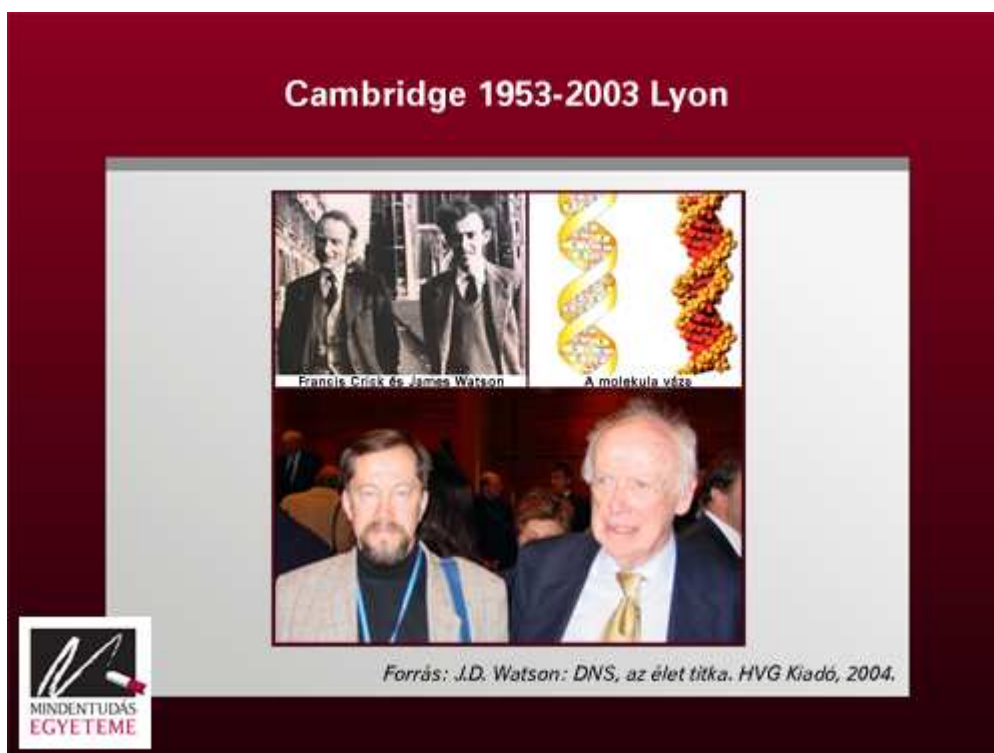


# Heszky László

## Transzgénikus növények - az emberiség diadala vagy félelme?

### I. Tudományos alapok

#### I. 1. Amit a földi élet titkáról tudunk



1. ábra

Nyolc éves voltam, amikor 1953. február 28-án, egy szombat reggelen Watson és Crick fiatal kutatók Cambridge-ben összeállították a DNS kettős spirál végső modelljét (**1. ábra**). Csodálattal tekintettek az egyszerű és elegáns kettős hélixre, melyről azóta bebizonyosodott, hogy valóban a földi élet információját hordozó molekula. Ez a pillanat mérföldkő volt az emberiség történetében, melynek 50 éves évfordulóját ünnepeltük 2003-ban, a World Life Science Fórum keretében, Lyonban tartott DNS-napon, ahol alkalmam volt találkozni és beszélni a már 75 éves Watson professzorral.

Az 1953 óta eltelt fél évszázad alatt 44 olyan tudós kapott Nobel-díjat, akiknek kutatási eredményei közvetlenül vagy közvetve a földi élet titkát hordozó molekulával, a DNS-el kapcsolatos ismereteink bővülését szolgálták. Ezek az ismeretek adták az elméleti alapot és elvi lehetőséget a transzgénikus növények gyakorlati célú előállításához is.

Az elmúlt 50 évben megtudtuk, hogy a földön élő valamennyi szervezet, így a növények

összes tulajdonsága is a sejtek örökítő anyagában, a DNS-ben van kódolva. A növények DNS-ének hosszúsága néhány százmilliótól több tízmilliárd nukleotidpárig terjedhet.



2. ábra

Ma már tudjuk, hogy a DNS-ben és génjeiben tárolt genetikai információ az adott egyed minőségi és mennyiségi tulajdonságain kívül tartalmazza a sejtek és azok együttese, a szervezet működésének programját, beleértve az anyagcsere-folyamatokat, az ontogenezist, a növekedést és fejlődést, valamint a szaporodást is, továbbá a biotikus és abiotikus stresszekkel szembeni védekezési reakciók programját, az állatok és ember esetében az immunrendszer működésére, sőt bizonyos mértékig a magatartásra és a viselkedésre vonatkozó információkat is stb. Lassan helytálló lesz az a szállóige, hogy "ismerd meg önmagadat, ismerd meg génjeidet". Mindezeket leegyszerűsítve talán nem túlzás azt állítani, hogy mindannyian "génjeink termékei" vagyunk, tehát génjeinkkel jellemezhetőkké váltunk, génjeink elárulnak minket, feltárják "belső szépségeinket" (2. ábra).

Ezzel kapcsolatban említést kell tennem egy a szakmai körökben óriási derűtséget kiváltó eseményről, miszerint a magyar Parlament egyik tagja felszólalásában kijelentette, márpedig ő "gén nélküli világban szeretne élni". Ez a megdöbbenő eset is bizonyítja, hogy a társadalom mennyire felkészületlen a géntechnológia fogadására, továbbá hogy ismereteink milyen hiányosak a földi élet lényegével és az élőlények működésével kapcsolatban (3. ábra).

A DNS-ben tárolt információ egységeit a gének jelentik. A gén fogalmát legegyszerűbben úgy definiálhatjuk, hogy a DNS azon szakasza, mely egy vagy több RNS, illetve fehérje kódját és az annak megnyilvánulásához szükséges szabályozó szekvenciákat tartalmazza. A géntechnológia szempontjából a gén végül is egy programcsomagnak tekinthető. A gének száma a tudomány mai állása szerint emberben 20-25 ezer, növényben 25-40 ezer. Természetesen a sejtekben termelődő fehérjék száma ennek valószínűleg a többszöröse.



**3. ábra**

A különböző földi élőlények, még a rendszertanilag és filogenetikailag távoli fajok sejtjeinek felépítése, életfolyamatai, anyagcsereje is, azonos vagy nagyon hasonló. Ebből az következik, hogy az ezekben a folyamatokban résztvevő fehérjék és enzimek fehérjék génjeinek is hasonlóknak kell lenniük. Végeredményben levonható az a következtetés, hogy a sejtszinten és a sejtek genomjában található génekben, tehát az egyes programcsomagokban sokkal kisebb a különbség az egyes fajok között, mint az a sokszor alapvetően eltérő külső megjelenésükből logikusan következne. Az ember és a csimpánz génjei között a különbség például 0,1 %. Ami azt jelenti, hogy az ember és a csimpánz génjeinek 99,9 %-a azonos, tehát információjuk és funkciójuk is azonos vagy nagyon hasonló. A növényeknél maradvia: a ma termesztett kukorica 5 főgénben és 15 kisebb hatású génben különbözik a teoszinte (*Euchlaena*) nevű évelő pázsitfű-östől.

A 25-40 ezer gént kódoló genom a növények minden sejtjének sejtmagjában megtalálható. A 25-40 ezer gének azonban csak egy kis hányada működik egy-egy sejtben, egy adott időpontban. A működő génekben is eltérés van a sejtek között. Az eltérő gének működése adja az egyes szervek és szövetek eltérő felépítését, specialitásait.

## **I. 2. Lehetőség a földi élet információjának módosítására**

Az élet információjának teljes megfejtését célzó nemzetközi kutatások és genomprojektek mellett fontos előrelépést jelentett, hogy lehetővé vált az információt hordozó DNS molekuláris módosítása is. A gyakorlati lehetőséget a Smith és Nathans (Nobel-díj 1978) által 1970-71-ben felfedezett restriktív endonukleáz enzimek adták, melyekkel mint ollóval lehet "szabni, vágni" a DNS-t. (4. ábra) Ezzel a lehetőséggel élve Berg (Nobel-díj 1980) állította elő 1972-ben a Földön az első ember által módosított (rekombináns) DNS-molekulát, megnyitva az utat az emberiség előtt, hogy a földi élet információját hordozó molekulát, a nukleinsavat (RNS, DNS) mesterségesen módosítsa.

A 20. század végére tehát az emberiség nemcsak megismerte a földi élet információját hordozó molekulát, hanem képessé vált annak módosítására is. Ez paradigmaváltást eredményezett a növénytudományokban.



#### 4. ábra

A paradigmaváltás lényege, hogy a mendeli genetikára alapozott 20. századi növénynevelés az utódok hasadásából próbált következtetni a vizsgált egyedek genotípusára, a 21. században pedig a molekuláris megközelítés a genotípusból indul ki és annak módosításával éri el a kívánt fenotípust.

