hanem a norvég géntörvényt szeretnénk ismertetni. Tapasztalataink alapján és etikai kódexünk szerint ezt tekintjük a követendő példának. A mai körülmények mellett túl optimisták lennénk, ha azt várnánk, hogy minden állam hasonló géntörvényt fogadjon el, de fontosnak tartjuk, hogy az elővigyázatossági elv alapján a mércét magasra emeljük.

Történelmi háttér

1987 június 12.-én az egyik királyi rendeletben kinevezték a Biotechnológiai Testület tagjait és azzal a feladattal bízták meg őket, hogy vizsgálják meg a biotechnológiai kutatás irányzatait, alkalmazását és a környezetre valamint az egészségre gyakorolt hatását. A Bizottság tagjai azt a feladatot is kapták, hogy tegyenek jelentést a biotechnológiai kutatások biztonságosságáról, valamint értékeljék a biotechnológia ellenőrzésével és szabályozásával kapcsolatos, érvényben lévő legális és adminisztratív intézkedéseket és azok végrehajtását; és döntsék el, hogy van-e szükség a területet szabályozó újabb törvényekre. A bizottság megállapította, hogy az érvényben lévő törvények nem felelnek meg a mai követelményeknek, ezért szükség van az új törvény megalkotására ahhoz, hogy a biotechnológiát szabályozni és ellenőrizni lehessen. Egyben javaslatot tettek a törvény tartalmára. A jelentés alapján két parlamenti törvénytervezet született. Az új Norvég Géntechnológiai Törvényt a parlament 1993. április 2-án megszavazta és szeptember 1-től már életbe is lépett.

A Norvég Géntechnológiai Törvény

A törvény célját és lényegét az első cikkely fogalmazza meg: *a törvény célja az, hogy szabályozza az összes géntechnológiai módszerrel előállított szervezet felhasználásának etikus, a társadalmi igazságosság szempontjából elfogadható voltát, figyelembe véve a fenntartható fejlődés irányelvét. A törvény feladata annak a biztosítása, hogy ezek a szervezetek sem a környezetre, sem az egészségre semmiféle káros hatást se fejthessenek ki. A törvény egyaránt vonatkozik az összes genetikai módosítással előállított szervezetre, a GMO-kra (genetically modified organism, azaz genetikailag módosított szervezetre) és az LMO-kra (living modified organism, azaz élő módosított szervezetre) is.*

Az engedélyezés szabályozása

Az engedélyezésre a 10. cikkely vonatkozik. Ez kimondja, hogy *„A fenntartható fejlődésre gyakorolt hatás értékelésénél figyelembe kell venni a környezetre és az egészségre gyakorolt hatást is. Ezt ki kell egészíteni az etikusság és a társadalmi igazságosság vizsgálatával. Csak akkor lehet az engedélyt kiadni, ha mindezek a szempontok érvényesülnek és egyik elv sem szenvedhet csorbát.”*

A Norvég Biotechnológiai Tanácsadó Testület (NBAB)

A testület feladata, hogy tanácsot adjon a törvényhozásnak a géntörvény gyakorlati érvényesítésével kapcsolatban. Az is a testület dolga, hogy segítsen eldönteni, hogy az egyes módosított szervezetek elősegítik-e a fenntartható fejlődést vagy sem, és hogyan alkalmazzák a gyakorlatban a szociális igazságosság és etikusság elvét. A testület következőképp foglalt állást:

A Tanácsadó Testület véleménye szerint a Géntechnológiai Törvény 1 és 10. cikkelyét úgy kell értelmezni, hogy az egyes kérelmek elbírálásánál a fenntartható fejlődés irányelve legyen a döntő. A társadalmi hasznosság és igazságosság szempontja legyen a meghatározó és nyújtson elegendő alapot a kérelem elutasítására még akkor is, ha kicsi a módosított szervezet kibocsátásával járó kockázat.

A kérelmeket a következő képen kell elbírálni: elsősorban a környezetre és az egészségre gyakorolt kedvezőtlen hatások kockázatát kell kizárni. Meg kell vizsgálni azt, hogy mik a várható és az elképzelhető káros következmények, és azt is figyelembe kell venni, hogy ezek milyen valószínűséggel következnek be. Ha ezt nem lehet a tények alapján teljes biztonsággal megállapítani, akkor az elővigyázatossági elvet kell alkalmazni. Ez az elv a döntő akkor is, ha a kockázat-vizsgálat alapján nagyon kis valószínűséggel ugyan, de nagymértékű kár következne be, vagy a bekövetkező hatás visszafordíthatatlan lenne. Ezután azt kell mérlegelni, hogy az engedélyezés összhangban van-e a fenntartható fejlődéssel, hasznos-e az emberi közösség és társadalom szemszögéből, valamint megfelel-e az etikai- és társadalmi igazságosság szempontjainak.

A Tanácsadó Testület útmutatást adott ahhoz is, hogy hogyan kell alkalmazni az elővigyázatossági elvet. Ezt az elvet kell figyelembe venni minden olyan esetben, amikor fennáll a biológiai diverzitás csökkenésének, vagy az egyes fajok kihalásának veszélye. Ez az elv a döntő akkor is, ha nem állnak megfelelő tudományos tények a döntéshozók rendelkezésre, ugyanis az elv alkalmazásával minden veszély minimálisra csökkenthető.

Az elővigyázatossági elvet kell alkalmazni olyan esetben is, amikor

- az ok-okozati összefüggés nem bizonyítható,
- amikor egy esemény előfordulásának gyakorisága nem ítéhető meg,
- ha bármilyen kétely merül fel a kockázatbecsléssel kapcsolatban,
- amikor a következmények halmozódhatnak, vagy
- amikor a védőintézkedések nem biztosítanak a várakozásnak megfelelő, kellő védelmet.

A tanácsadók szerint a **fenntartható fejlődés** vizsgálatánál a következőkre kell odafigyelni: meg kell vizsgálni az új szervezeteknek és az ezzel kapcsolatos tevékenységnek az emberiségre és az egész földgolyóra gyakorolt hatását: az ökológiai határokat, és hogy léteznek-e még ezek a határok vagy már eltűntek; ki kell elégíteni az emberek alapvető igényeit; meg kell valósítani a jelen és jövő generációk közötti, valamint a szegény és a gazdag országok közötti igazságos elosztás elvét. Mindezt a gazdasági növekedés egyéb, lehetséges és új formáinak figyelembevételével.

A társadalmi hasznosság és igazságosság megítélésénél az a döntő, hogy szükség van-e a termékre, van-e rá igény valamilyen formában; a termék megold-e valamilyen társadalmi problémát; elmondható-e hogy a termék jobb, mint bármely más, már a piacon lévő termék; és van-e más lehetőség egy adott társadalmi probléma megoldására.

A termeléssel és felhasználással kapcsolatban azt kell figyelembe venni, hogy teremt-e új munkalehetőséget vagy munkahelyeket; hogy az új munkahelyek vidéken lesznek-e; ad-e a termék új munkalehetőséget más országban; meggátolja-e más szükséges, vagy olyan termék előállítását, amelyre társadalmi igény van (pl. biotermelés); gátolja-e valamely más országban olyan termékek előállítását, amelyre ott van szükség (pl. egy fejletlen országban a termőföldet élelem helyett takarmány- vagy virágtermesztésre használják stb.).

A testület szükségesnek látja, hogy különbséget tegyen az emberiség szempontjából, valamint a környezet és a világegyetem szempontjából ***etikus viselkedési normák*** között. Az etikus viselkedési norma megítélésakor azt kell eldönteni, hogy cselekedeteink jók-e vagy rosszak, morálisak-e vagy immorálisak. Figyelembe kell venni, hogy néha az egyes cselekedetek etikátlan voltáról tudat alatti döntést hozunk anélkül, hogy meg tudnánk magyarázni, hogy mi miatt gondolunk bizonyos viselkedési formákat etikátlannak.

Az engedélyezésnél meg kell vizsgálni, hogy

- a termék vagy annak előállítása és felhasználása megfelel-e az általános erkölcsi normáknak és értékeknek;
- maga a termék, vagy annak előállítása nincs-e ellentétben az emberek közötti szolidaritás és egyenlőség elvével, figyelembe véve a hátrányos helyzetű és gyenge társadalmi csoportok érdekeit is, hiszen az őshonos, kisebbségi, speciális vagy ősi kultúrával rendelkező népek és csoportok gyakran kerülnek háttérbe a többségi döntés vagy a társadalmi normák miatt;
- valamint meg kell nézni, hogy a termék vagy annak forgalmazása nincs-e ellentétben a fent felsorolt elvekkel.

A környezet és világmindenség etikai szempontja szerint azt kell megnézni, hogy

- a termék vagy annak előállítása nem áll-e ellentétben az állatok érdekével és az állatvédelemével;
- nem okoz-e szükségtelen fájdalmat vagy szenvedést;
- az előállítás módja nem lépi-e át vagy szünteti meg a fajok közötti határokat, és az előállítás módja nem különbözik-e az állattenyésztésben vagy a természetben előforduló módszerektől.

Az import dokumentációk engedélyezése és ellenőrzése

Ezzel a területtel a 2001/18/EC Európai Uniósi direktíva foglalkozik, ezért a norvég törvény is ezt a jogszabályt adaptálta. A 4. cikkely – A nyomonkövethetőségről szóló általános kötelezettségek (6) így szól: „A „C” Részben leírtak alapján a tagállamoknak biztosítaniuk kell az engedélyezett GMO-k előállításának és forgalmazásának nyomonkövethetőségét minden lépésben, a IV Pont függelékében leírt követelmények szerint”. Azaz, „a genetikailag módosított termékek piacra bocsátásakor be kell nyújtani minden olyan, a szervezet módosításával kapcsolatos információt, amely a szóban forgó módosított szervezet azonosításához és kimutatásához szükséges, hogy ezzel is lehetővé tegyék a forgalmazás utáni ellenőrzést és nyomon követést. Az információnak tartalmaznia kell vagy a genetikailag módosított termék eredetét, vagy a generikus anyag(ok) leírását, a gyártót, valamint vagy a nukleotid-szekvenciákat, vagy egyéb olyan információt, ami alkalmas a GMO termék és az ebből eredő anyagok azonosítására és nyomon követésére...”

A Cartagena Protokoll

A Cartagena Protokoll adaptálásával Norvégia kötelezi magát ezeknek a törvényeknek a betartására is. A 18. Cikkely (2 a, b, c és a 18. 3) a tárolásra, szállításra, csomagolásra és jelölésre vonatkozik, és magában foglalja a GMO-k import engedélyét és a szállítási okmányokat is. Ez a cikkely teszi lehetővé az egyes országok számára, hogy ellenőrizhessék, hogy országukba csak a náluk már engedélyezett GMO-k hozhatók be.

A 20. Cikkely szerint a Biológiai Biztonságot Biztosító Szervezet (BCH, azaz a *Biosafety Clearing House*) lesz a nemzetközi piacon forgalomba hozott, genetikailag módosított szervezetekre vonatkozó információk fő tárháza és forrása.

A biológiai biztonság ellenőrzése és az ezzel kapcsolatos technológiák átvétele és az ellenőrző bizottság felállítására egy új, jól működő rendszert kell kiépíteni. A módosított szervezetek kutatásához, előállításához, importjához és forgalmazásához szükség van olyan tudományos és műszaki kapacitás kiépítésére, ami a géntörvény betartását biztosítja. Ehhez szükséges van a különféle szervezetek és kapacitások kiépítésére, amik az GMO-k és az LMO-k helyi előállítását, forgalmazását és egyben az importot is ellenőrzik.

Az import engedélyezése és ellenőrzése szükségessé teszi egy teljesen új rendszer kiépítését. Ehhez és az importált GMO-k azonosításához és ellenőrzéséhez szükséges a

- a BCH-val (a Biológiai Biztonságot Biztosító Szervezettel) információ-cserét folytató és ellenőrző szakemberek biztosítása és nevelése;
- a GMO-k kimutatására és azonosítására alkalmas laboratóriumok létrehozása a megfelelő műszerparkkal és szakember gárdával együtt.

A GMO-k kimutatásához, azonosításához, valamint az export és import ellenőrzéséhez mind regionális, mind globális szinten elengedhetetlen a nemzetközi együttműködés a különböző nemzetközi hatóságok között.

Bár kétségtelenül a világ legtöbb országának gazdasági feltételei és körülményei nem hasonlíthatók össze a kicsi de gazdag Norvégiával, de úgy éreztük, hogy a norvég géntörvény olyan példát mutat a világnak, amelynek megközelítésére minden országnak törekedni kellene, hiszen ez nemcsak Norvégiának, hanem az egész világnak is javára válna.