A géntechnológia gyakorlati alkalmazásának lehetőségét a fentiekben már bemutatott ismereteken kívül az adja, hogy:

- Az anyagcsere-folyamatok a Földet benépesítő fajokban (mikroorganizmusok, növények, állatok és ember), azok minden sejtjében többé-kevésbé "azonos technológiai előírások" szerint, összehangoltan és szabályozottan zajlanak.
- Az anyagcserében résztvevő molekulák és funkcióik - végeredményben a "technológia minden eleme" - a földi élet információját hordozó molekulában, a DNS-ben (a génekben) van kódolva.
- A genetikai kód pedig a Földön élő minden faj génjeiben azonos, tehát kompatibilis! (5. ábra)

A gének kompatibilitása ad alapot arra, hogy a növények sejtjeinek genomjába nemcsak növényi, hanem emberi, állati, sőt baktérium- és vírus- eredetű gének is működni fognak. Egyetlen fontos kritérium van, nevezetesen hogy az átvitt idegen eredetű információt a növényben működő szabályozó szekvenciákkal kell ellátni.

A géntechnológia végül is képes áttörni az evolúciós gátakat (szaporodási izoláció), de az ökológusok megnyugtatósára nagyon fontos hangsúlyoznunk, hogy nem változtatja meg a fajok szaporodási határait.



**5. ábra**

Ezek a felismerések, valamint a molekuláris biológiai, genetikai és biotechnológiai tudományok által kidolgozott módszerek napjainkban már lehetővé teszik, hogy az élő szervezetek - jelen esetben a növények - működését vezérlő genetikai programot mi magunk változtassuk meg az emberiség és a gazdaság igényeinek megfelelően. Ez az új géntechnológia lényege, lehetősége és stratégiája.

A géntechnológiával kialakított új tulajdonságoknak komoly természettechnológiai, piaci és kereskedelmi értékük lehet. Ezeknek a lehetőségeknek a kihasználására a világon az elmúlt évtizedekben géntechnológiai verseny alakult ki a transzgenikus növényfajták 21. századi piaciért. Napjainkban már részesei vagyunk ennek a versenynek.

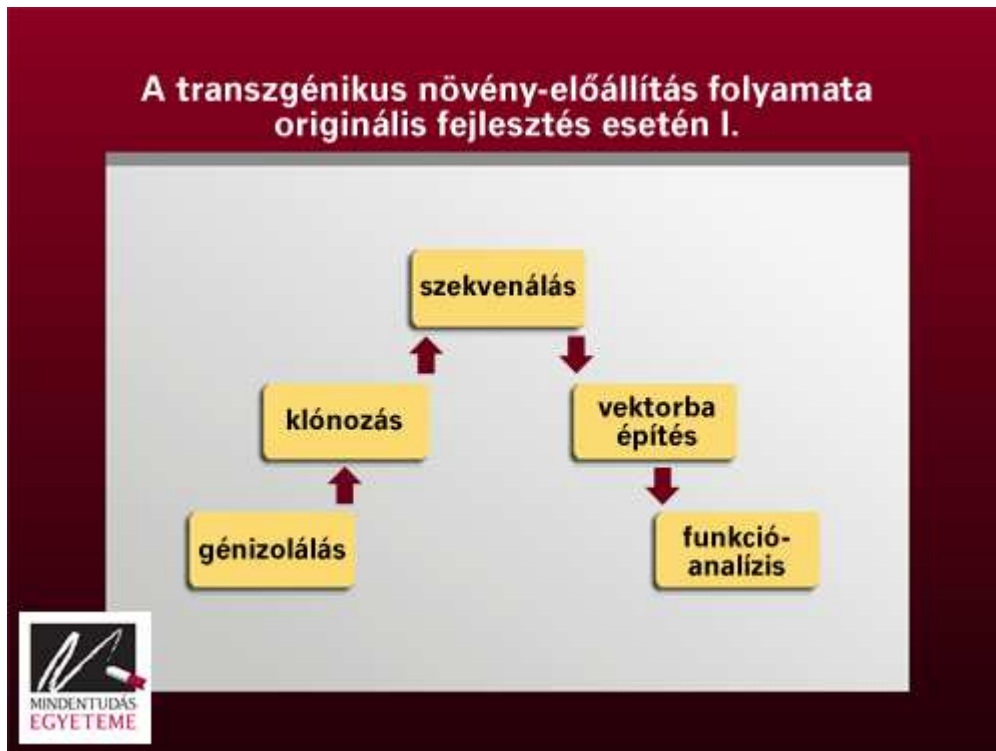
### **I. 3. A géntechnológia módszere**

A molekuláris megközelítések adta új lehetőségek gazdasági kiaknázása céljából új transzgenikus technológia (géntechnológia) került kidolgozásra.

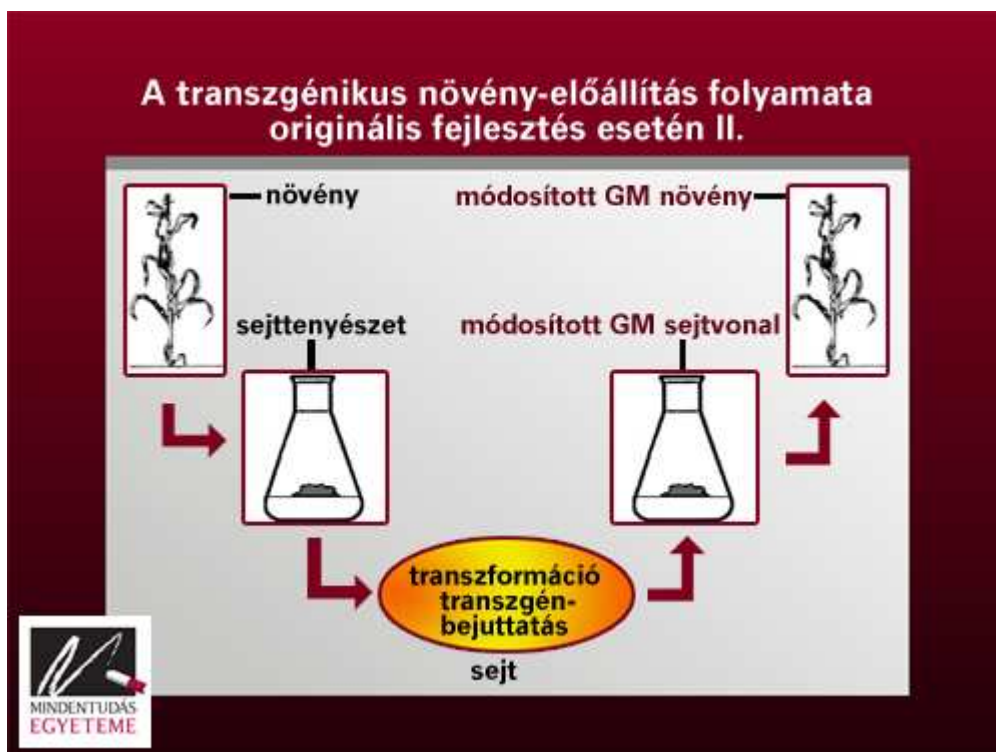
A géntechnológia 4 fő területre osztható:

1. **Molekuláris technikákkal**, genomanalízissel, gazdaságilag jelentős gének izolálásával, klónozásával, funkcióinak elemzésével kezdődik (**6. ábra**).
2. **Molekuláris és sejtszintű technikákkal folytatódik**: A gazdaságilag jelentős információkat vektorokba (transzgenbe) építik be és ezeket a vektorokat juttatják be a növényi sejtekbe. A sejtekből regenerált növényeknek már minden sejtje tartalmazni fogja a transzgént (**7. ábra**).
3. Ezután következnek a **növény szintű vizsgálatok**: az előállított transzgenikus növények vizsgálata és tesztelése, a transzgen integrációjának, működésének és öröklődésének vizsgálata, valamint a transzgenikus növények gazdasági értékének meghatározása.

4. Ezt követik a **szántóföldi kísérletek**: a GM növényfajták fajtakísérleti vizsgálata, majd GM fajtaként való hivatalos elismerése és kereskedelmi forgalomba kerülése (8.ábra).



6. ábra



7. ábra



**8. ábra**

Egy transzgénikus növényfajta előállítása 8-12 évet igényel és 100 millió dollárba, azaz 22 milliárd forintba kerül. Ez magyarázatot ad arra is, hogy miért csak a multinacionális cégek rendelkeznek GM növényfajtákkal? A válasz egyszerű, mert csak ezek a világcégek rendelkeznek akkora tőkeerővel, és hajlandók befektetni akkora összegeket, mely egy GM növényfajta előállításához, egész világon való szabadalmi védettségéhez, illetve elterjesztéséhez szükséges.

A **növényi géntechnológia** végül is a transzgénikus növényfajta előállításának technológiáját jelenti, mely a gének izolálásával kezdődik, és a transzgénikus növényfajta forgalomba hozatalával fejeződik be. A **géntranszfer** konkrétan azokat a molekuláris technikákat jelenti, melyekkel különböző élőkből származó géneket, azaz információs programcsomagokat (transzgéneket) viszünk át növényi sejtekbe. Az ilyen sejtekből regenerált növényeket nevezük **transzgénikus növényeknek**, melyek minden egyes sejtjében megtalálható a transzgén. A **transzgénikus növények** tehát azok, melyek sejtmagjába (genomjába) géntechnológiával idegen gént (transzgént) juttatunk be, s bennük a transzgén integrálódik, működik és öröklődik.

A GM növény abban különbözik a hagyományostól, hogy minden sejtjének genomja - az eredetileg jelen lévő 25-30 ezer génen kívül - egy vagy több géntechnológiával bejuttatott idegen gént is tartalmaz, továbbá ezek működésének eredményeként egyes szerveiben vagy szöveteiben - az eredetileg is termelődő 60-80 ezer fehérjén kívül - egy vagy több új fehérjét is termel.

Napjainkban laboratóriumok százai állnak át a géntechnológia adta tudományos lehetőségek gyakorlati realizálására. Sok ezerre tehető a különböző célú géntechnológiai módosítások száma. Ezek közül csak néhányat mutatok be, olyanokat, melyek vizuálisan is látványos változásokat idéznek elő a transzgénikus növényekben.

## I. 4. Érdekesebb géntechnológiai stratégiák

Elsőként a **kék és lila szegfűket** ajánlom figyelmükbe, melyekben a növényi pigment- (antocián-) bioszintézist módosították (**9. ábra**). Ezek egy japán és ausztrál közös vállalkozás termékeként már kereskedelmi forgalomban vannak, megrendelhetők.



9. ábra

Tudományos szempontból azonban sokkal érdekesebb az a világon egyedülálló munka, mely a **kék rózsza** előállítását célozza (**10. ábra**) (**11. ábra**). Az elmúlt évszázadokban sokan próbálkoztak az előállításával sikertelenül. Ahhoz, hogy a géntechnológiai megközelítés sikeres legyen, először molekulárisan meg kellett ismerni, hogy miért nincs a rózsafajban kékszínű virág. A válasz az, hogy a rózsából hiányzik a kék antocián-szintézist biztosító enzim, a dihidroflavon-reduktáz (DFR). Egy íriszfajból izolálták a kék szín-specifikus DFR gént, majd bejutatták a rózsába. Abból a célból, hogy az antocián-bioszintézis ténylegesen a kék színt eredményező alternatív utat kövesse, a többi utat le kellett állítani. Ezt - a rózsában különösen erős - piros színt biztosító DFR gén blokkolásával érték el.



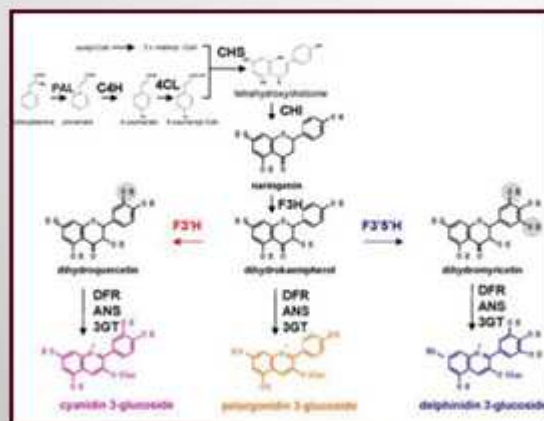
## A virágszín géntechnológiai módosítása



Forrás: [www.florigene.com](http://www.florigene.com)

10. ábra

## A virágszín géntechnológiai módosítása



Forrás: [www.florigene.com](http://www.florigene.com)

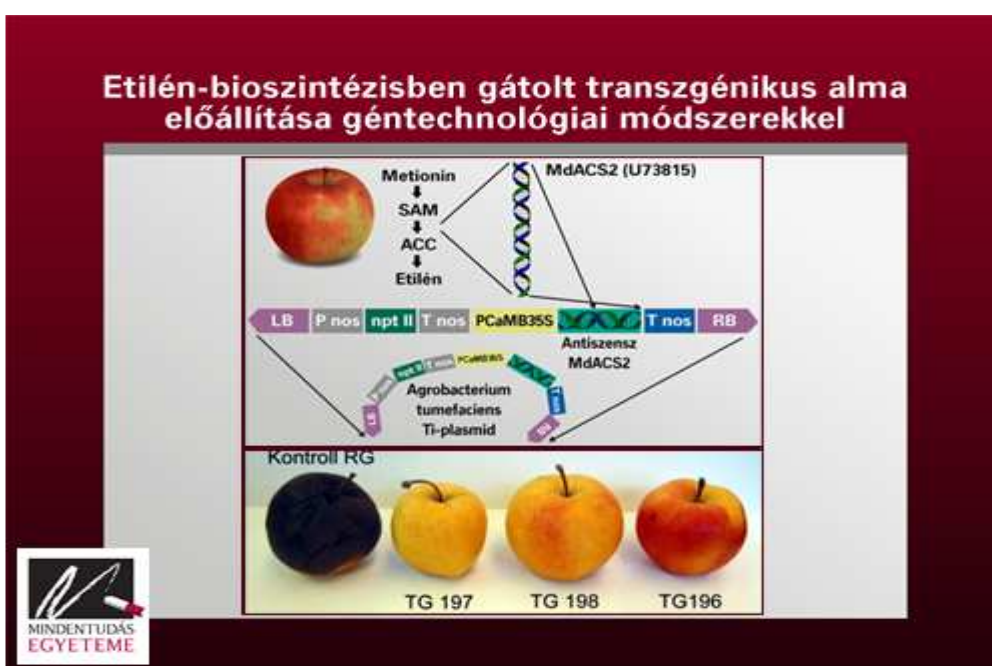
11. ábra

## Orvosi Nobel-díj 2006



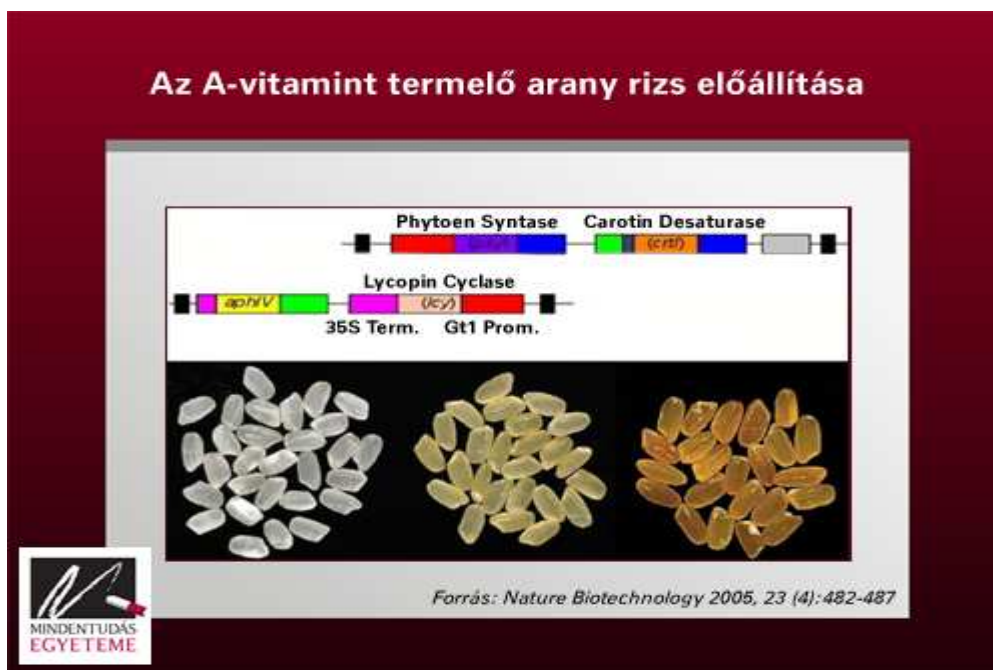
12. ábra

Ezt a gátlást egy új felfedezés, az RNS interferencia gyakorlati alkalmazásával érték el. Ezért a felfedezésért Andrew Z. Fire és Craig C. Mello néhány héttel ezelőtt Nobel-díjat kapott (12. ábra) Ausztráliában a CSIRO intézet dolgozott ki egy RNS interferenciára alapuló módszert, mely lehetővé tette a piros színt termelő DFR gén gátlását. Ezt követően beindult a kék pigment termelése a rózsában, a szíromlevelek színe azonban mályvalila lett. Bebizonyosodott ugyanis, hogy a rózsza szíromleveleinek savas pH-ja nem kedvez a kék antocián megjelenésének. Jelenleg olyan géneket keresnek, melyekkel a szíromlevél pH-ja savas irányba tolható el.



13. ábra

Másodikként szeretnék beszámolni tanszékünk egy érdekes eredményéről, melyet a Cornell Egyetemmel közös kutatások során értünk el. **Érésben gátolt almát** állítottunk elő az etiléntermelés gátlásával (**13. ábra**). A gátlást az előbbihez nagyon hasonló mechanizmussal, az antiszensz génnel történő transzformációval értük el. A munka során almából izoláltuk az etilén-bioszintézisben résztvevő egyik enzim (ACC-szintáz) génjét, majd antiszensz formában történő visszajuttatásával állítottuk elő a transzgénikus almavonalakat. Évekkel később a termőre fordult transzgénikus almafákon termett gyümölcs vizsgálatával bizonyítottuk, hogy azok szobahőmérsékleten 2-3 hónappal tovább voltak tárolhatók, mint a kontroll gyümölcsök.