Hivatkozások

1. Wald, G. (1976) "The Case Against Genetic Engineering" in the Recombinant DNA debate, Jackson and Stich, eds. pp. 127-128, *The Sciences*, Sept-Oct. 1976
2. Reddy, A. S. and Thomas, T. L. (1996) Modification of plant lipid composition: Expression of cyanobacterial D⁶-desaturase gene in transgenic plants. *Nature Biotechnology*, 14, 639-642
3. Inose, T. and Murata, K. (1995) Enhanced accumulation of toxic compound in yeast cells having glycolytic activity: A case study on the safety of genetically engineered yeast. *Journal of Food Science and Technology*. 30, 141-146
4. Darvas B. (1997) A genetikailag módosított élőszervezetek kibocsátásnak környezeti kockázatai. Fenntartható Fejlődés Bizottságának kiadványa, KTM Roxanne Nyomda, Budapest 1-64.
5. Commoner, B. (2002) Unravelling the DNA myth: The spurious foundation of genetic engineering. *Harper's*, February 2002, <http://www.mindfully.org/GE/GE4/DNA-Myth-CommonerFeb02.htm>
6. Willis, P. Mothers for Natural Law Website, <http://www.safe-food.org/-issue/scientists.html>
7. Strohman, R. (2000) <http://www.mindfully.org/GE/Strohman-Safe-Food.htm>
8. Antoniou, M. Mothers for Natural Law Website: <http://www.safe-food.org/-issue/scientists.html>
9. Penman, D. (1998) BBC Tomorrow's World Magazine, October 1998.
10. Dale, P. J., et al. (1998) Transgene expression and stability in Brassica. *Acta Horticulturae*, 459, 167-171.
11. Schubert, D. (2002) A different perspective on GM food. *Nature Biotechnology*, 20, 969.
12. A tragic setback. News feature. *Nature*, 130, 11 November 2002.
13. Cummins, R. and Lilliston, B. (2000) Genetically Engineered Food: A Self-Defense Guide for Consumers. Marlowe and Co. New York.
14. Ho, M. W., et al., (1999) Cauliflower Mosaic Viral promoter: A recipe for disaster. *Microbial Ecology in Health and Disease*, 11, 194-197.
15. Gebhart, F. and Smalla, K. (1999) Monitoring field releases of genetically modified sugar beets for persistence of transgenic plant DNA and horizontal gene transfer. *FEMS Microbiology Ecology*, 28, 261-282.
16. Mercer, D. K., et al. (1999) Fate of free DNA and transformation of oral bacterium *Streptococcus gordonii* DL1 plasmid DNA in human saliva. *Applied and Environmental Microbiology*, 65, 6-10.
17. Duggan, P. S., et al., (2000) Survival of free DNA encoding antibiotic resistance from transgenic maize and the transformation activity of DNA in ovine saliva, ovine rumen fluid and silage effluent. *FEMS Microbiology Letters*, 191, 71-77.
18. Schubert, R., et al., (1998) On the fate of orally ingested foreign DNA in mice: chromosomal association and placental transmission in the fetus. *Molecular and General Genetics*, 259, 569-576.

19. Hohlweg, U. and Doerfler, W. (2001) On the fate of plant or other foreign genes upon the uptake in food or after intramuscular injection in mice. *Molecular and General Genetics*, 265, 225-233.
20. http://www.food.gov.uk/science/sciencetopics/gmfoodsgm_reports FSG1007 and G010008 Report on Objectives 2 and 3.
21. Ewen, S. W. B. and Pusztai, A. (1999) Effects of diets containing genetically modified potatoes expressing *Galanthus nivalis* lectin on rat small intestine. *Lancet*, 354, 1353-1354.
22. S. W. B. Ewen's submission to the Scottish Parliament' Health and Community Care Committee:
http://www.scottish.parliament.uk/official_report/cttee/health-02/her02-pe470-subs.htm
23. Sue Mayer in *Scotland on Sunday*, May 30, 2000.
24. Windek, P., et al., (2001) Characterisation of the Roundup Ready soybean insert. *European Food Research and Technology*, 213, 107-112.
25. A. Pollack in *The New York Times*, August 16, 2001.
26. Nordlee, J. A., et al., (1996) Identification of a Brazil nut allergen in transgenic soybean. *New England Journal of Medicine*, 334, 688-692.
27. Bindslev-Jensen, C. and Poulsen, L. K. (1997) Hazards of unintentional/intentional introduction of allergens into foods. *Allergy*, 52, 1184-1186.
28. Ye, X., et al., (2000) Engineering the provitamin A (β -carotene) biosynthetic pathway into (carotenoid-free) rice endosperm. *Science*, 287, 303-305.
29. Elmore, R. W., et al., (2001) Glyphosate-resistant soybean cultivar yield compared with sister lines. *Agronomy Journal*, 93, 408-412.
30. Benbrook, C. http://www.biotech-info.net/RR_yield_drag_98.pdf
31. King, C., et al., (2001) Plant growth and nitrogenase activity of glyphosate-tolerant soybeans in response to foliar application. *Agronomy Journal*, 93, 179-186 (Abstract at http://biotech-info.net/king_abstract.pdf).
32. Fulton, M. and Keyowski, L. (1999) The producer benefits of herbicide-resistant canola. *AgBioForum*, vol. 2, no. 2. <http://www.agbioforum.missouri.edu>
33. Benbrook, C. (2003) Impacts of genetically engineered crops on pesticide use in the United States. The First eight years. BioTech InfoNet, Technical paper No. 6. <http://www.biotech-info.net/technicalpaper6.html>
34. Pusztai, A. (2002) Can science give us the tools for recognizing possible health risks of GM food? *Nutrition and Health*, 16, 73-84.
35. Padgett, S. R., et al., (1996) The composition of glyphosate-tolerant soybean seeds is equivalent to conventional soybeans. *Journal of Nutrition*, 126, 702-716. Also the NAPS supplemental information on the results of the 1992 Puerto Rico field test deposited in *Journal of Nutrition Archives*.
36. Noteborn, H. P. J. M., et al., (1995) Safety assessment of the *Bacillus thuringiensis* insecticidal crystal protein CRY1A(b) expressed in transgenic tomatoes. In: Engel, K. H. et al., editors ACS Symposium series 605 *Genetically Modified Foods – Safety Issues*. American Chemical Society, Washington, D. C., pp. 135-147.

37. Astwood, J. D., et al., (1996) Stability of food allergens to digestion *in vitro*. *Nature Biotechnology*, 14, 1269-1273.
38. Gendel, S. M. (1998) The use of amino acid sequence alignments to assess potential allergenicity of proteins used in genetically modified foods. *Advances in Food and Nutrition Research*. 42, 44-61.
39. Kleter, G. A. and Peijnenburg, Ad A. C. M. (2002) Screening of transgenic proteins expressed in transgenic food crops for the presence of short amino acid sequences identical to potential, IgE-binding linear epitopes of allergens. *BMC Structural Biology*, 2: 8.
40. Bernstein, I. L., et al., (1999) Immune responses in farm workers after exposure to *Bacillus thuringiensis* pesticides. *Environmental Health Perspectives*, 107, 575-582.
41. Pusztai, A., et al., (2003) Genetically Modified Foods: Potential Human Health Effects. In: *Food Safety: Contaminants and Toxicants*, J. P. F. D'Mello. CAB International, Wallingford, Oxon. pp. 347-372.
42. Darvas B. (2000) Virágot Oikosnak (Kísértések kémiai és genetikai biztonságunk ürügyén). l'Harmattan Kiadó, Budapest, 1-430.
43. Darvas B., Polgár A. L., Schwarczinger I. és Turóczi Gy. (1999) A biológiai növényvédelem és helyzete Magyarországon 1999. (Polgár A. László szerk.) OMFB, Budapest 1-277..

Ajánlott irodalom:

- Venetiáner Pál: A DNS szép új világa (1998) Kulturtrade Kiadó Kft. Budapest
- Ferenczi Andrea: Genetika – génetika (1999) Harmat Kiadó, Budapest
- Darvas Béla: Virágot Oikosnak (2000) L'Harmattan Kiadó, Budapest
- Darvas Béla, Polgár László, Scgwarczinger Ildikó és Turóczi György: A biológiai növényvédelem helyzete Magyarországon (1999) OMFB, Budapest
- Dudits Dénes: Növénynevelés géntechnológiai segédlettel (1998) MTA Géntechnológiai Központ, Winter Fair Kft, Szeged
- Dudits Dénes és Heszky László: Növényi biotechnológia és géntechnológia (2000) Agroinform kiadó, Budapest
- Mae-Wan Ho: Genetic engineering dream or nightmare? (1998) Gateway, Dublin
- Andrew Rowell: Don't worry, it is safe to eat (2003) Earthscan Publications, London UK

Mellékletek

A GM élelmiszerek biztonságáról folytatott szakmai vita felidézése elősegítheti a GM probléma mélyebb megértését. Mellékletünkben a Biokémia c. folyóiratban megjelent vitacikkek adjuk közre – egy tanulmány kivételével (A genetikai módosítás és a félremódosított tájékoztatás, Biokémia XXIII. évf. 3.)

Biotechnológia: a szellem már kívül, de megvan-e még a palack? (Kísért Asylomar)

A legutóbbi hónapokban példátlanul nagy nyilvánosságot kapott a „Pusztai-ügy”, mind szakmai, mind pedig laikus körökben. Pusztai Árpád, egykori kollégám pályafutását a jelenlegi Enzimológiai Intézet jogelődjében, a Magyar Tudományos Akadémia Biokémiai Intézetében kezdte. 1956-ban emigrált, hosszas szakmai hányattatás után a skóciai Rowett Research Institute-ban (RRI) kötött ki. Aki ismeri a britek (angolok) önimádatának mértékét, rádásul olvasta Mikes György apró remekművét, a „How to be an Alien”-t (Anglia papucsban) megfelelően tudja értékelni Pusztai Árpád szakmai kiválóságát annak fényében, hogy „foreigner” – sőt meglehetősen szókimondó „foreigner” – léte az RRI-ben állandó státuszt és tisztes létszámú munkacsoportot kapott. Évek során a lektinek első osztályú szakértőjévé küzdötte fel magát, és kémikus léte el tudott szakadni a csupasz kémiai-biokémiai szemlélettől, felismerve a biológia tudományának szintetizáló jelentőségét.

A vihar kezdete

A rekombináns DNS-technológiában rejő, szédítő perspektívát az alapkutatókkal foglalkozó tudósok szinte a felfedezés pillanatában felismerték, de a racionalitás talaján mozgó, „ez-dollárban-ugyanmit-ér” szemléletű üzleti szféra is hamar rájött a felfedezésben rejő lehetőségekre.

A tudományos eredmények gyakorlati alkalmazásában a gyógyszeripar, de elsősorban a mezőgazdasághoz kapcsolódó iparágak (növénytermesztés, élelmiszeripar) léptek az élre.

Mint a legtöbb, a kor szavát megértő tudós, Pusztai Árpád is tisztában volt a rekombináns DNS-technológia tudományos és ipari jelentőségével. Az RRI-ben a Skót Mezőgazdasági Minisztérium által biztosított anyagi támogatással – az élelmiszeripar területén eddig nem alkalmazott módszerekkel – azt kezdte vizsgálni, hogy a magasabb rendű szervezetekre ártalmatlan, de inszekticid hatású lektint szintetizálni képes gémanipulált (GM) burgonya (GMB) táplálkozás-élettani hatása milyen. Semmi hatást nem várt, de meglepetésére talált. Előzetes kísérletei szerint súlyméréssel megállapította, hogy a GMB-vel etetett fiatal patkányokban vissza-

radt a máj, a tüdő, a vese és az agy növekedése, fokozódott viszont a hasnyálmirigy és a herék gyarapodása. Hátrányára változott az immunrendszer is. Míthogy a kísérletekre szánt keret kimerült, a vitathatatlanul szükséges folytatáshoz további anyagi támogatást kellett szereznie. Ezért, és nem feltétlenül vágyból beszélt a televízió nyilvánossága előtt alig két és fél percre, 1998. augusztus 10-én. A szenzációra éhes média és az angol nyelvterületen különösen erős zöld mozgalmak azonnal reagáltak: a természet világába történő kontrollálatlan beavatkozásként értékelve a történetet, a GM-élelmiszerek forgalmazásának betiltását, de legalább megkülönböztető jelölésüket követelték.

A vihar kitör

A riport után két nappal Pusztai Árpádot munkahelyéről kitiltották, a kutatási témát leállították.

Az Internet jóvoitából szinte naprakészen lehet mindmáig követni az esemény reflexióit [1]. Az RRI bizottságot alakított Pusztai Árpád mérési eredményeinek értékelésére. Jelentésüket (*Audit Report, AR*) az Interneten is közzétették [2]. Az AR Pusztai eredményeit értékelhetetlennek, és a belőle levont következtetéseket alaptalannak ítélte. Az AR-re Pusztainak módja volt válaszolni, de miután a kísérletes adatait előle elzárták, őt az Intézetből kitiltották, ez bizony nem volt könnyű.

Az ügy egyre nagyobb hullámokat vetett, eljutott egészen a brit Parlamentig, ahol a Tudományos és Technológiai Bizottság (*Science and Technology Committee*) hallgatta meg mindkét felet. Ennek konklúziója nem volt publikus. A kormány végül is a *Royal Society*-t (RS) kérte fel állásfoglalásra. Ez a napokban született meg, szintén olvasható az Interneten [3]. Az állásfoglalás – mely külön fejezetet érdemelne – négy pontban foglalja össze következtetéseit:

„1. ... a rendelkezésünkre bocsátott információ alapján a Rowett-ben készült jelentés alapját képező munka sok tekintetben rosszul tervezett, kivitelezett és értékelt, abból semmiféle következtetés nem vonható le.

2. Nem találtunk a GM-burgonya káros hatására

vonatkozó adatot. Ahol az adatok mutattak valami-féle csekély különbséget a GM és nem-GM (vad) burgonyák hatásában, e különbségek értékelhetetlenek voltak a kísérletek technikai korlátjai és a statisztikai tesztek téves használatá miatt.

3. A kérdéses munkát egyetlen meghatározott állatfajjal végezték, melyet egyetlen meghatározott módszer alkalmazásával, egyetlen meghatározott génnel módosított, egyetlen meghatározott termékkel etettek. Jóllehet a kísérleteket szakszerűen végezték, nem vonható le általános következtetés a genetikailag módosított élelmiszerek humán ártalmasságáról vagy ártalmatlanságáról. Minden egyes GM-élelmiszert külön kell megvizsgálni.

4. Az egész epizód legfőbb tanulsága annak fontossága, hogy a kutató tudósok kutatási eredményeiket bírálatra hajlandó társaiknak bemutassák, mielőtt azokat a nyilvánosság elé tárják.

Az RS bizottsága nem fogadta el Pusztai Árpád érvelését, mely szerint eredményei belső intézeti dokumentumok voltak, ezért nem volt lehetőség a hiányolt „peer review” bekérésére. Arra sem volt hajlandó, hogy a „vádolt”-at személyesen meghallgassa.

Az RS jelentés szerint Pusztai Árpád lehetőséget kapott az RS jelentés alapját képező bírálatok kommentálására. Ezeket a megjegyzéseket a Pusztai Árpád által kiadott sajtótájékoztatók szerint május 13-án déli 12-ig kérték vissza úgy, hogy három bírálati anyagot 8-án, kettőt 10-én, egyet 13-án küldtek ki rázérére, ez esetben 35 percet adva a válasz megfogalmazására.

A tényeket lecsupaszítva mi is történt valójában? Egy tapasztalt és eredményes kutató olyan – a GM-élelmiszer ellenőrzése területén korábban soha nem alkalmazott – vizsgálatokat végzett, melyek előzetes eredményei gyanút ébresztettek egy meghatározott GM-élelmiszer ártalmasságával kapcsolatban. Ezeket a vizsgálatokat folytatni kívánta, ehhez további anyagi támogatásra volt szüksége, amit a *részeredményekre* hivatkozva kért. Az egész probléma-komplexum már régen feledésbe merült volna, ha a megbízók vagy a potenciális haszonélvezők lemondanak remélt profitjuk egy jelentéktelen részéről, támogatját a vizsgálatok kiterjesztését, azok befejeztével esetleg módosítják az általuk kidolgozott technikát, és újabb kontroll után zöld utat kapnak a piacra. De szemmel láthatólag nagyobb volt pénz-

éségük, mint bölcsességük. Veszélyeztetve érezték eddigi befektetéseiket, és nem tűrték, hogy bárki megkérdőjelezze elképzelésük jogosságát. Háborúba mentek, aminek távolról sem biztos, hogy ők lesznek a győztesek. Nagyon fontos az is, hogy bárhogy ítéli meg a RS Pusztai kutatói kvalitásait, kimondta, hogy minden GM-élelmiszere egyedi vizsgálatot szorgalmaz.

A kavart vihar hatására már tiltakozott a Brit Orvosok Szövetsége (*Brit Doctors' Association*) [4], egyre erősebben háborognak a Zöldek, a nagy élelmiszer-forgalmazó cégek egymás után vonják vissza a piacról a GM-nyersanyagból készített élelmiszer-termékeiket.

No és itthon?

Amikor a *Pusztai-ügy* hullámai hozzánk is begyűrűztek, a reflexió kétféle volt. A Rowett eljárása ellen elsősorban a Pusztai szakmai munkásságát jól ismerő és értékelő tudóscsoport tiltakozott, a nyilatkozat – amit magyar részről e sorok íróján kívül még ketten írtak alá – a *Guardian* hasábjain jelent meg. Egyéb hazai állásfoglalás nyíltan azonban csak néhány riportban hangzott el. A másik álláspontot a félrevezetés jellemezte és jellemzi. A Rowett által készített *Audit Report* és Pusztai válasza rendelkezésre állt ugyan, de kezdeményezésem után szakértő helyeken még attól is elzárkóztak, hogy „*gratis*” belenézzenek. Szigorúan „privát” természetű „folyosói” vélemények pereze elhangzottak, köztük egy nagynevű és mértékadó akadémikusé, aki Pusztai állításait sommásan figyelemre érdemtelen felfújtnak minősítette.

Hosszas habozás után az MTA Biológiai Osztály részanta magát arra, hogy a Magyarországon tartózkodó Pusztai Árpádot felkérje eredményeinek ismertetésére. Az előadás április 26-án, az MTA Kistermében zajlott, kb. negyedház előtt. Az előadást követő vita jó alkalom lett volna az ellenvélemények kifejtésére, a „felfújtnak” kipukkasztására. Nem történt meg: sem a háttérnyilatkozók, sem a hozzájuk kötődő második vonal nem szólalt meg – mivel jelen sem voltak. Ugyanez az egyoldalú (szervezett?) közöny volt jellemző az ELTB-n rendezett délutáni előadáson, ahol a kétszázas befogadóképességű előadóban a lépcsők is tele voltak, számtalan hozzászólás hangzott el, de a remélt vitára itt sem került sor.

Mi lesz a kieresztett szellemmel?

A mesebeli szellem – megfontolatlan kieresztése után – el akarja pusztítani szabadítóját. A bölcs cseleksen visszatereli a palackba, és másodszor csak előírt feltételek betartása esetén engedi ki. Ez a szellem szavatartó, kiszabadítóját annak három kívánsága erejéig híven szolgálja.

A génmanipuláció szelleme a palackból kikerült. Vissza kell-e terelni? Nemigen lehet, mert a palack Asyloamar elfeledtével összetört. De ez a szellem azért nem az Ezeregyéjszaka egyértelműen gonosz szelleme. Sokra képes, de parancsolóin múlik, hogy mit csinál.

De ki vagy mi parancsoljon neki? Jelenleg úgy tűnik, hogy döntő súllyal az anyagi érdekeltség és a gyors hasznosítás – valamiféle karitatív, emberiségmentő jelmezbe bújtatva. Lehetőleg úgy parancsol, hogy arra, aki fenntartásokat hangoztat és óvatosságra int, könnyen rá lehessen mondani –

akár egy nagy tekintélyű testület felhasználásával – hogy korlátolt, szakmájához nem ért, a tudomány és a haladás ellensége. (Csak emlékeztetőül: amikor a francia Halhatatlanokat a repülőgép gondolatával zaklatták, a Halhatatlanok határozatban mondták ki, hogy márpedig a levegőnél nehezebb, emberkéz alkotta tárgyak soha nem lesznek képesek repülni.)

Csaknem 30 éve volt egy Asyloamar. Évekkel utána úgy tűnt, hogy az ott megfogalmazott aggályok indokolatlanok voltak. Ezek az aggályok azonban az előre nem látható mértékű haladás eredményeként újjáéledtek – nem csupán az itt emlegetett eset kapcsán. Nem lenne szükség egy újabb Asyloamarra?

Irodalom

- [1] plab.ku.dk/tcbh/Pusztaltcbh.htm
- [2] www.rrl.sari.ac.uk/gmo
- [3] www.royalsoc.ac.uk/press/pr_15_99.htm
- [4] www.bma.org/public/scienc/genmod.htm

Sajgó Mihály

A géntechnológia szerepvállalása a növénynemesítésben: a Pusztai-botrány üzenete

A növénytermesztés kezdetei óta állandó törekvés az emberi céloknak jobban megfelelő növényfajták kinemesítése. A nemesítő elsősorban keresztezéssel és szelekcióval állítja elő a kívánt génkombinációkat hordozó tenyésztanyagokat. Jól bevált gyakorlat, hogy rokon vad fajokkal végzik a keresztezést. Így betegségekkel szembeni rezisztenciát biztosító gének építhetők be a kultúrnövényekbe. Keresztezés során nagyszámú gén véletlen rekombinációja következik be. Ezért természetes, hogy nem kívánt gének és tulajdonságok is megjelenhetnek a tenyészanyagokban. A nemesítő feladata az, hogy kitisztítsa a populációt, eltávolítsa a nem kívánt egyedeket, és a fajtafenntartás során biztosítsa a termék minőségét. A nemesítő szakmának megvannak a szabályai, éveken át folyik a növények értékelése és megfigyelése. Az eddigi tapasztalat szerint ez a tevékenység sikeres volt, és nagyban hozzájárult az agrárium eredményességéhez. A növénynemesítől beavatkozások végső célpontját a gének jelentik, így érthető módon a nemesítés mindig támaszkodott a genetikai kutatások eredményeire. Gondoljunk a poliploidia, heterozis vagy mutációs módszerek felhasználására. A megváltozott kromoszómákat hordozó növények gyakran rendellenességeket mutatnak. A nemesítő dolga az, hogy a keresztezések sorozatával csak az értékes géneket építse be a fajtába. A nyolcvanas évek kezdete óta lehetővé vált a rekombináns DNS-módszerek felhasználása növényi gének izolálására. 1983/84-ben közölték az első transzgenikus növény előállítását. Mivel az izolált gének kedvező tulajdonságokat alakíthatnak ki a tenyésztanyagokban, ma már a géntechnológiai megközelítések egyre inkább a nemesítés integráns, a versenyképességet meghatározó részévé válnak. Így a nemesítés egy új metodikai alapjáról van szó, ami az egész fajta-előállítási tevékenységen keresztül hasznosítható. Azt, hogy milyen eredményességgel, a tények mutatják. Az alábbi táblázat szerint 1997-ben 27,8 millió hektáron termesztettek ilyen fajtákat. Feltételezhetően gazdasági, agronómiai és minőségi előnyeiüknek köszönhetően. Ezek a számok önmagukért beszélnek, és mutatják a technológia használhatóságát. A rendszer integráns részét jelentik – különösen takar-

mányok és élelmiszerek esetében – az etetési kísérletek. Hammond és mtsai közleménye [1] 1996-ban jelent meg a transzformáns szója élelmezési értékeiről. Tehát ezeknek a fejlesztési programoknak, hasonlóan a gyógyszerkutatásokhoz, megvannak a szabályai, az értékelés több szinten megtörténik. A kockázatot hivatottak csökkenteni a toxikológiai vizsgálatok, amelyeket a fejlett országok törvényei írnak elő.

Géntechnológiával módosított növények termesztése 1997-ben és 1998-ban (millió ha)*

Ország	1997	1998	Növekedés	Növényfaj	% (1998)
USA	8,2	20,5	12,4	szója	51
Argentína	1,4	4,3	2,9	gabona	30
Kanada	1,3	2,8	1,5	gyapot	9
Ausztrália	0,1	0,1	<0,1	olajrepa	9
Mexikó	<0,1	0,1	<0,1	burgonya	1
Spanyolország	0,0	<0,1	<0,1		
Franciaország	0,0	<0,1	<0,1		
Dél-Afrika	0,0	<0,1	<0,1		
Összesen	11,0	27,8	16,8		100

* Cive James [2] nyomán.

A Pusztai Árpád által elindított kampány azért tekinthető kifejezetten félrevezetőnek és károsnak, mert egy korai fázisban félbeszakadt kísérletet ragad ki példaként, és figyelmen kívül hagyja azt a ténytet, hogy kísérletet egyetlen láncszemet jelenthetnek egy közel évtizedes fejlesztési folyamatban. Ráadásul súlyos szakmai kételyek merülnek fel a kísérleti eredményeket és azok interpretálását illetően. Ezt erősíti meg a *Royal Society* vizsgálatának eredménye, amely hibás tervezésről, kivitelezésről és analízisről ad számot a kísérletekkel kapcsolatosan. Ez a tekintélyes szervezet Pusztai Árpád következtetéseit megalapozatlannak tartja

(*Financial Times*, 1999. május 23.). Minden tudós, kutató csinál rossz, elhibázott kísérleteket. Ez azonban nem ad alapot ahhoz, hogy a nyilvánosság elé álljunk, és világra szóló általános következtetéseket vonjunk le. Hasonlóan, a gyógyszereket fejlesztő kutatók nem a 499 használhatatlan vegyületre koncentrálnak, hanem arra az egyre, amely gyógyít és nem, vagy kevésbé károsít. Pusztai Árpád adatai azon túl, hogy a kísérletek megismétlését sürgetik, sok figyelmet nem érdemelnének. Hiszen még szakmai közleményben sem jelentek meg. A magyar média nagy szenzációt keltett az elszármazott tudós hazai szereplései kapcsán. Bőven akadnak a hatást fokozó támogatók, érdekes módon más tudományterületek művelői, akik életükben még nem dolgoztak a géntechnológiával előállított növényekkel. A félretájékoztatás által okozott károkat talán mérsékli, ha néhány kérdést szakmailag közelebbről megvizsgálunk.