**14. ábra**

Végül egy teljesen más megközelítésre szeretnék bemutatni egy példát, az **aranyrizs** előállítását. Ebben az esetben a rizst mint növényfajt géntechnológiai úton képessé tették olyan anyag (A-vitamin) termelésére, melyre korábban képtelen volt (**14 ábra**). A rizs szemekből teljesen hiányzik az A-vitamin, ami a fejlődő országokban, ahol az emberek szinte egyedüli táplálékát a rizs jelenti, komoly hiánybetegségeket (pl. farkasvakság), akár halált is okoz. Abból a célból, hogy a rizst képessé váljon az A-vitamin provitaminjának, a béta-karotinnak a termelésére, három génnel kellett transzformálni. A három gén azt a három enzimet kódolta (fitoin-szintáz, karotin-deszaturáz és likopin-cikláz), melyek működése esetén a sejtek képesek a béta-karotint előállítani. A három transzgén bejuttatása a rizsbe sikeres volt, a GM rizs termelte a béta-karotint, s a szemek sárga színűek lettek - innen az aranyrizs elnevezés. A transzgénikus növények első generációja azonban még kevés karotint termelt, ezért a nárciszeredetű fitoin-szintáz gént kukoricából származó génre cserélték, mely gén az Ervinia uredovorából származó karotin-deszaturázzal együtt nagyságrendekkel nagyobb mennyiségű béta-karotin termelésére volt képes (37 µg/g endospermium). Potrykus professzort az aranyrizs "feltalálóját" javaslatunkra (Király Z., Balázs E., Dudits D. és Heszky L.) a Magyar Tudományos Akadémia 2004-ben külső tiszteletbeli tagjává választotta.

Ezek az eredmények sejteni engedik, hogy milyen fantasztikus módosításokra van lehetőség az emberiség érdekében. A módosítások zöme azonban nem okoz látványos változást a

növények megjelenésében, ezért ezeket csak megemlítem: ilyen például a nagy lizintartalmú kukorica, az omega-3 zsírsavat termelő szója, az emberi gyógyászatban felhasználható vakcinákat termelő paradicsom, kukorica, burgonya, árpa, a csak amilopektint tartalmazó burgonya, a laurinsavat termelő repce stb. Ezek mind-mind azt bizonyítják, hogy az emberiség a 21. században eljutott a géntechnológia korszakába.

A 20. század második felében forradalom zajlott le a biológiában. E folyamat során rendkívül sok ismeret halmozódott fel a földi élet információját hordozó molekula, a DNS szerkezetével és működésével kapcsolatban. E kutatások a genomprogramokban teljesedtek ki. Megismertük az információt hordozó egységeket, a géneket és azok szabályozását. A tudományos kutatási eredmények olyan módszereket adtak az emberiség kezébe, melyek lehetővé tették az élet információját hordozó molekula, a DNS megváltoztatását az emberiség igényeinek megfelelően. Kidolgozásra és gyakorlati alkalmazásra került a géntechnológia. Az emberiség a géntechnológia korszakába lépett, mely mindenképpen az emberi tudás, a tudomány diadalát jelenti. Ez egyben a válasz is az előadás címében feltett kérdés első felére.

Jelenleg azonban a géntechnológia kezdetén, annak "kőkorszakában" vagyunk, ezért a tudomány feladata a jövőben a genomban tárolt további információk (98 %) feltárása, működésük megértése, mely jelentősen hozzájárulhat a géntechnológia módszerének tökéletesítéséhez és a vele járó kockázatok csökkentéséhez.

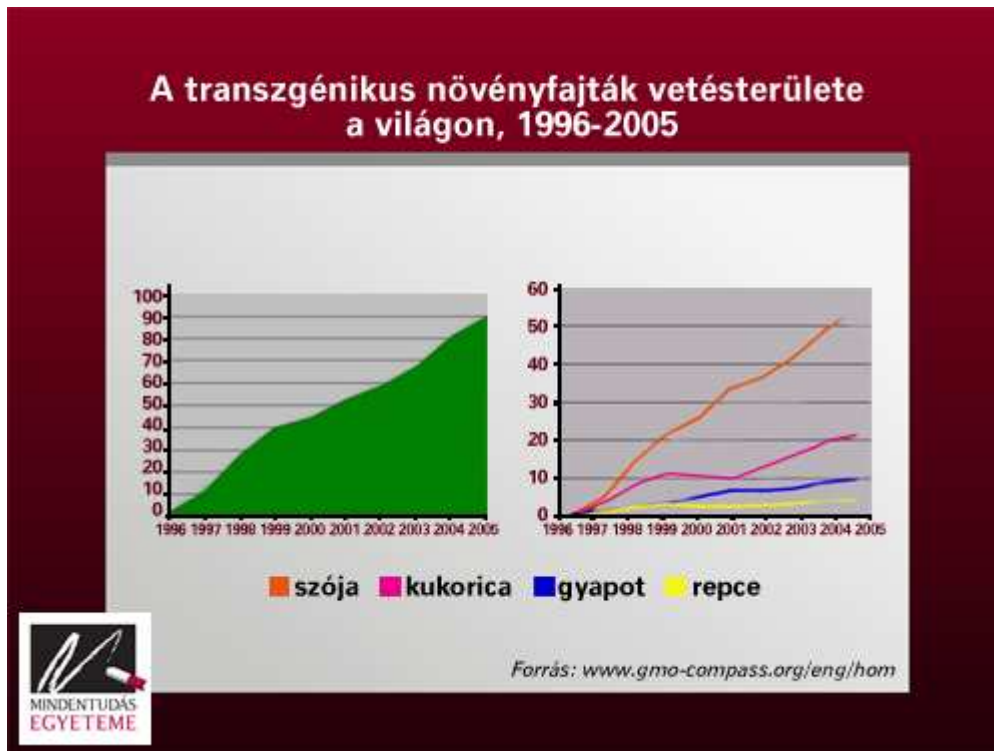
## **II. Gyakorlati alkalmazás**

Miután tisztáztunk néhány nélkülözhetetlen fogalmat, technikát, megismertünk számos géntechnológiai stratégiát és GM növényt, tisztáztuk a tudomány eddigi és jövőbeli szerepét a géntechnológiában, itt az ideje, hogy foglalozzunk a GM növények világméretű elterjedésével, valamint a magyar termelőket és fogyasztókat konkrétan érintő kérdésekkel.

Hazánkban termesztési engedélyre várnak a multinacionális cégek kukoricamoly-rezisztens, valamint herbicidtoleráns kukoricahibridjei. Az EU szeptemberben elhalasztotta a döntését a magyar moratórium feloldásáról. Tudnunk kell azonban, hogy pontosan milyen módosításokról van szó, azoknak milyen előnyei és milyen kockázatai lehetnek. Ezért az előadásom hátralévő részében a kukoricamoly- és kukoricabogár-rezisztens transzgenikus növényekkel foglalkozom. Először a géntechnológiai megközelítések jelentőségét és eredményeit mutatom be, ezt követően pedig ismertetem a termesztésük esetleges kockázatait.

### **II. 1. A transzgenikus növények termesztésének eredményei a világon**

A géntechnológia molekuláris eszköztára végül is az emberiség kezébe adta azt a lehetőséget, hogy a termesztett növényfajokat olyan tulajdonságokkal ruházza fel, velük olyan anyagokat termeltesen, melyek az adott fajban az evolúció során nem alakulhattak ki, vagy nem az ember által kívánt mennyiségben és minőségben.



**15. ábra**

Az első transzgénikus növény, a Flavr Savr (később puhuló paradicsom) 1994-ben került forgalomba az USA-ban. Az elmúlt 12 évben hihetetlen gyors a fejlődés a gazdasági jelentőségű transzgénikus növényfajták előállításában és termesztési területüknek növekedésében, mely 2006-ban elérte az 100 millió hektárt. A rendkívül gyors terjedésnek - ami páratlan az emberiség történetében - legfontosabb oka, hogy a géntechnológiára alapozott transzgénikus nemesítéssel számos olyan probléma megoldható, melyekre a klasszikus nemesítési módszerek alkalmatlanok voltak. Ez azonban nem jelenti azt, hogy a molekuláris nemesítés képes helyettesíteni a hagyományos fajta-előállítást. A GM fajták ugyanis általában nem új fajták, hanem a klasszikus nemesítéssel előállított legjobb köztermesztésben lévő fajták GM változatai. Ez természetesen azt is jelenti, hogy minden GM fajtának megvan a hagyományos úton előállított klasszikus fajtaváltozata is, megadva a lehetőséget a termelőnek és a fogyasztónak a választásra (**15. ábra**).