1.) A használt növényanyag milyensége

Két, transzformációból származó gumóminta „postán” érkezett a Rowett Kutató Intézetbe. Tehát Pusztai Árpád maga nem végzett transzformációs kísérleteket. Ennek a területnek nem szakembere. Ott még tovább szaporították az anyagokat. Érdekes módon a hóvirág lektintartalma megváltozott, csökkent a szaporítás során. Ennek a lektinnak a génjét építették be a kutatók. A szülői és transzformáns növények számos, nem a génbeépítéssel összefüggő tulajdonságaikban is eltértek (fehérjeteralom, a burgonya lektinmennyisége). Figyelmet érdemel, hogy a toxikus glükokaloidszint nem került meghatározásra. Márpedig a burgonyagumó könnyen mérgezővé válhat, akár csak a fény hatására bekövetkező zöldülés folytán. A burgonya, mint kísérleti objektum, nem szerencsés választás, hiszen ennél a növénynél igen gyakori a vegetatív szaporításból adódóan a szövettenyészetekben megjelenő genetikai variabilitás. Éppen ezért nagyszámú – többszáz – transzformánsot kell előállítani. A nem kívánt vonalak szelektálása után a gént stabilan kifejező, több tíz genotípussal folytatódik a nemesítési munka. Manapság még egy közleményt sem lehet elfogadtatni egy-két transzformáns adataival. Komoly szakmai tájékoztatásra vall – a géntechnológiai nemesítés területén –, ha bárki egyetlen transzformánsra alapozva, az emberi egészséget fenyegető veszélyre hivatkozik. Éppen

az etetési kísérletek adnak biztos hátteret az eredményes szelekcióra. Ezért kapta ezt a feladatot Pusztai Árpád. Ez nem az első eset, hogy így értékelik a géntechnológiával előállított tenyészsanyagokat (lásd [1] hivatkozás). Sőt megkövetelt gyakorlat.

2.) A hóvirág lektin és a szintézisét biztosító gén lehet-e a ludas a károsító hatásért?

A fenti kérdésre maga Pusztai Árpád vizsgálatai adnak egyértelmű választ, hogy nem. Ugyanis a kontroll burgonyához adott 1200 µg/g mennyiségű lektin nem okozott károsodást. Különböző is 20 perces 110 °C-os főzés után a transzformáns gumókban is csak nyomokban mutatható ki a hóvirág lektin. A félbemaradt kísérletek részleteivel igen sokan foglalkoztak. A 12 patkány adatai sokszor nem elégségesek a megbízhatóság kimondásához. Nem igazán támasztják alá az agy méretének csökkenését, amire a magyar tv-állomások már úgy hivatkoztak, mint a gyerekeket fenyegető elsődleges veszélyre. Ha nem a hóvirág lektin, akkor mi lehet a bűnös? Mivel alkaloid vizsgálati adatok nincsenek, és illik a géntechnológiát kárhóztatni, kézenfekvő a karfiol mozaik vírusból származó promoterre terelni a gyanút. Ez megint egy szakterületen kívül álló kutató javaslata, amely tájékoztatlanból fakad. Hiszen a 27,8 millió hektáron termesztett transzgenikus fajták döntő többsége hordozza ezt az elemet. A szójával végzett etetési kísérletek is ilyen eredetű növényekkel történtek [1]. Ezekben a vizsgálatokban a nem kívánt mellékhatások nem jelentkeztek.

Talán túl sok energiát és figyelmet kötöttek le ezeknek a félresikeredett kísérleteknek az eredményei. Pusztai Árpád jelentése, illetve a terjedelmes irodalom a Rowett Kutató Intézet honlapján belül [3] megtalálható. Különösen aggasztó a média torzító, felfokozó hatása. Igen nagy a kutató felelőssége, hogy ne adjon tápot megalapozatlan félelemkeltésre. A magyar lakosság – köszönhetően a kiemelt figyelemnek – félreinformálása olyan jól sikerült, hogy az emberek nem mertek zöldséget vásárolni. Mindez azért, mert egy fejlesztési projekt kezdetén problémák jelentkeztek. Többéves, esetleg 5–8 éves további vizsgálat és nemesítés választja el a szóban forgó burgonya tenyészsanyagot attól, hogy tényleges forgalomba kerülhessen. A géntechnológia természetesen azt is lehetővé teszi, hogy egy adott gén működését korlátozni tudjuk. A jelen esetben egy

levél specifikus promoter használata mindenképpen szerencsés lett volna, tekintettel a hatóanyag széles hatásspektrumára. Tehát már a tervezéskor hiányzott az előretekintés.

A géntechnológiával kinemesített fajták értékét az idő és az agrártermelés gyakorlata hivatott visszaigazolni. A termőterület növekedésének üteme (lásd Táblázat) azt vetíti előre, hogy a nemesítésnek ez a módja általánosá válik. Ez különösen várható azért, mert ezzel a beavatkozással járó kockázatok a nemesítés során felismerhetők és kiküszöbölhetők. A géntechnológiai törvény is garanciákat épít be a hibák csökkentésére. Az áru minősége, ára befolyásolják majd a gazdák és a vásárlók szabad döntését. Persze nehéz szabad választásról beszélni akkor, amikor befejezetlen, hibás kísérletek szolgál-

nak a félelemkeltés alapjául. A rossz termékek idejekorán történő kiszűrése, a közvélemény korrekt tájékoztatása elvezethet majd oda, hogy ez a nemesítési módszer alapja lesz a környezetbarát, minőségközpontú agrártermelésnek.

Irodalom

- [1] Hammond, B.G., Vicini, J. L., Hartnell, G.F., Naylor, M.W., Knight, C.D., Robinson, E.H., Puchs, R.L., Padgett, S.R. (1996) The feeding value of soybeans fed to rats, chickens, catfish and dairy cattle is not altered by genetic incorporation of glyphosate tolerance, American Institute of Nutrition pp. 717-727.
- [2] James, C. (1998) Global review of commercialized transgenic crops: 1998, ISAAA Briefs No. 8-1998.
- [3] <http://www.crr.sar.ac.uk/gmo/eip.htm>

Dudits Dénes

Biokémia XXIII. évf. 2. sz. 41–43. oldal

Nézőpontok, ha különböznek (Homage to Árpád Pusztai)

Nehezen felejtendő számomra, hogy Vida Gábor, Pusztai Árpád előadása előtt felmutatta a „*Biotechnológia: lépéstartás Európával*” című kiadványt [1], és azt mondta, hogy ez a viselkedésforma inkább katonákra és nem kutatókra jellemző, s talán azt is meg kellene fontolnunk, hogy az önfeledt előremozgás állapotában mibe lépünk. Nem lenne rendkívüli, ha Dudits Dénes alapos tájékozódás után [pl. 2-3] kritizálná Pusztai csapatának munkáit, de érvelése szerint figyelemre sem méltatta azokat, s beírta azzal, hogy mások véleményére támaszkodva határozottan elutasító legyen [4]. Világos, ez a méta most és itt virtuális pályán folyik, s a túladalról az egérrel *easy*-re állított adogatógép szervirozza az ego-ápoló magaslabdákat. A mérkőzők: Pusztai Árpád, aki tehát nincs velünk és Dudits Dénes, aki viszont az ő magyarországi előadásain nem volt jelen (ez ugye csúsztatott *déuce*), s most már – komolyan – a nyájas fogadóra tartozik, hogy melyikre tesz. Mintha a több tudományág által is proponált körütekintés igénye Dudits fordításában félrevezető és kártékony lenne, amelynek egyetlen célja a *Biotechnológiai Haladás* makulátlan idomainak megpocsékolása.

Publicisztikát írni kétségkívül viszontagságos. Tudnunk kell hozzá, hogy a csak ránk jellemző módon, magánvéleményünket mondjuk el; olyat is, amit tudományos cikkben nehezen tehetünk. Lehetünk lángolóak, ironikusak, pikírték; juthatunk csupán halk (nem vérszegény) kérdésekig, de egyet nem tanácsos magunknak megengedni, hogy enlékezettünkől törlődjön az, hogy a „háromdimenziós műalkotások” szemléléséhez más, valóságos nézőpontok (nevezzük őket most lazán tudományágaknak) is léteznek, így minden egyedi pozícióból (úgyis, mint csörlátás) kétdimenziós képet, és nem szobrot látunk. Publicisztika kapcsán csak magunkra számíthatunk, s uram bocsá! majdnem per Árpádok, Bélák és Dénesek lehetünk néhány, könnyen (nem) ignorálható hasáb erejéig. Ha már idáig jutottunk a deherolzáásban, kísértés meg a „vég-sőt”, és ne gondoljuk azt sem, hogy bármely mérvadónak gondolt intézmény – legyen az a *Royal Society* – dodonai állásfoglalása mögé bújva, jóféle kőbányai *ale*-l kombinált *darts party*-n veszünk részt, ahol Pusztai *weiss und schwarz* képe lehet felcsíztva a céltáblára. Csöpp empátiás képesség és

önmegtartóztatás kéretik! Minderre nem a „szellemkép”, hanem saját későbbi önbecsülésünk (lásd előtte még önértékelés) miatt van szükségünk. Nem állom meg, hogy ne térjek ki a *Royal Society*-nek a Balkánon meglepetést sem keltő, névtelen nyilatkozatára, amelyet a *Lancet* nevű tudományos folyóirat szerkesztősége „lélegzetelállító arcátlan-ságnak” minősített, s ami mindjárt azután jelent meg, hogy a *British Medical Association* moratóriumsürgető felhívást tett közzé a GM-élelmiszerekkel kapcsolatban [5].

Tudománytisztelő embernek tartom magam. Mindezt nem jelenti azt, hogy (adminisztrációját) Mammonként tisztetem, s nem érzekelem, s nem sutyiban szelent. Szokott, nem éterien testetlen (sőt formálisan testületi), mint ahogyan azt a regéken nevelkedett, magasztalásra dresszírozott kobzosai hirdetik. Mint az összehasonlító élettanban némiképpen járatos, gyanákszom az ezen a területen a bizonytalanság legcsekélyebb jele nélkül tett kijelentésekre. Korunk élettani tudása (korántsem egyetlen a genetikával vagy a biokémiával) rudimentális a tárgyához mérve. Szorgalmasan katéterezünk, és ma még csak ennyi. Néha keserves átok a koherencia iránti érzék, felfedi, ha bárki „önmagáért beszél” kereskedelmével akarja pótolni a hiányzó ökológiai és táplálkozástani adatokat. A technológia használható – olvasom; a *management* szívósan dolgozott, a PR működik, a megtérülés folyamatban – fordítom le. Ezután tehát csak a „használható” jelző időben változó tartalmát kellene körüljárjunk. 1983-ban vettem egy *Commodore 64*-et. Azóta sokadik *IBM* gépemet nyúvóm; az elavulás mértéke olyan gyors a területen, hogy mikor az utolsó típust kihoztam a boltból egy hónap múlva már a felét érte. A dolog használható, de a gyártás – tapasztalatom szerint – sokkal hamarabb kezdődött, minthogy a „portékát” valamelyest is optimalizálták volna. Igencsak átmeneti és nem gyorsuló – ahogy hirdetik – korban élek. Nincs okom feltételezni, hogy a biotechnológia által ma kínált növényfajták előrehaladottabbak lennének, mint a már elfelejtett *C-64*-em. Csakhogy a transzgenikus növény egyben élőlény, amely önreprodukcióra képes (az idő képében tehát itt a negyedik dimenzió). Játszom a gondolat-tal, mi lenne, ha a *C-64* virágos növény lett volna, s most bosszúságomra újra-újranítrná a lakásom té-

tova zugaiban, mi több, kissé ódon gépi kódján keresztül „szaporán basic-re” butttaná a pentiumomat. A kiválogatott gének (kétlem, hogy a ma kézre eső *Escherichia* és *Agrobacterium* helyből a Nagy Találat lennének), a transzgenikus fajták sajnos nagyon is „korszerűek” (értsd jellemzőek a korunkra): expanziójuk/visszahívásuk – rövid múltjuk ellenére – máris tekintélyes. Úgy hiszem a biotechnológia igazi találatai még ezután következnek. Én várom őket, feloldanak ezt a csöppet sem élvezetes állóháborút, amelyben az eladás művészetébe tévedő biotechnológus és a technológiát műkönyezetbarátnak nevező természetvédő üzenget egymásnak. Ma a génbevitel még korántsem helyspecifikus – a növényi kromoszómák felében integrálódhat a transzgén. Ezen a ponton máris illendő lenne lekaszálódni a sámliról, úgy is mint némi alkotói önmérséklet, ha már a *termékmenedzseri* megfelelője el sem várható (vesd össze: „Jutalék” márkájú kontaktlencsék). Persze a két „szakma” mixtúrája különösen virulens lehetne, bár nekem a megélt nullszériákban a kutatói oldal recesszívnek tűnik.