A köztermesztésben lévő transzgénikus növények 100 millió ha nagyságú területének megoszlása a következő: herbicidtoleráns szójafajták 60 %; rovarrezisztens (kukoricamolyle, illetve kukoricabogár), herbicidtoleráns, rovar- és herbicidtoleráns kukoricahibridek összesen 24 %; herbicidtoleráns, rovarrezisztens, rovar- és herbicidtoleráns gyapot összesen 11 %; herbicidtoleráns repcefajták 5 %.

A világon hét országban termelnek egymillió ha felett GM növényfajtákat, melyek közül kiemelkedik az USA közel 50 millió hektárral, mely a termőterület 50 %-a. Az USA-t Argentína (17 millió ha), Brazília (9,4 millió ha), Kanada (5,8 millió ha), Kína (3,3 millió ha), Paraguay (1,8 millió ha), India (1,3 millió ha) követi. Európában 100 ezer ha alatti területen Romániában, Spanyolországban, Portugáliában, Németországban, Franciaországban és Csehországban termelnek GM növényfajtákat, általában kukoricahibrideket. Természetesen a világon több százra tehető azon géntechnológiai kutatási irányzatok száma, melyek

valamilyen gazdaságilag értékes módosítást céloznak meg kultúrnövényekben. Ezek közül egyre több kerül szántóföldi kipróbálásra, többek között hazánkban is.

## II. 2. Kukoricamoly-rezisztens GM kukoricahibridek

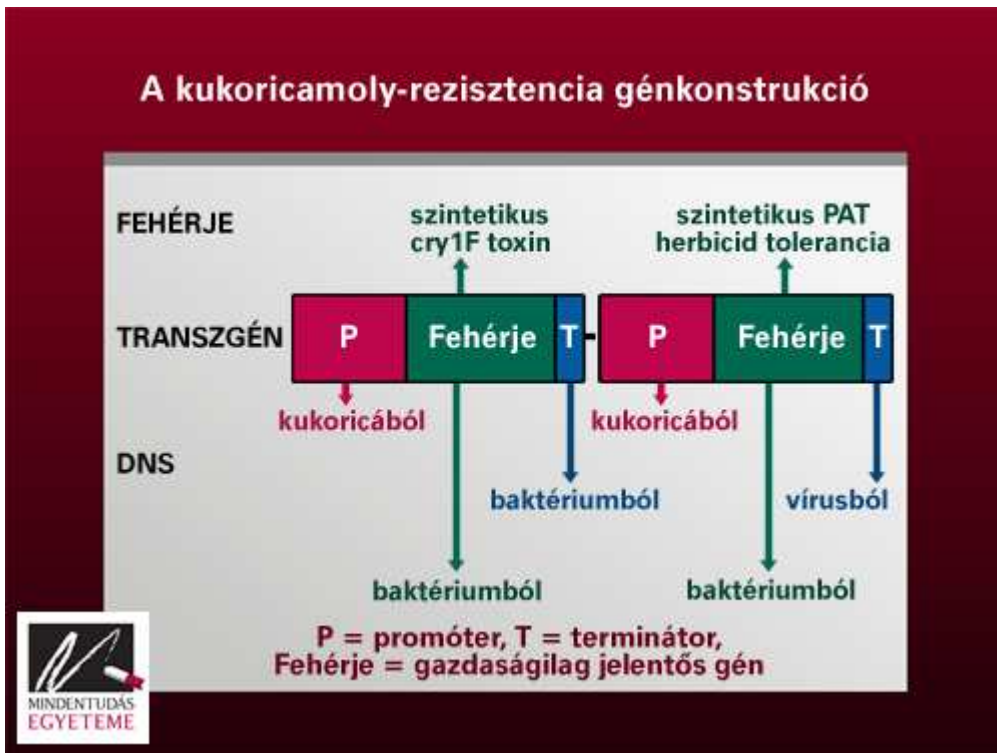
A növények általában rendelkeznek bizonyos fokú rovarrezisztenciával. A növények természetes védekezési mechanizmusa olyan másodlagos anyagcseretermékek előállítását jelenti, melyek károsak a rovarokra. A hagyományos nemesítés ezt próbálta felhasználni rovarrezisztens növényfajták előállítására, de sajnos megfelelő eredményességet nem tudott felmutatni. Ezért napjainkig a megoldást a kémiai és biológiai rovarölő szerek jelentették. A géntechnológia bakteriális gének felhasználásával átütő eredményeket ért el az elmúlt 10 évben. Az első sikeres GM rovarrezisztens növényről 1987-ben számoltak be. Az első rovarrezisztens fajták (gyapot, kukorica) - melyekben a *Bacillus thuringiensis* delta-endotoxin génje (Bt) biztosította a rovarrezisztenciát - 1995-ben kerültek köztermesztésbe az USA-ban. Vetésterületük a világon 2006-ban a kukorica esetében meghaladta a 24 millió hektárt, a rovarrezisztens GM gyapot esetében pedig a 10 millió hektárt.

A kukoricamoly (*Ostrinia nubilalis*) a tűzmolyok családjába tartozó lepkefaj. A nőtények a címerhányás idején rakják le petéiket. A kikelő lárva a szár bélszövetében járatokat rág, illetve az érő szemeket is megrághatja. A kártétel következménye a szártörés, illetve a csőpenészedés, mely erősen fertőzött területeken jelentős termésvesztést okozhat. A köztermesztésbe Európában a *Bacillus thuringiensis* delta-endotoxin génre (Bt) alapozott kukoricamoly-rezisztens hibridek (MON 810) kerültek. Ezeket a hibrideket egyes újságírók "gyilkos kukorica" címmel illették. Az állítást az alábbiak cáfolják.

Mit kell tudnunk a Bt-toxinról? A *Bacillus thuringiensis* egy spóráképző talajbaktérium, mely extrém körülmények által kiváltott spóráképzés során rovarokat károsító kristályos (crystal, Cry) fehérjét (Bt-toxin, delta-endotoxin) termel. A baktériumnak a spóráit és az endotoxinját - mint mikrobiális eredetű rovarölő szert (Dipel) - 1950-es évek óta használják a növényvédelmi technológiákban. A baktériumnak számos törzse van, melyek több mint százféle toxint termelnek. A különböző Cry fehérjékről pedig bebizonyították, hogy különböző fajokra toxikusak.

A géntechnológiai stratégia célja az, hogy a növényt alkalmassá tegyék rá, hogy önmagát megvédje a kukoricamoly lárvájától. Ezt azoknak a Bt-toxinoknak a termeltetésével kívánták elérni, melyek specifikusan a molyokat és a lepkéket pusztítják el.

A Cry1 alcsalád (*B. thuringiensis* var. *kurstaki* Berliner törzs) tagjainak endotoxinjai a *Lepidoptera* (lepkék és molyok) fajokra hatnak. A Cry1 a gének nagy variációs tárházát adják a különböző fajspecifitások molekuláris hátterének, ugyanis a különböző génekről szintetizálódó fehérjék különböző moly- vagy lepkefajra toxikusak. A jelenleg köztermesztésben lévő GM kukoricahibridek a Cry1Ab és a Cry1F fehérjék génjeit tartalmazzák, mely toxinok a kukoricamolyra specifikusak (**16. ábra**). A konstrukcióban megtalálható még a PAT gén is, mely szelekciós marker génként van jelen, önálló gazdasági értéke is van azonban, mert a glifozinát-hatóanyagú, totális gyomirtószerrel (herbiciddel) szemben biztosít toleranciát. Emellett használatos még a Cry1Ac gén is, mely a kukoricát is károsító gyapottok-bagolylepkére toxikus (**17. ábra**).



16. ábra



17. ábra

Az ország azon területein, ahol a molyfertőzés előfordul, a kukoricamoly hernyója komoly kártételt okozhat azáltal, hogy végigrágja a kukorica szárát, ami eltörik, s így jelentősen csökken a termés. A transzgenikus hibridekben nincs vagy elenyésző a kártétel, mert a lárvák

elpusztulnak, miután a növényt elkezdtek fogyasztani. Megválaszolandó kérdés viszont, hogy milyen a hatásmechanizmusa a toxinnak, és az mennyire veszélyes más rovarfajokra, esetleg az elpusztult hernyókat elfogyasztó rovarokra vagy madarakra? (animáció)

### **Animáció: A Bt-toxin hatásmechanizmusa**

A Bt-toxin hatásmechanizmusa röviden a következő. Miután a rovar a GM növény levelével együtt elfogyasztotta a levélsejtek által termelt toxint is, a Cry fehérjét a középbélben lévő lúgos pH, valamint a proteázok aktiválják. E folyamat során a fehérje (pl. Cry1A 130 kDa) NH<sub>2</sub> terminális feléből egy rovarölő hatású aktív fragmentum (65-70 kDa) keletkezik. A rovarfaj egyedeinek érzékenységét a Bt-toxinra az dönti el, hogy az aktív forma hozzá tud-e kapcsolódni a középbél (epitél) hámsejtjeinek receptorához vagy sem.

- A sikeres kapcsolódást követően, jelen esetben a kukoricamoly lárvái esetében, a Bt-toxin bejut a sejtmembránba, azon pórusok keletkeznek, majd a hámsejtek lizálódnak, amit a bélsejtek elhalása követ, visszafordíthatatlan károkat okozva a középbél falában. Miután leáll a perisztaltika, a lárvák elpusztulnak.
- Amennyiben a Bt-toxin nem tud az adott rovarfaj egyedeinek bélhámsejt-receptorához kapcsolódni, a fehérjének (toxinnak) semmiféle hatása sem lesz a lárvákra vagy imágókra, azok minden probléma nélkül fogyaszthatják a GM kukoricát és szaporodhatnak a GM növényállományban.
- A Bt-toxinok elméletileg a megcélzott fajon vagy fajokon kívül más rovarokra, melegvérű állatokra nem toxikusak. Tehát a Bt-toxin által elpusztított rovarokat fogyasztó más rovarok, madarak, emlősök stb. sem veszélyeztetettek. Természetesen ezt kísérletesen is bizonyítani szükséges.

A Cry1AB és a Cry1F gének által kódolt kristályos fehérje csak néhány fajra toxikus. A köztermesztésbe kerülés előtt azonban a fajtulajdonosnak bizonyítania kell, hogy a kukorica-rovarpopuláción belül mely fajokat károsítja és mely fajokra nincs hatással. Részben hazai kísérletekre alapozva állítható, hogy a jelenlegi GM hibridekben termelődő toxin nem károsítja a kukorica csúcsragadozóit jelentő pókfajokat, illetve a madarakat.

Az eredeti (vad típusú) Bt-toxint termelő GM kukoricahibridekben a '90-es években a rezisztencia mértéke még nem volt megfelelő. Ennek magyarázata, hogy az aktív toxin (614 aminosav) a rovarok bélcsatornájában az aktiválás során proteolízissal az eredeti fehérje (1155 aminosav) amino-terminális feléből keletkezik. Ezért a gént is megrövidítették. A megcsonkított génnel, mely már csak az eredeti fehérje amino-terminális felének kódját tartalmazza, jobb expressziót és rovarölő hatást lehetett elérni.

A géncsonkítás sem bizonyult elegendőnek a *B. thuringiensis* var. *kurstaki* Berliner törzs Cry1Ab génje esetében a szántóföldi kísérletekben. Ezért a gént szintetikusán is módosították, ami kiterjedt a gén kodon-optimalizációjára. Ez azt jelentette, hogy az eredeti baktériumból származó gén 37 %-os guanin-citozin (G+C) tartalmát a növényi génekre jellemző szintre, 49-65 %-ra növelték.

A megcsonkított és kodon-optimalizált (szintetikus) gént tartalmazó kukoricahibridek sejtjei 10-100-szoros mennyiségben termelték a toxint, mely mennyiség a kukoricamoly első generációs lárváinak 97-99,8 %-át elpusztította. Ezzel az eredménnyel a GM hibridek valóban rezisztensekké váltak a kukoricamollyal szemben. A GM hibridekben a moly kártétele

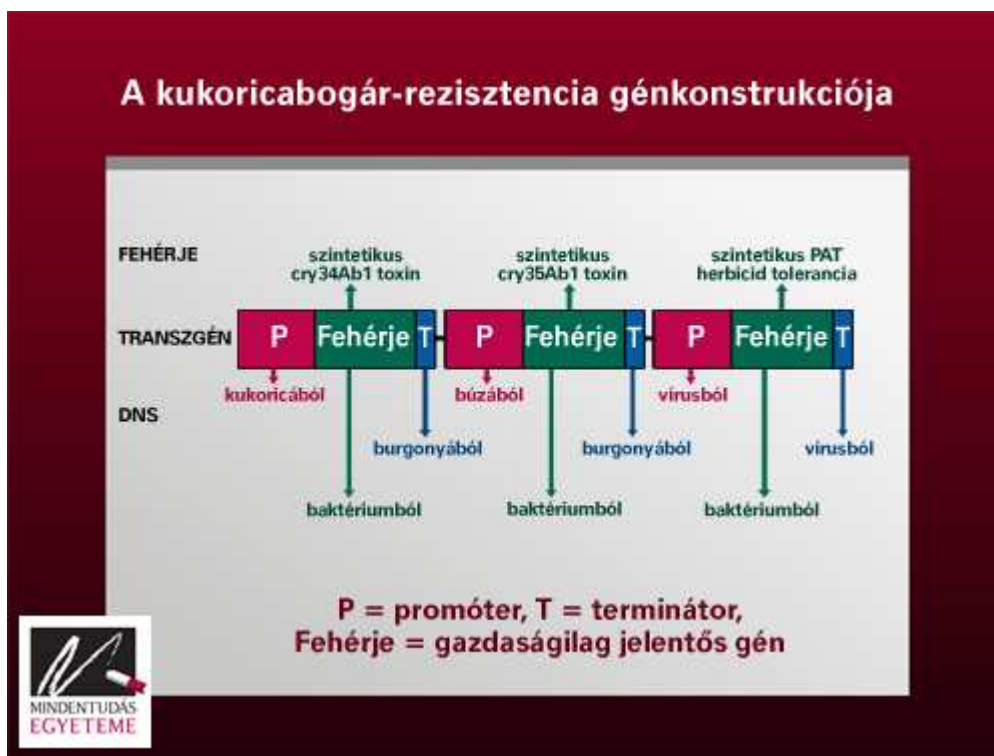


elhanyagolható szintre csökkent, ami megnyitotta az utat a széleskörű gyakorlati alkalmazás előtt.

## II. 3. Kukoricabogár-rezisztens GM kukoricahibridek

A kukoricamolyp példája megerősítette, hogy a Bt-toxin specifikusságát a toxin fehérjeszerkezete és a rovar bélhámsejt-receptorának molekuláris szerkezete adja. A baktérium különböző törzsei sokféle kristályos toxint termelnek, melyek más és más rovarfajokat pusztítanak el, mert más és más fajok bélhámsejt-receptoraihoz tudnak kapcsolódni. A következőkben a Cry3 géncsalád sikeres felhasználását mutatom be a kukoricabogár-rezisztens GM kukoricahibridek esetében.

A **kukoricabogár** (*Diabrotica virgifera*, *virgifera* LeConte) családba tartozó rovarfaj. Az amerikai kontinensről került Európába, nálunk nem őshonos faj. Körülbelül 10 éve terjed délről, az Adria felől, ahova valószínűleg hajón, amerikai kukoricaszállítmánnyal érkezett. A globális felmelegedés kedvez terjedésének. Az utóbbi években már tőlünk északabbra fekvő országokban is megjelent. Hazánkban az első érzékelhető kártételt az elmúlt években okozta. A tényleges kártételt a lárvák okozzák a kukorica gyökereinek elfogyasztásával. Erős fertőzés esetén jelentős termésvesztéssel lehet számolni, mert a növények nem tudnak megfelelően növekedni és fejlődni, továbbá a gyenge gyökérzet miatt könnyen kidőlnek.



18. ábra

A Cry3 alcsalád (*B. thuringiensis* var. *tenebrionis* törzs) azt a delta-endotoxint termeli, mely toxikus a bogarakra (*Coleoptera*), beleértve a burgonyabogarat és a kukoricabogarat is. A Cry3 génnel transzformált növények alig mutattak expressziót, mely a csonkítással sem volt érdemben növelhető. A megfelelő expressziót csak a Cry3 gén szintetikus és módosított változatával lehetett elérni, hasonlóan az előbbieken a kukoricamolynál tárgyalt Cry1A

alcsaládhoz. A molekuláris módosítás magába foglalta a poliadenilációs hely, az A+T-gazdag régiók eltávolítását és a G+C-tartalom 49 %-ra való növelését (**18. ábra**).

A kukoricabogár ellen sikerrel használják a Cry35Ab1 és a Cry24Ab1 szintetikus géneket. A szintetikus gén ebben az esetben azt jelenti, hogy az elérendő nukleotidsorrendet a számítógépen tervezték, és automata DNS-szintetizátorban szintetizálták a kívánt kódot tartalmazó DNS-t, a kívánt gént.



**19. ábra**

A kukoricabogár-rezisztens GM kukoricahibridek olyan Bt-fehérjét termelnek, mely toxikus a kukoricabogár talajban élő lárváira, melyek a kukorica gyökerével táplálkoznak. (**19. ábra**) A hagyományos fajták nem ellenállóak a lárvákkal szemben, ezért erős fertőzés esetén a termésveszteség nagy lehet. A Cry35Ab1 és a Cry34Ab1 szintetikus géneket tartalmazó transzgénikus kukoricahibridek (MON 863) rezisztensek a kukoricabogárral szemben, mert a gyökereikben lévő toxin elpusztítja a bogár lárváinak közel 100 %-át, miután elkezdték rágni a gyökereket.

## **II. 4. A kukoricamoly- és kukoricabogárrezisztens GM kukoricahibridek előnyei és kockázatai**

### *Előnyök*

- A kukoricamoly-fertőzött területeken, ahol eddig védekezni kellett a kártétel ellen, jelentős vegyszer- és permetezési költségeket takaríthatnak meg a gazdák anélkül, hogy a termés csökkenne.