Nem ízléses, ha bármely tudományág szakértője azt hiszi, hogy az érdemi tudás letéteményesei kizárólag arról a területről kerülnek ki (a világ ekkor valamely *Szakmán* belüli és kívüli részre osztatik); hogy van az evolúció nevű drámában olyan utolsó szín, amelyben mindenképpen mi mondjuk a katarikus végszót; ha valaki abban a téveszmében él; hogy minden probléma a *Szakmán* belül megoldást nyerhet. Bocsanat, nem! Ezek az új élőlények ugyanis termelési céllal mindennapi környezetünkbe kerülnek ki, amelyben hatványozottan bonyolultabb kapcsolatrendszerek működnek – pl. beporzás (intra- és interspecifikus hibridképződés), vegetatív szaporodás, asszociációk (dominanciaviszonyok az ökoszisztémákban) és táplálékláncok (ágaboga szinte végtelen) –, mint amúhoz az üvegházi kalitban hozzászoktunk. Példa erre az a biotechnológusok által összeállított, biodiverzitás fedőnévű szóróanyag [6], amelyet gödöllői tárgyalásán (1999. április 15.) ökológiában jártas opponensei (Jermy Tibor, Gyulai Iván és Vida Gábor) kvázi alkalmatlannak minősítettek, írók pedig úgy védekeztek, hogy az anyagban való közreműködésük névleges volt, illetve nem az ő véleményük nyilvánult meg (ezért idézem Anonymus-ként). Nem illene, hogy elámuljunk azon, hogy a biotechnológiai labor falán túl az infraindividuális jellegű szü-

lői kompetenciánk lejár; a jövevényt körülöngiák magukat szupraindividuálisnak meghatározó „udvarlók” [7], akik igazából nem a mi – bizonyára átszellemült – képmásunkat csodálják benne, s ha érdeklő is őket a felmenők sora, mégis inkább a „nagylány” kvalitásaira fókuszálnak. Ezek az ökológusok (és még populációgenetikuskok) – azt hiszem – némi ízléskülönbséggel olvasnak olyan kijelentéseket, hogy a populációt a nemesítő ki szokta volt tisztítani. De, hogy ezen a területen is lássunk valamit, az USA-ban a zeller hagyományos szelekciójával sikerült olyan fajtát nemesíteni, amely a Bosnyákon a „csodás” minősítést kapta volna, ha nem termel elképesztő mennyiségű 8-metoxi-pszoralent, amelyet lehetséges rákkeltőnek tartunk. Ez a fajta sohasem kapott termesztési engedélyt.

Próbálkozzunk azért valami mással is, például, hogy ki finanszírozza az ökológiai vizsgálatokat. Ha erre nincs komolyan vehető választási kötelesség beépítve az engedélyezési rendszerbe [8], akkor jelenleg senki: várjuk a *Godot* nevű, közérdekekre specializálódott messiást. Az USDA például a biotechnológiára kapott fejlesztési pénzek 1%-át fordította ökológiai rizikófelmérésekre. A fejlesztők [pl. 9], akik ezen a területen többnyire a növényvédőszer-gyártás irányából érkeztek, nem igyekeznek arra pénzt költeni, amire nem muszáj. Ebben igen gyakori, hogy egy adott országban gyártott és ott környezetvédelmi okokból betiltott növényvédő szert másik országnak adnak el. Például Dánia (*parathion-methyl*), Olaszország (*atrazine*) és Németország (*atrazine*) kereskedői mutatják be nálunk a *technológiatranszfernek* ezt a kissé penetráns módját. Módomban állt beletekinteni a transzgenikus növényekkel kapcsolatos hazai engedélykérelmek némelyikébe. A transzgenikus cukorrépával és repcével kapcsolatban például a *Dokumentációban* azt olvashattam, hogy rokonfajaival nem kereszteződik. Így, csupán egyetlen, hivatkozásokat is nélkülöző kijelentő mondat formájában. A *Beta* fajok géncentruma Európában van, az 1800-as évek elején a „sziléziai fehérrépából” nemesítették ki a cukorrépát; a repce és rokonainak keresztbeporzására számtalan adat áll rendelkezésre [pl. 7, 10]. Akkor most mit is jelent a „most rigorously tested” frázis, amelyet itt egyetlen, *cut/copy*-val átemelt svindli gyámolt? Ki vizsgálta, és hol az eredmény, ha nem a dokumentációban? Ha azt hiányoljuk, hogy miért nem publikálta adatait tudományos lapokban is (!)

Pusztai Árpád csapata, az miért nem jut eszünkbe, hogy hol vannak egyáltalán az állításaik ellenkezőjét bizonyító táplálkozástani publikációk? Tényleg nem hiányoznak? Az USA mérvadónak tartott engedélyezési rendszere (*Food and Drug Administration*), amely abból a fantáziaszegény feltételezésből indult ki, hogy a GM-táplálékok azonosak a természetesekkel, a *Flavr Savr™* paradicsom után kísérletet sem tett arra, hogy más, attól lényegileg eltérő GM-élelmiszerek táplálkozástani biztonságosságát ellenőrizze, sőt e tekintetben figyelmen kívül hagyta saját tudósainak figyelmeztetéseit is [11]. Ez azért már méretes skandalum, ha nem tévedek. Mi történné, ha ezzel fogyasztói minőségünkben szembenéznénk? A tényeket, a flórát, ugyanúgy mint az esetleg kissé fanyalgó fogyasztót különösen baljóslatú dolog leváltani.

De mi van, ha a transzgenikus növény még termel is valamilyen enzimet (ami ebből-abból ezt-azt gyárt, pl. totális herbicideket lebont) vagy toxint (amely rovarokat betegít meg)? A herbicidtoleráns növényekkel kapcsolatban annak kellene hitelt adnunk, hogy a „szapora” emberiség (jelentős aránytévésztes erről éppen nálunk beszélni) élelmészési problémáit oldják majd meg [12]. A szívödlegesztő blöff ellenére azonban mindez egyszerűen a fajta- és a gyomirtószerek-előállítás hasznát célozza meg; azaz, az üzleti világ sem jótekonyságba feledkezett a változatosság és egy futó szentimentális pillanat kedvéért. Itt azonban – ami újdonság – az örökítőanyagot érintő árukapcsolással gyomirtó szerét a jövőbe röpltetette. Ehhez viszont már szükségeltetik némi kanitativ lablaba; hulljanak a könnyek Tambacoundától Petropavlovskzig. A transzgenikus növényhez illesztett gyomirtó szerek között már ma több van, amely ökotoxikológiai elemzés szerint, visszafogottan minősítve is meghaladott. A 2,4-D vízszennyező, mutagén, több állaton (madár, emlős) teratogén, immunszuppresszív és ösztrogén agonista hatást mutat; az *asulam* és a *bromoxynil* az EPA szerint emberen lehetséges karcinogén, teratogén (kétféltűek) és ösztrogén agonista, míg a *glyphosate* „csupán” mint ösztrogén agonista és mutagén (kétféltűek) gyanúsított [13]. Hol tehát a térdre kényszerítő érv a hozsannázáshoz? Kellene némi okot adni! A Bt-toxint termelő, rovarölő növények esetében, merre található a tarlómaradványok lebomlásával kapcsolatos széles körű vizsgálatok (egy van), a toxintartalmú pollen okozta by

the way nem célzott fajritkításról sem elfelejtkezve [14-15]? A Bt-toxinos kukorica hazai engedélyezésére úgy került sor, hogy a kukoricamoly, amely ellen a technológia jó hatású, nem is tartozik a számtottevő kártevők közé. Parazitáltsági értékei 0–37% között igen variábilisak [16]. Szóval – akinck ez új – nem Indianában élünk. A tövenkénti 1-2 lárvaszámot meghaladó, szártörést – így betakarítási veszteséget – okozó kártétel nálunk ritkaság. Miért lenne akkor fájn, ha divatból Bt-toxinos kukoricát termeszténénk?

S akkor még megszólal egy – tőlünk eltérően – világszerte ismert tudós, Pusztai Árpád, aki kísérleteiről nem állít többet (kéretlen „magyarázóit” tessék róla leválasztani!), mint amit azok sugalltak, s arra figyelmeztet, hogy táplálkozástani területen csupán egyetlen publikált vizsgálat alapján engedélyezték a *glyphosate*-toleráns kukoricafajtákat, s ezen keresztül a technológiát. Az egyetlen, ugye, csakis egybehangzó lehet; régóta tudjuk, hogy a második állítás mindig a kísérítés maga. Táplálkozástani területen viszont Dudits, velem együtt – bevallhatóan – kétéves nyeretlen. Nem ez a meglepő, nincs profi hegymászó, aki azt hinné, hogy a horizonton látható csúcsokat is maga alá gyúrta, műkedvelő ellentettje viszont a Kékesről parancsolja visszavonni a távoli csúcsokon (mondjuk a Ben Nevisen) ülők teljesítésigazolásait. Biotechnológusnak higgyek-e táplálkozástani és ökológiai kérdéseket illetően [lásd majd 17]? Én személy szerint már annak is örülnék, ha közülük valaki arra vállalkozna, hogy elemezze, mi a következménye annak, hogy a táplálékkal bevitt DNS-fragmentumok az egér emésztőrendszeréből átkerülve a véráramba rövid idő alatt transzformálják a fehérvérsejteket [18]. Lehet persze, hogy mégis inkább immunológust kérdezek, és endokrinológust arról, hogy mi a véleménye a *Roundup Ready* szóják 12–14%-kal csökkent fitoösztrogén-tartalmáról (a mellrák, csontritkulás és szívbetegségek ellen írják le a védőhatását) [látható majd 19], és újra csak Pusztait, hogy mi is a helyzet a lektinek közé sorolható Bt-toxinnal? Fitokémikusok a növényi „vegyigyárakról” és persze toxikológusok a biztosítékok relativitásáról sokfélét mesélhetnének. Mégis generálisabb az, ami Dudits írása [4] kapcsán foglalkoztat; mégpedig, hogy megszólalhat-e a *sensu lato* szertartástól független kutató, vagy rajta is számon kérhető a management által elrendelt felakadt szemű halleluja?

Ki az, aki egy kutató helyett eldönti, hogy az eredményei nyilvánosak vagy fiókban maradók? Erre szolgálna a saját belátóképessége és a lelkiismerete, s az önálló döntéshez, mint tudjuk, ezek sérületlensége szükségesek. Gyakori-e ez olyan országokban, ahol a költségvetés a kutatás működési költségeinek felét fedezi, míg a többit az államháztartás szakszervezetektől kell összetartálni, akik a szerző helyett dönthetnek már el, hogy a saját, esetleg közérdekű eredményeik publikusak-e. Amiért minden tiszta szándékú tiszteltem Pusztai Árpádot az, hogy jelentős pozícióját kockáztatta kutatói kétélyeiért. Szóljon bátran, aki erre szintén képesnek hiszi magát!

Irodalomjegyzék

- [1] Dudits D., Dohy J. (összeállítók) (1998) Biotechnológia: lépéstartás Európával. In: Magyarország az ezredfordulón. Stratégiai kutatások a Magyar Tudományos Akadémián. II. Az agrárium helyzete és jövője. (Glátsz F., szerk.) (Magyar Tudományos Akadémia, Krónika Bt., Białostok) pp. 1-157.
- [2] Pusztai, Á., Ewen, S.W.B. (1999) Scientific advice to government: genetically modified food. (Science and Technology Committee. London, Stationery Office) pp. 1-53.
- [3] Pusztai, Á. (1999) GMO - testing... or leaving it to chance? *Consumer Voice*, 2: 13-15.
- [4] Dudits D. (1999) A géntechnológia szerepvállalása a növénytermesztésben: a Pusztai-botrány üzenete. *Biokémia*, 23: 41-43.
- [5] Anonymous (1999) The empire strikes back. *GM-Free*, 1 (3): 4-5.
- [6] Anonymous (1999) Nemzeti biodiverzitás stratégia és akcióprogram (NBSAP): biotechnológia. pp. 1-13. (nyilvános vitára bocsátott kézirat)
- [7] Darvas B. (1997) A genetikailag módosított élelmiszerek kibocsátásának környezeti kockázatai. (Fenntartható Fejlődési Bizottság. Környezetvédelmi és Területfejlesztési Minisztérium, Roxanne Nyomda, Budapest) pp. 1-64.
- [8] Darvas B. (1999) Törvényre törve (Genetika - gén-etika). *Élet és Irodalom*, 43 (6): 6.
- [9] Tokar, B. (1998) Monsanto: a checkered history. *The Ecologist*, 28: 254-261.
- [10] Láng I. (szerk.) (1970) A növénytermesztés kézikönyve (Mezőgazdasági Kiadó, Budapest).
- [11] Anonymous (1999) US regulators ignored own scientists warnings over GM food. *GM-Free*, 1 (3): 12-13.
- [12] Dudits D. (1998) Növénytermesztés géntechnológiai segítségével. (MTA Szegei Biológiai Központ. Winter Fali Kft., Szeged) pp. 1-12.
- [13] Darvas B. (1999) Genetikailag módosított élelmiszerek a növényvédelemben. In: A biológiai növényvédelem és helyzete Magyarországon (Polgár A. L., szerk.) (OMFB, Budapest) pp. 209-232.
- [14] Butler, D., Reichhardt, T. (1999) Long-term effect of GM crops serves up food for thought. *Nature*, 398: 651-656.
- [15] Losey, J.E., Rayor, L.S., Carter, M.E. (1999) Transgenic pollen harms monarch larvae. *Nature*, 399: 214. (correspondence: Berlinger, J.E. (1999) *Nature*, 399: 405)
- [16] Nagy, B. (1984) Sixty years of the entomoparasite complex of the European corn borer in Hungary. In: Proc. 13th Workshop Intern. Working Grp. Ostrinia nubilalis. (IOBC, Colmar, France) pp. 95-100.
- [17] Ewen, S.W.B., Pusztai, Á. (1999) Effect of diet containing genetically modified potatoes expressing *Galea solanalis* lectin on rat small intestine. *Lancet*, in press.
- [18] Schubert, R., Lettmann, C., Doerfler, W. (1994) Ingested foreign (phage M13) DNA survives transiently in the gastrointestinal tract and enters the bloodstream of mice. *Molecular and General Genetics*, 242: 495-504.
- [19] Lappé, M., A. Bailey, E.B., Childress, C. Setchell, K.D.R. (1999) Alterations in clinically important phytoestrogens in genetically modified, herbicide-tolerant soybeans. *Journal of Medicinal Food*, 1: in press.