- A kukoricamoly- és bogár-fertőzött területeken, ahol eddig nem védekeztek vegyszerrel a kártétel ellen, jelentős terméstöbbletet érhetnek el a gazdák, vegyszeres védekezés nélkül.
- A kukoricabogár egyre jelentősebb kártevő hazánkban. A kukoricát monokultúrában termesztő gazdák jelentős vegyszer- és permetezési költséget takaríthatnak meg anélkül, hogy a termés csökkenne.

### *Kockázatok*

#### Biológiai

- A GM hibridek termesztése során rezisztens moly- és bogárpopulációk alakulhatnak ki, melyek ellen a hagyományos vegyszeres védekezéssel, illetve speciális technológia alkalmazásával lehet csak védekezni.
- A génáramlás és a génmegszökés (a biológiai és fizikai keveredés) megelőzése ugyancsak plusz költségekkel jár.

#### Ökológiai

- Az alkalmazott Bt-gének a GM növények minden sejtjében működnek, emiatt az egységnyi területen termelődő toxin mennyiség sokszorosa a hagyományos biopeszticid-védekezés során kijuttatott mennyiségnek.
- A GM növényi szövetekben termelődött toxin a leforgatott szárban sokkal lassabban bomlik le, mint a permetezéssel kijuttatott, mely növeli a nem célzott hatások előfordulását.
- A Bt-kukorica tartós termesztésével kapcsolatban hiányosak a tartós hatásvizsgálatok, tapasztalatok.
- A toxinhatás specifikitásának fajhatárai sem ismertek teljes bizonyossággal, ezért a nem célzott hatások miatt védett rovarfajok populációi is károsodhatnak.

#### Termesztési

- A kukoricamoly hazánkban csak kis területen okoz számottevő kárt, általában nem védekeznek ellene, tehát vegyszerköltség a legtöbb gazdánál nem takarítható meg.
- A kukoricabogár kártétele ellen vetésforgóval lehet legegyszerűbben védekezni. Ebben az esetben nincs a termésben különbség a hagyományos és a GM hibrid között.
- A GM hibrid termesztése jelentő plusz adminisztratív feladatokkal (pl. egyeztetés), illetve pótlólagos beruházásokkal (pl. párhuzamos rendszerek kiépítése) és költségekkel (pl. izoláció, köpenyvetés, raktározás) jár a koegzisztencia-törvényben előírtak betartása érdekében.

#### Gazdasági

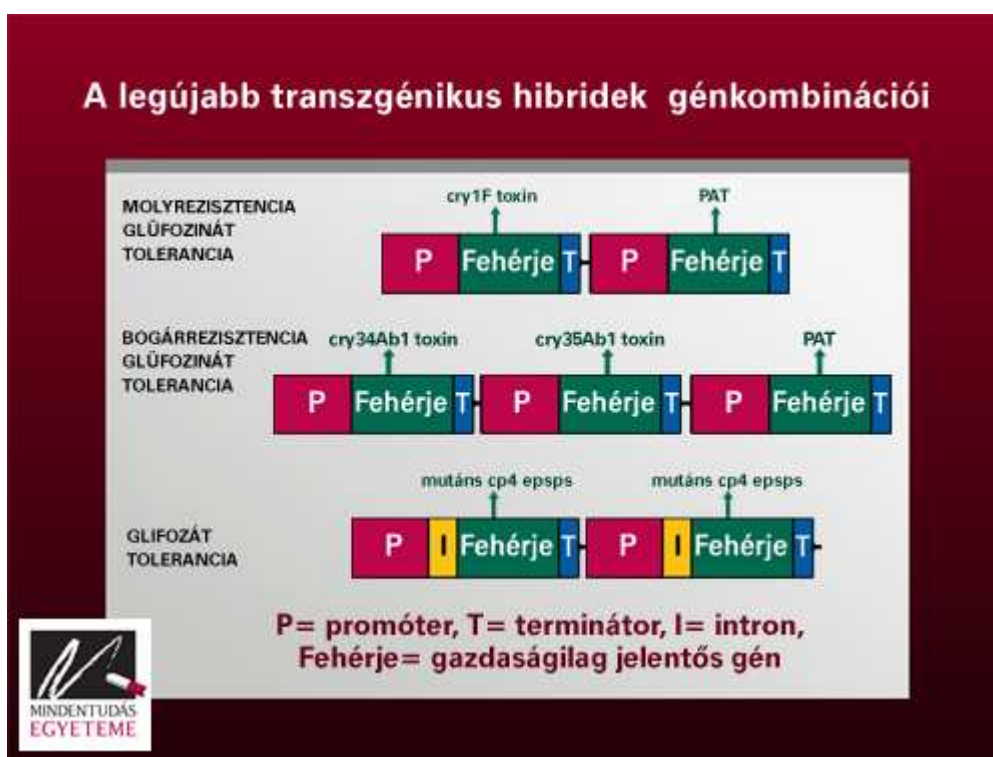
- A magyar nemesítőknek nincsenek GM hibridjei, csak a multinacionális cégeknek, akik viszont mindent szabadalommal védenek. A GM hibridek elterjedése ezért a hazai kukoricanevelés és vetőmagipar megszűnését eredményezné.
- A GM kukoricahibridek termesztése esetén hazánk elvesztené GMO-mentes státuszát, mely jelentős exportpiacvesztéssel járna.

## Élelmiszerbiztonsági

- A GM hibridek egy része olyan toxint termel, mely csak takarmányozási céllal engedélyezett, hagyományos kukoricával való keveredésükre már több nemzetközi példa volt.

A politikusoknak, államigazgatási szakembereknek a feladata és felelőssége a hazánk számára legkedvezőbb gazdaságpolitikai döntés meghozatala, mely egyben megfelel az EU határozatainak is.

## II. 5. A jövő GM kukoricahibridjei



20. ábra

A legújabb hibridek nem egy, hanem két-három tulajdonságban módosítottak, és ennek megfelelően három-öt transzgént is tartalmazhatnak (20. ábra). E hibridek génkonstrukciói például tartalmazzák a kukoricamoly- (Cry1F) és a kukoricabogár- (Cry 34Ab1, Cry 35Ab1) rezisztenciát kódoló toxingéneket, tehát kettős rovarrezisztenciát biztosítanak. Emellett még a harmadik génjük valamelyik totális herbiciddel, például a glifozáttal (CP4EPSP) vagy a glifozináttal (PAT) szembeni toleranciát is hordoz. A jövő egyik új stratégiája tehát az egyszerre több transzgént hordozó, végeredményben egy időben több tulajdonságban is módosított hibridek, fajták előállításának. A három, illetve öt génnel transzformált GM hibridek szántóföldi kipróbálása folyamatban van Magyarországon.

### III. Kockázatok

A géntechnológia - mint azt a bevezetésben is említettük - alapjában új megközelítést jelent az emberiség számára, mely két szempontból kelt félelmet az emberekben: Az egyik az evolúció folyamatába való "illetéktelen" beavatkozás várható következményeiből, a másik a horizontális rekombináció irreálisnak tűnő lehetőségéből és gyakorlatából táplálkozik.

Ezt erősíti az ismeretlentől való ösztönös félelem, mely sajnos a középfokú és felsőfokú képzés hiányosságára vezethető vissza. Nem tudatosították kellően a ma élő generációkban, hogy a Földön élő számtalan faj sejtjeinek alapvető anyagcsere-folyamatai azonosak vagy közel azonosak, a bennük résztvevő gének és a szintetizálódó fehérjék is rendkívül hasonlóak, függetlenül attól, hogy a filogenetikai törzsfán a fajok hol helyezkednek el.

Természetesen ez nem jelenti azt, hogy az egyes transzgénikus stratégiák nem eredményezhetnek valóban veszélyes GM növényeket. A kormányok és az illetékes hatóságok feladata, hogy az ilyen fejlesztésekből származó GM fajták véletlenül se kerülhessenek forgalomba, illetve köztermesztésbe. Ez viszont feltételezi a különböző rizikótényezők és azok egyes kockázatainak alapos, körültekintő és szigorú vizsgálatát.

#### *Rizikótényezők*

A rizikótényezők négy nagy csoportra oszthatók, (1) tudáshiányra, (2) genetikaira, (3) ökológiaira, (4) élelmiszerbiztonságira, és (5) gazdaságira. Az egyes csoportokon belül a kockázatok sokfélék lehetnek, hasonlóan a géntechnológiai módosítások változatosságához. Ez indokolja, hogy minden egyes módosítást esetről esetre, illetve minden módosított GM növényt külön-külön kell megvizsgálni az összes rizikótényező és kockázat szempontjából. Nem szabad általánosítani, tehát azt állítani, hogy minden GM növény veszélyes, sem azt, hogy veszélytelen! E problémakör pontos tisztázása és a veszélyek elkerülése céljából kell a vonatkozó GMO- (koegzisztencia-) törvényt megalkotni és a géntechnológiai hatóságoknak azok szerint eljárni, illetve minden résztvevővel azokat betartatni.