Darvas Béla

Biokémia XXIII. évf. 4. sz. 99-102. oldal

A nézőpontok valóban különböznek

Sőt, nemcsak a nézőpontok, hanem a stílus is. Én például nem tekintem publicisztikának, amit most írok, hanem szakmai, vagy talán inkább szakmapolitikai vitának, és ezért nem kívánok versenyre kelni Darvas Bélával, már csak azért sem, mert helyenként nem egészen értem, hogy voltaképpen mit is céloznak meg gúnyjának magasan szálló nyilai. Dudits Dénes sem szorul a védelmemre, legfeljebb megjegyzném, hogy Darvas egyáltalán nem foglalkozik az érveivel, csak egyéb frásaival, vagy azzal a fontos kérdéssel, hogy ott volt-e Pusztai előadásán.

Egyébként én sem kívánok Pusztaival foglalkozni,

mert egyáltalán nem szégyenlem, hogy – nem lévén élelmiszer-toxicológus (úgy tudom Dudits Dénes és Darvas Béla sem az) – egy e területet érintő szakmai vita megtételeénél jobban bízom a *Royal Society* által felkért semleges bizottság véleményében, mint a sajátomében. Az egyéni – és nem hozzáértő – vélemény különösen gyanús, ha azt csak az egyik fél álláspontjának figyelembevételével (Darvas ugyanis két Pusztai-közleményre hivatkozik) alakítják ki. Ha a *Lancet* arcátlanok nevezte *Royal Society*-t, ez az ő ügyük, én – innen a Balkánról – ettől inkább óvakodnék.

Darvas azonban nemcsak Pusztait védelmezi Dudits ellen, hanem a géntechnológiát is támadja. A következőkben néhány konkrétummal kapcsolatban vitatkozni fogok vele, de szeretném azzal kezdeni, amiben mélysegesen egyetértünk. Sőt, meg szeretném köszönni neki, azt az általam eddig nem ismert érdekes adatot, amelyet a jövőben – engedelmével – további vitákban fel szeretnék használni. Darvas ugyanis megemlíti egy olyan zeilert, amelyet hagyományos nemesítéssel állítottak elő, amely gyönyörű, csak éppen rengeteg karcinogént tartalmaz. Éppen ez az, amivel mi molekuláris biológusok érvelni szoktunk (rendszerint hatástalanul), hogy ugyanis „veszélyes”, „káros”, „kockázatos” élőlényeket a hagyományos nemesítés is képes előállítani, a kockázatokat a konkrét esetekre vonatkozóan kell meghatározni, és semmi ok nincs feltételezni, hogy a géntechnológia „per se” feltétlenül veszélyesebb, mint a korábbi eljárások. Darvas azzal is vádol bennünket, hogy az érdemi tudás kizárólagos letéteményeseinek tekintjük magunkat. Noha nem állhatok jól minden kollégámért, magamra nézve kategorikusan visszautasítom ezt a vádat. Eszembe sincs ökológiai, növényvédelmi, evolúciobiológiai stb. kérdésekben arbiternek tekinteni magam. Ezeket a kérdéseket a megfelelő diszciplínák szakembereinek kell megválaszolni. Engedteségek azonban meg, hogy a saját szakterületemre, a molekuláris biológiára vonatkozó kompetenciámra hivatkozva kijelentsem: mindannak alapján, amit a genomszerkezetről, génexpresszióról stb. tudunk, semmi ok nincs annak feltételezésére, hogy az a tény, hogy egy adott gént a rekombináns DNS technikával és nem a jól bevált szexuális úton vittek be egy genomba, szörnyű és sosem sejtett rémségek pandora szelencéjét nyitja meg. Nem indokolt, hogy egy ilyen gént tartalmazó növényből származó élelmiszert a riasztó „Frankenstein-food” elnevezéssel illessék, hogy csokoládégyárak ijedten bizonygassák, hogy ők bizony garantáltan nem tettek a csokoládéba olyan lecitint, amely génumócosított azójából készült (noha nagyon jól tudják, hogy a lecitinben semmiféle módon nem lehetne kimutatni, hogy az milyen eredetű), vagy hogy jelentős raktárkészleteket semmisítsenek meg, mert nem garantált a lecitin „kóser” volta. Mindezzel természetesen nem azt állítom, hogy kizárt a GMO-k veszélyessége, csak azt – Darvassal egyetértve –, hogy ilyen veszélyek a hagyományos nemesítésnél éppúgy felléphetnek.

És most néhány konkrétum:

1. Az FDA nem abból indul ki, hogy a GM-táplálékok azonosak a természetessel, hanem abból, hogy ha és amennyiben releváns paraméterek tekintetében azonosak, akkor pusztán azon az alapon, hogy génmódifikált növényből vagy állatból származnak, nem szükséges eltérő módon kezelni azokat (mint ahogy a gyógyszerek – igen szigorú – ellenőrzésénél sem tesznek, sehol a világon ilyen különbséget).
2. Bt-toxinos kukorica termelésének hazai engedélyezésére nem került sor, kizárólag kísérleti parcellákban való vizsgálatára. A kérelem elbírálásánál csak azt kellett mérlegelni, hogy jelent-e ez a kísérlet veszélyt, vagy sem. Ha ilyen kukoricára, a kukoricamoly csekély kártétele miatt, nálunk nincs szükség, akkor gondolom, a gazdák nem fogják venni (ha majd egyszer, egy újabb engedélyeztetési eljárás után netán forgalomba kerül). Ez piaci és nem engedélyezési ügy. Mellékesen: van valami tragikomikus abban, hogy a géntechnológia különböző rendű és rangú ellenfelei állandóan azt hangoztatják, hogy a cégek túl kevés kísérletet végeztek, ezért nem szabad még a termelést engedélyezni. A kísérletek elvégzését viszont tűzzel-vassal igyekeznek megakadályozni.
3. Darvas idézi [18] Doerfler 1994-es kísérleteit, azt állítván, hogy azokban a bevitt idegen DNS transzformálta a fehérvérsejteket. Vagy figyelmesebben kellett volna olvasnia, vagy – saját figyelmzetését meghallgatva – nem kellett volna kompetenciáján kívüli területre merészkednie. A cikkben ugyanis szó sincs transzformációról, csak az idegen DNS fragmentumok időleges jelenlétéről (8 óra múltán már nem volt kimutatható semmi). A cikk befejező mondata szerint egyébként a leírtak azt bizonyítják, hogy a rekombináns DNS kísérletek nem járhatnak azzal a veszéllyel, amelyet egyesek feltételeztek róluk.
4. Ugyancsak idézi [15] azt az elhíresült közleményt, amely azt állítja, hogy a Bt-kukorica pollenje öli a *Danais*-lepkék hernyóit. Mivel ez egyértelműen Darvas szakterülete, nem az enyém, ezért kellő tisztelettel, az outsider nalvításával, csak néhány kérdést tennék fel. Vajon nem gondolja-e, hogy illetet volna a cikkben közölni a pollen mérvenységét? Nem gondolja-e, hogy torzító hatású, hogy a kísérletben a hernyóknak nem volt választásuk, csak pollennel bekenet leveleket ehettek, míg a szabad természetben ez feltehe-

tően nem így van? Nem gondolja-e, hogy a selyemkóró (*milkweed*) – amely tudtommal kellemtelen gyomnövény – hagyományos, akár kapával történő irtása többet árt a *Danais*-nak, mint a Bt-kukorica? A biogazdálkodók által nagy mennyiségben használt Bt-toxin nem bántja a *Danais* hernyót? És főleg: a Bt-kukorica előtt a farmerek semmiféle inszekticidet nem használtak?

Végül: kissé már szégyellem ismételní, mert az elmúlt évben legalább háromszor megírtam a következőt. Azt az *ultima ratioként* hangoztatott érvet, hogy a mezőgazdasági géntechnológia nem az emberiség üdvét, hanem a multik profitéhségét szolgálja, populista demagógiának tartom. Nem mintha nem volna igaz. Biztosan igaz, ugyanúgy, mint

annyi más – ebbe a kategóriába tartozó – szlogen. Azt azonban érdemes volna tudomásul venni, hogy a géntechnológia gyógyszeripari alkalmazásait – amelyeket ma senki sem ellenez – ugyanígy a multik profitéhségének köszönhetjük (sokszor ugyanazokról a cégekről van szó, hiszen a Monsanto, az AgrEvo vagy a Novartis gyógyszergyártók is). Azok az ezrek és tízezrek, akiknek az életét ezek a gyógyszerek mentették meg vagy tették elviselhetőbbé, feltehetően nem neheztelnek különösképpen emiatt. Ahogy, vélhetően Darvast sem akadályozta meg Commodore 64-esének PC-re cserélésében az a kellemetlen tudat, hogy ezzel az IBM profitját növelte.

Venetianer Pál

Biokémia XXIII. évf. 4. sz. 102–104. oldal

Gondolatok a génmódosított élelmiszerek kapcsán kialakult vitáról

Magyarországon – mint a világ más országaiban is – heves viták dúlnak a génmódosítás hívei és ellenzői között. Nemcsak a napi sajtóban, televízióban, újságokban, de tudományos szaklapokban is vitacikkek és más publicisztikai írások jelennek meg a génmódosítás mellett és ellen. Így a *Biokémia* 1999. júniusi számával beindított egy tudományos vitasorozatot a géntechnológia szerepéről, s ebbe később a *Magyar Tudomány* is bekapcsolódott. E vita jelentős részét elkerülhetetlenül a Rowett Kutatóintézetben (*Rowett Research Institute*) 1995 és 1998 között a génmódosított (GM) burgonyával végzett élelmiszer-tudományos vizsgálataink, s ezeknek a jelentősége és vélt hibái képezték és képezik még most is. A történet elemei közismertek és nyomtatásban is megjelentek [1,2].

Ezt az eszmefuttatást nem annak szántam, hogy részletekbe menően aláhúzzam azokat a különböző tollakból származó tudományos érveket, következtetéseket és gondolatokat, amelyekkel egyetértek, vagy hogy megcáfoljam azokat, amelyeket hibásnak tartok e vitasorozatban. A legtöbb téves adatot és nézetet már különben is kijavították azon tudóstársaim [3-5], akik vették maguknak a fáradságot, elolvasták és analizálták a GM-burgonyával végzett munkánk adatait, melyeket részint mi magunk publikáltunk a *Lancet* folyóiratban [6], részint a Rowett Kutatóintézet igazgatója – jogainkat semmibe véve és minden ellenkezésem dacára – az interneten közzétett. Ehelyütt legfeljebb csak bizonyos tárgyi tévedésekre kell rámutatnom, ám e cikkben számomra a legfontosabb az, hogy néhány gondolatot felvessek, melyeket fontosnak vélek a vitával és résztvevőivel kapcsolatban, és döntőnek tartok a génmódosítás jelentőségének és jövőjének megítélésében.

A vita

Az egyik legfontosabb és állandóan visszatérő reakció a génmódosítás mellett kardoskodó tudósok írásaiban a már paranoia határát súroló panaszkodás a média ellen. Nem teljesen érthető érveik szerint valamilyen összeesküvés zajlik az újságokban és a televízióban a génmódosított élelmiszerek ellen. A csúcspontot ebben egy márciusi angol tv-műsor, „*The Rise and Fall of GM*” jelentette, amelyben a program szerkesztői szerint a génmódosítás „bukását” és az emiatt bekövet-

kező, százmilliókat sújtó éhínséget a zöldek és a média torzításai idézték elő, továbbá az, hogy a telt hasú nyugati értelmiség elzárkózik ettől a potenciálisan világmegváltó technológiától. Kétségtelen, hogy a különböző zöld NGO-k sosem titkolták, hogy ellenzik a GM-technológia bevezetését, és ellene – a demokratikus államrend által számukra biztosított jogok alapján – minden eszközzel küzdeni fognak. De az a beállítás, hogy a zöldek ilyen nagy hatalommal rendelkezének, már majdnem nevetséges túlzás: a multinacionális biotechnológiai vállalatok szervezetsége és pénzümlelliói mellett a zöldek még labdába sem rúghatnak. A Monsanto cég például 1998-ban egymillió angol fontot szánt angliai hirdetési kampánya finanszírozására. Az eredmény siralmas volt: a kampány végén a GM-technológia ellenzőinek a száma – nemhogy csökkent volna – jelentősen megnőtt. A többi biotechnológiai vállalat vádolta is a Monsantót, hogy túl agresszív és nem odavaló érveket használtak – a kampány bukásáért így nem a média volt a felelős. Az Edinburghban 2000 februárjában tartott OECD-konferencia egyik érdekes észrevétele is az volt, hogy az angol közvélemény reakciója (és más európai országoké is) a GM-élelmiszerek ellen nem a média, a zöldek vagy „maverick” tudósok bűne, hanem maguk a biotechnológiai vállalatok és tudósai a felelősek önműn „rossz sajtójukért”. Nem lehet csodálkozni az emberek elutasító magatartásán, hiszen a biotechnológiai vállalatok PR gurui nem magyaráztak semmit, csak elintézték a közönség tájékoztatását egy frázissal: mindenki legyen nyugodt, mert a GM-élelmiszereket vagy a vállalatok maguk, vagy pedig az FDA (az Egyesült Államok Élelmiszer- és Gyógyszerellenőrzési Hivatala) részletesen és minden más élelmiszernél tökéletesebben megvizsgálták, és abszolút biztonságosnak találták. Ezt az önelégült, leereszkedő és egyáltalán nem igaz hozzáállást a BSE-ből (marha kergekór) éppenhogy kikeményedő angol közvélemény úgy fogadta, mint bika a vörös posztót. A média is megérezte ezt a hangulatot, de ha a vita nem segítette volna elő a példányszám emelkedését, az újságok már régen el is felejtették volna, hogy GM-élelmiszerek léteznek egyáltalán. A sajtó érdeklődése rövid éltű: két nap, esetleg két hét körülbelül behatárolja figyelmüket. Ezzel szemben a GM-

élelmiszerek ügye inamár majdnem két éve napirnden van, mutatva, hogy a biotechnológiai vállalatok hibáztak valahol, és ezt vagy nem hajlandók, vagy nem tudják elismerni és kijavítani. Jenes Barnabás és Halász Gergely írásukban [7] hiába utalnak naivan arra, hogy a sajtónak a feladata a helyes tájékoztatás. A sajtó fő feladatának önön fennmaradását tekinti a minél nagyobb példányszám eladásával. A jó tudományos meggyőzősen alapuló helyes tájékoztatás a biotechnológiai vállalatok feladata lenne, s ezt nem lehet átruházni senkire sem.

A vita résztvevői

A következő alapgondolat a génmódosítási technológia tudós proponenseinek a szerepéhez kapcsolódik. Ők azzal vádolják a GM-élelmiszerek bevezetését ellenző vagy akárcsak megkérdőjelező tudósokat, hogy modern ludditák, akik meg akarják állítani a tudomány fejlődését. Venetianer Pál akadémikus *Magyar Tudományban* megjelent cikkének [8] – melynek címe („Géntechnológia-ellenesség – tudományellenesség?”) kérdőjelesen fogalmaz ugyan – elemzése szerint a géntechnológia ellenzői nagyon heterogén táborhoz tartozó emberek, akik visszaélnék a tudományos érvelés látványával, és különböző logikai és dialektikai hibákat követnek el. Ezzel szemben, fejt ki a továbbiakban a szerző, az igazi tudományos közösségen belül nincs komoly ellentét a géntechnológia egészének megítélésében. Ilyen és ehhez hasonló érvekkel próbálják a génmódosítás mellett síkra szálló tudósok kiszorítani a legális tudomány köréből azokat a kutatókat, akik fenntartással fogadják ezt az új technológiát, illetve akik a génmódosítás módszereinek kiszámíthatatlansága miatt nem is fogadják el, hogy a génmódosítás mikéntjét lehet-e egyáltalán technológiának nevezni. Röviden a GM hívói szerint csak ők az igazi tudósok, s ezen felfogásukat széles körben „ex katedra” hirdetik anélkül, hogy elgondolkoznának azon, vajon az ilyen szélsőséges és önelégültséggel teli nézetek milyen reakciót kelthetnek a társadalom zömében, akik csak aranyit látnak az egészből, lám, lám, a tudósok ismét marakodnak. Mint a rossz pap, aki vizet prédikál és mégis bort iszik, a tudományos érvelés meggyőző erejéről prédikáló GM-hívó tudósok az exkommunikáció bunkóját pörgetik a GM-ben nem hívó eretnekkel szemben.

A GM-párti tudósok állandóan csepetülnek a napi sajtót, mert ezek, mint állítják, szenzációhajhász-

suk miatt mindent meghamisítanak. Kétségtelentül ebben van valami igazság. Sajnos a *Biokémiában* és a *Magyar Tudományban* megjelent cikkek is jó példáját adják annak is, hogy a tárgyi tévedések, félremagyarázások, túlzások, rosszindulatú és kiragadott idézetek használata nem csak a zugsajtó privilégiuma. Vegyük példaként Dudits Dénes akadémikus cikkét a *Biokémiában* [9]. Az ember azt gondolná, és joggal, hogy ha egy elismert és magas pozíciójú tudós véleményt nyilvánít egy ilyen fontos és a szakmájába vágó problémával kapcsolatban, előzőleg részletesen elolvassa a művet, amit kritizálni akar, ha lehetséges, meghallgatja a szerző előadását, elemzi az adatokat, felméri az azokból eredő következtetések helyességét, és ezután mondja el véleményét. Ezzel szemben mi történt? Dudits akadémikus a *Biokémiában* frott cikkében ugyan hivatkozott a Rowett Kutatóintézet honlapjában közzétett adatainkra, de miután ezek elolvasására nyilván nem tudott elég időt szakítani, többségüket félreidezte. Csak néhány példát ragadok ki. Nem indítottam el semmiféle kampányt, sem a GM-élelmiszerek ellen, sem mellettük. Egy tv-program 150 másodpercében a nem tesztelt, de már közforgalomban lévő GM-élelmiszerek esetleges veszélyességével kapcsolatos aggályaimról beszéltem az angol közönségnek, és ezt teljesen jogosan tettem, miután a Rowett Kutatóintézetben folyó kísérleteket az angol adófizetők finanszírozták, és hasonló, a biotechnológiai vállalatoktól független, kísérlet-sorozat nem létezett, és még ma sem létezik. Dudits akadémikus szerint én figyelmen kívül hagytam, hogy ezek a „korai fázisban félbeszakadt kísérletek”...„egyetlen láncszemet jelenthetnek egy közel évtizedes fejlesztési folyamatban”. Sajnos cikkében idézett irodalmi hivatkozásai ezt nem erősítették meg, pedig a magam részéről szívesen vettem volna, ha ennek a láncszemnek legalább egyik-másik kimagasló példáját közölte volna, mert tudomásom szerint ezt az évtizedes fejlesztési folyamatot csak egy nem független (a Monsanto kutatói által frott) cikk jelzi.

Nem teljesen világos számomra, mi a jelentősége annak, hogy a két gumóminta „postán” érkezett a Rowettbe (valójában zsákszámba teherautóval). Gondolom Szegeden, Dudits akadémikus intézetének kutatói is együttműködnek más területen dolgozó kutatókkal – senki sem képes mindent egyedül véghezvinni. Sajnos, nem láttam a GM-tesztelési adataikat a tudományos irodalomban, s így nem győződhettem meg módszereikről és ered-

ményeiről. Tudomásom szerint még a biotechnológiai ipar is egyedülálló fontosságúnak tekintette a három nagy intézetet magában foglaló és általam koordinált együttműködési munkát, amelyben a GM-technológia majd minden fontos környezeti, egészségügyi és fejlődéstani következményét kritikusan megvizsgáltuk a GM-burgonyát használva modellként. A hóvirágkéttingént a *Rowett*-ben végzett előzetes kísérlet-sorozataink alapján és a mi közreműködésünkkel vitték át a burgonyába egy olyan módszerrel, amit kivitelező kutatóink a Monsanto laboratóriumában fejlesztettek ki a nyolcvanas évek végén, és amivel a szoma-klonális variabilitást a minimumra lehetett csökkenteni. Nem értem azt sem, Dudits akadémikus minek alapján jelentette ki oly nagy biztonsággal, hogy a toxikus glükóalkaloidszint nem került meghatározásra. (Mellékesen jegyzem meg, hogy az alkaloidszint mindig alacsonyabb volt a transzformált vonalakban mint a nem transzformáltakban, s így a GM-burgonya etetése során talált kedvezőtlen hatásokért ezeket nem lehetett felelőssé tenni.)

A logikai bakugrást sem fedezte fel Dudits akadémikus, mikor a mi két, postán érkezett gumó-mintánkról írt. Nem jutott az eszébe, hogy ezek esetleg annak a folyamatnak az eredményei, amelyet ő is ismert, mikor a több száz transzformáns szelektálását említi a nem kívánt vonalak elvetésére, hogy a további munkát a gént stabil módon kifejező genotípusokkal folytathassák. A két GM-burgonyavonal pontosan egy ilyen szelekció eredménye volt. Ezt a két „mintát” éveken keresztül természetették Rothamsteadben (IACR, Dél-Anglia), kiterjedt szabadföldi vizsgálatokban, kézen arra, hogy a megfelelő engedélyeztetés után forgalomba hozhassák.

A részletekben úgyszintén komoly tudóshoz nem illő pontatlansággal sokat tévedett. Így például a kontrollburgonyához a kísérletekben nem 1200, hanem csak 30 µg hóvirágkéttingént adtunk 1 g táp-hoz. Nem 20 percig, hanem 60 percig főztük a burgonyát, és nem 110 °C-on, hanem a víz normális forráspontján, 100 °C-on. A lektin a főzés után nem nyomokban maradt vissza, hanem az eredeti mennyiség 20%-ában. A kísérletekben nem 12 patkányt használtunk, hanem csoportonként hatot (így például az első két kísérlet mindegyikében 42 állatot). Sem a tv-programban, sem máshol nem hivatkoztam a karfiol-mozzika-vírusból származó promotérra, mint a fő gyanúsított: ez a következtetés nem tőlem származik. Igaz, hogy a *Lancet*-cikkünk vilá-

gosan utal arra a lehetőségre, hogy vagy a vektor befolyására, vagy pedig a bevitt gén ki nem számítható hatására változások állhattak be a burgonya saját génjének működésében, de ennek a pontos megállapítása további munkát igényelne, amit a géntechnológiát féltő tudománypolitikusok nem engedtek. Dudits akadémikus nyilvánvalóan nem érti a különbséget, amit az angol fogyasztóközönség kiválóan érzett: a *Rowett*-ben a biotechnológiai vállalatoktól függetlenül folytatott kutatómunka és a biotechnológiai vállalatok tudósainak kutatása között a lényeges különbség az volt, hogy nekünk nem fűződött semmi érdekünk ahhoz, hogy GM-burgonyáink különböznek-e a konvencionális burgonyától vagy sem. A mi munkánk hitele 40 év tapasztalataink és 280 – nemzetközi tudományos folyóiratokban közölt – cikknek alapult, és ami a legfontosabb, mi nem csupán függetlenek voltunk, de az angol közönség is annak látott berntünk.

Dudits akadémikus jól ismeri mindazokat a problémákat és hiányosságokat, amelyek – állításával ellentétben – jelenleg nem teszik lehetővé, hogy egy adott gén működését befolyásolni és korlátozni tudjunk. A forgalomban lévő GM-növények döntő többsége a karfiol-mozzika-vírus promotérével készült, mert a levélspecifikus promoterek hatásfokát a biotechnológiai cégek túl alacsonynak tartják, és így kutatásukra kevés pénzt szenteltek. Remélhetőleg további kutatások majd ezt is lehetővé fogják tenni.

Cikke végén Dudits akadémikus ismét hivatkozik a GM-technológia egyik mumusára, tudniillik hogy a mi befejezetlen és hibás kísérleteinket alapul véve a média annyira megfélemlíti a gazdákat és a vásárlókat, hogy azok nem fognak szabadon dönteni a GM-termékek mellett. Ha ez az érv nem lenne annyira patetikusan túlzó, még talán hízogónak is vélhetném.

Sajnos Dudits akadémikus nincs egyedül kísérleteink félremagyarázásában. Venetianer Pál akadémikus is azzal érvel, hogy senkinek sincs oka azt feltételezni, hogy a *Royal Society* és más neves testületek tudósai ne lennének pártatlanok, mikor a GM-technológia érdemeit hirdetik, vagy éppenséggel a mi GM-burgonyával végzett kísérleteinket támadják. Sajnos – miután ezek a tudósok, kerülve a nyilvánosságot, kritikájukat név nélkül közölték – az egyszerű emberben olyan gondolatok is támadhatnak, hogy esetleg valami takarivalójuk van. Az angol közvélemény is érezte a különbséget a *Royal*

Society kritikusai és az eredményeink mellett kiálló 24 nemzetközileg elismert kutató között, akik aláírták memorandumukat, és nem bíjtak névtelenség mögé. Közben adataink egy részét a *Lancet* leközzölte, így mindenki tanulmányozhatta kísérleti protokollunkat és eredményeinket. De ez sem zavarta a *Royal Society* (London) jelenlegi elnökét, mikor az újságoknak adott interjújában elvetette az eredményeink valóságát, mert – mint mondta – a kontrollkísérletekben a használt fehérjekoncentráció nem volt azonos a tesztcsoportéval. Ezt – bár cikkünkben világosan leírtuk, hogy a fehérjekoncentráció és az energiatartalom a kísérleteinkben használt tápok mindegyikében azonos volt – sajnos a nem szakember újságrónak könnyen be lehetett magyarázni, így meg is jelent az újságokban, és elhangzott a BBC tv-adásában. Azóta is mindenki ezt a kijelentést idézi, ami nem a média túlzása, hanem egy közismert és nagy tekintélynek örvendő tudós ferdtése. Egy másik esetben a *Rothamstead* (ahol a burgonyánkat termesztették) igazgatója (a *Lancet*-cikkünk egyik hírlója) úgy nyilatkozott, hogy kísérleteink nem voltak jók, mert mi a kísérlet közben megváltoztattuk a tápot, amit a különböző csoportoknak adtunk a kísérlet elején („*changing horses midstream*”). Ezt a valótlanságot (a legjobb esetben esetleg ferdtésnek tekinthető kijelentést) megint csak nem a média találta ki, hanem egy magas pozíciójú tudóstól származott.

Noha egyetérték Dudits akadémikus zárómondatának gondolatával, hogy „a rossz termékek idejekorán történő kiszűrése (és) a közvélemény korrekt tájékoztatása elvezethet majd oda, hogy ez a nemesítési módszer alapja lesz a környezetbarát, minőségközpontú agrártermelésnek”, úgy érzem, hogy ezt a GM-hívó tudósok többnyire csak frázisként használják. Mondanivalójuk és hozzáállásuk lényegének annak kellene lennie, hogy konstruktívan előre nézzenek, s arról beszéljenek, miképpen tudnák előrelépni, magunk mögött hagyni ezt a meglehetősen steril vitát és a más véleményt valló, kutató tudósok leszólását. Sajnos ehhez be kellene vallani, hogy nincs minden rendben a génmodosítással, és rá kellene venni a biotechnológiai vállalatok felelős vezetőit, hogy jelentős profitjuk egy részét szánják rá a GM bevezetéséből eredő egészségügyi és környezetvédelmi problémák kutatására. Venetianer Pál ellenében állíthatom, hogy a molekuláris biológusok nagy részét leszámítva, az orvostudomány és a táplálkozásban szakértői, továbbá fiziológusok és biokémikusok

egy nem jelentéktelen hányada velem együtt nem osztja a GM-pártiak azon véleményét, hogy a biotechnológiai ipar jelenlegi termékei nem jelenthetnek veszélyt az emberiség számára. Úgy érzem, hogy ezek az agnosztikus tudósok inkább állnak a tudomány biztos talaján, mikor azt javasolják, ellenőrizzük, vajon a GM-élelmiszerek tényleg azonosak-e a nem GM párjukkal vagy sem, állítsunk fel módszereket annak vizsgálatára, vajon rövid és hosszú távú etetés során bekövetkeznek-e szervi és növekedésbeli elváltozások fiatal állatokban, és hogy immun- és endokrin rendszerük fejlődése zavartalan-e vagy sem. Miért kellene felfüggesztenünk kritikai érzékünket, mihelyst a GM-technológiáról van szó?

A jövő

Meggyőződésem, hogy a tudományos racionalitás felül fog kerekedni, és tudósokhoz illően, hagyományaink szerint és társadalmi felelősségünk teljes tudatában elkezdjük azt a munkát, amit már 20 évvel ezelőtt meg kellett volna indítanunk. A génmodosítás módszereit tovább kell fejleszteni, és új módszereket kell felállítani, hogy a jelenlegi, nem biztonságos technológiát egy precízebb és veszélytelenebb technológiával helyettesítsük. Lépéseket kell tennünk abba az irányba is, hogy megértsük a gének működésének szabályozását, gátlását és a gének kifejezésének elősegítését.

Nem felel meg a valóságnak az, amit a GM-biotechnológiai vállalatok próbálnak elhitetni velünk, hogy nincsenek megfelelő módszerek a GM-élelmiszerek biológiai tesztelésére. Tény, hogy klasszikus toxikológiai vizsgálatokat nehéz – bár nem lehetetlen – élelmiszereken végrehajtani. Az ilyen típusú vizsgálatokra főleg akkor lenne szükség, ha valamilyen oknál fogva valamilyen toxin génjét használnák fel a transzformációra. Ettől eltekintve, normális körülmények között toxinok megjelenésére főleg csak akkor számíthatunk, ha a nem transzformált növény vagy annak valamilyen része maga is tartalmazott, esetleg csak nyomokban is, valamilyen toxint. A legjobb példát erre a burgonya glükokaloidjai szolgáltatják. Ezek az alkaloidok főleg a levélben fordulnak elő magas koncentrációban, de a zöldülő burgonyagumóban is jelen vannak. Pontosán emiatt határoztuk meg a glükokaloidszintet a két GM-burgonyavonalunkban, hogy kizárjuk annak a lehetőségét, hogy a génbevitel megváltoztatta a glükokaloidszintet a gumóban.

A toxikológiai vizsgálatoknál általánosabb jelentőségű és potenciálisan szélesebb körű az alkalmazása azoknak a fiatal állatokon elvégzett rövid és hosszabb távú etetési kísérleteknek, amelyeket a GM-burgonyamintáinkkal végeztünk. Ezek összekapcsolhatók metabolizmusvizsgálatokkal, valamint az immunrendszerben és a hormonháztartásban beálló lehetséges változások vizsgálatával. Ilyen típusú kísérletek mindennaposak az állati táplálkozásban és takarmányozás terén, így metodikájuk kölcsönvehető, legalábbis kiindulópontként, új módszerek fejlesztésére. Az állati táplálkozásban is úgy történik, hogy mielőtt megváltoztatnák az állati tápok összetételét, új fehérjeforrásokat és tápanyagokat vezetnének be, ezek hatását patkányokon vagy más laboratóriumi állatokon végzett etetési előkísérletekben majd minden esetben szigorúan megvizsgálják, és az eredményeket nemzetközi táplálkozástani folyóiratokban közlik. Több százra tehető az ilyen cikkeknek a száma, s a mi laboratóriumunkból is legalább 40 ilyen cikk jelent meg az utóbbi 20 évben. Így állhatott elő az a jelenlegi paradox helyzet, hogy az állatokkal etetett tápok sokkal részletesebben és tudományosabban tesztelik, mint az élelmiszereket, legyenek azok konvencionális vagy GM-élelmiszerek.

Több ízben tettem és publikáltam javaslatot egy lehetséges és kivitelezhető GM-tesztelési program beindítására. Utoljára Edinburghban, a 2000. február végén tartott OECD-konferencián tartott előadásomban részleteztem javaslatomat. Miután ennek a szövegét a honlapomon részletesen leírtam [10], a javasolt többlépcsős tesztelési programot itt csak nagy vonalakban vázolólok fel:

1. Kémiai összetétel-vizsgálat. Az első lépésben a kiválasztott transzformált vonalat (vonalakat) szigorúan párosítva a nem transzformált szülővonalal egymás mellett és azonos körülmények között újra-termesztjük, és az ezekből vett számos mintát kémiai analízisek vetjük alá. Makro- és mikrokomponenseket, valamint a növény ismert, biológiaiilag aktív összetevőit meghatározva megállapítjuk, hogy a transzformáció okozott-e lényegbevágó, statisztikailag szignifikáns összetételbeli különbséget a transzformált és a szülői vonalak között.

2. A GM-növényből izoláljuk a bevitt génterméket, és megvizsgáljuk, vajon azonos-e az eredeti géntermékkel. Ezt nemcsak kémiai, hanem biológiai módszerekkel is ellenőrizzük. Így például megmérjük (ELISA stb.) laboratóriumi patkányok bélrend-

szében, hogy van-e különbség a két géntermék *in vivo* stabilitása között vagy sem. Ezt semmiféle *in vitro* teszt nem helyettesítheti. Úgysszintén meg kell határoznunk azt is, hogy az eredeti és a GM-génterméknek mi a hatása a bélrendszer sejtjeire, és hogy ezek vagy más vektorkomponensek miképpen befolyásolják a bélsejtek metabolizmusát és struktúráját.

3. Rövid és hosszú távú etetési kísérletek. Azonos fehérje- és energiatartalmú szemiszintetikus tápok etetünk fiatal, gyorsan növő állatokkal szigorú páros (*pair-feeding*) tesztben. A tápok között az a fő különbség, hogy míg a GM-táp a GM-növényt tartalmazza, addig a kontrollpatkánycsoport tápjában egy ugyanolyan mennyiségű nem transzformált vonal szerepel. Egy második kontroll úgysszintén kötelező: itt az első kontrollhoz hasonlóan a nem transzformált növényen alapuló tápot etetjük, de hozzákeverjük (*spüang*) az izolált génterméket ugyanolyan arányban, ahogy azt a transzformált növény tartalmazza. Ez a kontroll arra ad felvilágosítást, hogy a vektorok illetve a génmánipulációs technológiának van-e valamilyen hatása. A GM- és a szülővonalakat mind nyersen, mind hőkezelés után teszteljük. A kísérletek végén összehasonlítjuk a különböző tápokkal etetett állatok növekedését, szerveik fejlődését, és megfelelő tesztekkel és statisztikai módszerekkel ellenőrizzük immun- és endokrin rendszerük működését.

4. A kísérleteket szükségszerűen ki kell terjesztenünk mind hím, mind nőstény patkányokra, mert ezek különbözőképpen reagálhatnak. Ami még fontosabb, ezeket a kísérleteket a GM- illetve nem GM-tápok etetésével több generáción át is el kell végeznünk, hogy megállapítsuk, vajon a génmódosítás hatással van-e a szaporodásra, valamint az egymás után következő generációk fejlődésére és egészségére.

5. Ha a rövid és főleg a hosszú távú etetési és egyéb állatkísérletek eredményei elfogadhatóak, és nem utalnak elfogadhatatlan egészségügyi veszélyekre, a következő lépésben a GM-élelmiszerek hatását meg kell vizsgálnunk humán önkénteseken végzett klinikai kísérletekben. Ezeket a gyógyszerek teszteléséhez hasonlóan több fokozatban kell végrehajtani jól kidolgozott kettős vak, placebokontrollált módszerekkel.

Noha még ilyen vagy ehhez hasonló kísérletsorozatok végén sem lehetünk teljesen biztosak abban, hogy a GM-élelmiszereknek vannak-e hosszú távú

káros hatásai az emberiségre, segítségükkel kizárhatnánk egyes káros hatásokat. Meggyőződésem, hogy fennáll annak a lehetősége, hogy a jelenlegi technológiával (karfiol-mozaikvírus promótert és antibiotikumrezisztencia-gént tartalmazó vektor stb.) előállított és forgalmazott első generációs GM-élelmiszerek potenciálisan veszélyesek, és így forgalmazásukat legalább öt évre fel kellene függeszteni. Ez idő alatt alá kellene vetni őket egy fentihez hasonló vagy azzal azonos tesztesési programnak, és csak akkor lehetne forgalmazásukat újraengedélyezni, ha ezek a tesztek nem indikálnak az egészségre (és környezetre) elfogadhatatlan, káros hatásokat. Nagyon fontos követelmény, hogy ezeket a vizsgálatokat ne a biotechnológiai vállalatok kutatói, hanem tőlük független tudósok végezzék, és az eredményeiket utána nemzetközileg elismert folyóiratokban közzélik a szokásos szakértői bírálat (*peer review*) után. Hogy az eredmények még szélesebb körben is ismertek legyenek, a folyóirat megjelenése után az eredményeket az interneten is közzélni kell. Az elfogadást megelőző génbizottságok munkája is nyílt legyen, mint azt az OECD-konferencia is proklamálta: az egész folyamat legyen nyitott, áttekinthető és átfogó („open, trans-

parent and inclusive”). Ha mindezen kritériumnak eleget tettünk, biztos vagyok abban, hogy a biotechnológiai iparnak és a GM-hívő tudósoknak sem lesz okuk panaszkodni a média túlzásaira, a zöldek ellenkezéseire és szkeptikus tudóstársakra, mert polgártársaink és a fogyasztó közönség lesz annyira érett, hogy ne utasítson el egy olyan technológiát, amely saját és az emberiség érdekét szolgálja.

Irodalomjegyzék

- [1] Pusztai, Á. (2000) Academic freedom: Is it dying out? *The Ecologist*, 30: 26-29.
- [2] Pusztai, Á. (2000) GM Foods - Dr. Pusztai speaks. *Laboratory News*, February issue.
- [3] Sajgó, M. (1999) Biotechnológia: a szellem már kívül, de megvan-e még a palack? (Kisérlet Asykona). *Biokémia*, 23: 38-40.
- [4] Bakóczy, K. (1999) A genetikai módosítás és a fizetődíjazott tájékoztatás - Válasz Dudits Dénesnek. *Biokémia*, 23: 64-67.
- [5] Dervás, B. (1999) Nézőpontok, ha különböznek (Hommage to Árpád Pusztai). *Biokémia*, 23: 99-102.
- [6] Ewen, S.W.B., Pusztai, Á. (1999) Effects of diets containing genetically modified potatoes expressing *Glycothius nhialis* lectin on rat small intestine. *The Lancet*, 354: 1353-1354.
- [7] Jones, B., Haldén, G. (2000) A veszélyes géntechnika? *Biokémia*, 24: 19.
- [8] Veretárner, P. (1999) Géntechnológia-ellenesség - tudományellenesség? *Magyar Tudomány*, 1999: 1170-1176.
- [9] Dudits, D. (1999) A géntechnológia szerepvállalása a növénytermelésben: a Pusztai botrány üzenete. *Biokémia*, 23: 41-43.
- [20] <http://www.freenetpages.co.uk/hp/a.pusztai>

Pusztai Árpád