A GM növények kockázatelemzésekor mindig azokra a különbségekre kell koncentrálnunk, melyekben a transzgénikus növények eltérnek a hagyományosoktól:

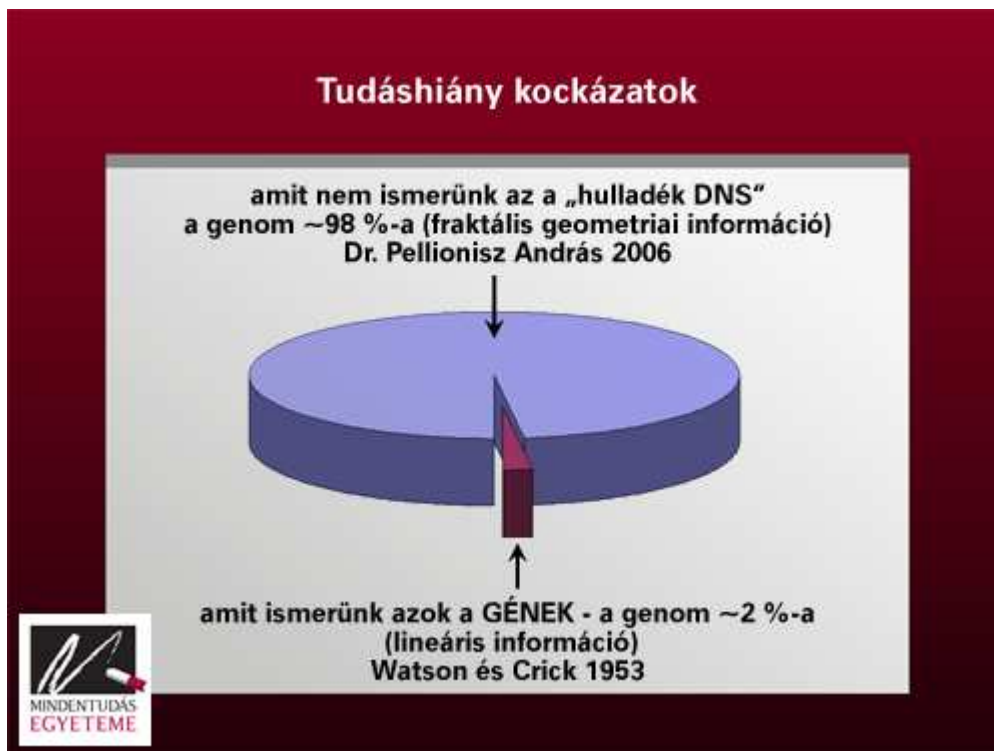
- 1) A GM növény minden sejtjében (a sejtmagban vagy az organelumokban) egy vagy több transzgént tartalmaz.
- 2) A GM növény egyes szöveteinek vagy szerveinek sejtjei egy vagy több új vagy módosított fehérjét termelnek, melyek módosított anyagcsere-folyamatokat is eredményezhetnek.

Amikor a kockázatokat vizsgáljuk, akkor **külön kell vizsgálnunk a transzgén (idegen DNS) hatását, illetve a transzgén fehérjetermékének (új vagy módosult fehérjék) hatását.** Erről sohasem szabad megfeledkeznünk.

### III. 1. A tudáshiány kockázatai (avagy amit a földi élet titkáról nem tudunk)

Az Élet és Tudomány 2005. 42. számában írtam a következőket "Felelősséggel tartozunk a minket követő generációknak azzal, hogy a jelenlegi tudatlanságunk adta bátorságunkkal ne

okozunk helyrehozhatatlan károkat (genetikai szennyezést) a természetes élővilágban és a kultúrlórában." Akkor arra gondoltam, hogy 10, 20, esetleg 50 év múlva olyan felfedezések születnek, melyek alapvetően megváltoztathatják az emberi, állati és növényi genomiális DNS működésével és a gének szabályozásával kapcsolatos ismereteinket. Ez azonban sokkal hamarabb bekövetkezett. Arról van szó, hogy amiket előadásom I. pontjában írtam, az csak a genom lineáris információt kódoló részére vonatkozik, mely az egyes fajok DNS-ének mindössze 2-5 %-a! Az igazi kérdés az, hogy mi a tényleges funkciója a fennmaradó, "hulladék" (junk) DNS-nek nevezett 95-98 %-nak? (**21. ábra**)



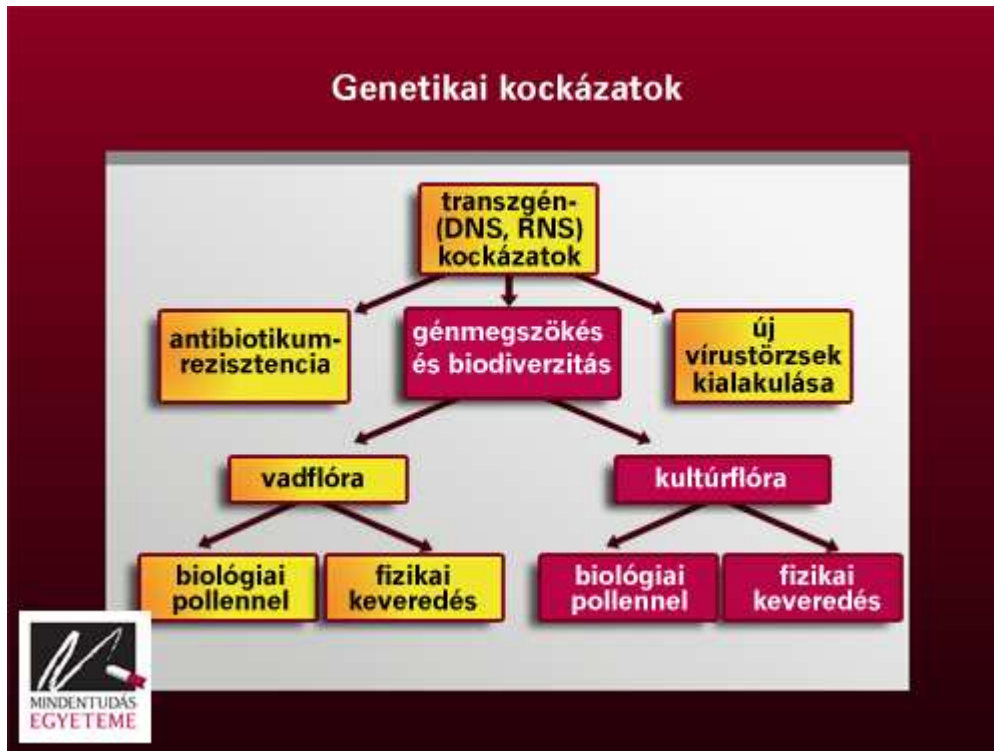
Az előadásra készülés ideje alatt tudomásomra jutott néhány megdöbbentő új eredmény, például a hulladék DNS kódjának, titkosírásának megfejtése. Egy magyar származású kutató, Pellionisz András bebizonyította, hogy a hulladék DNS nem lineárisan tartalmazza az információt, hanem fraktális geometriai alapon, melynek legfontosabb jellemzője az önhasonlóság. Az új fogalmak, mint a fraktálok, pikonok, új értelmezést adtak és adhatnak az miRNS-nek (micro), siRNS-nek (small interference), a szatellit DNS-nek, az intronnak stb., ami forradalmi változást eredményezhet a genetikai információval és a gének működésével, valamint szabályozásával kapcsolatban. Ezek a kutatások és eredmények a posztgenetika hajnalát jelenthetik. A következmények pedig alapjaiban érinthetik és módosíthatják a géntechnológia technikáit, stratégiáit, megközelítéseit, sőt a jelenlegi transzgenek működésének szabályozásával kapcsolatos ismereteket és kockázatokat is.

## III. 2. Genetikai kockázatok

Fontos leszögeznünk, hogy a transzgenben az információ ugyanazokból az építőelemekből (nukleotid-tripletekből) épül fel és ugyanolyan elvek szerint működik, mint a természetes - evolúció által létrehozott - génekben. Ezért a GM növényt közvetlenül élelmiszerként vagy

takarmányként fogyasztva a transzgén DNS-e az emésztőcsatornában teljesen lebomlik, hasonlóan a növény többi génjéhez, illetve az elfogyasztott más állati (pl. húsban lévő) vagy mikrobiális (pl. tejkelesztőanyagokban lévő) génekhez (22. ábra).

Az **antibiotikumrezisztencia-gének** (pl. kanamicin-rezisztencia) veszélyt jelenthetnek, az EU 2006 után azonban már nem engedélyezi olyan GM termékek felhasználását, melyekben antibiotikum-rezisztencia gén (mint szelektálható marker gén) is jelen van.



22. ábra

**Új vírustörzsek keletkezése** is felmerülhet azoknál a vírusrezisztens transzgénikus növényeknél, melyek genomjában valamilyen vírúsgén (pl. burokfehérjégen) integrálódott. A feltételezés arra alapul, hogy a GM-növények sejtjében a vírúsgénekről (RNS, DNS) szintetizálódó vírus RNS-ek, illetve fehérjék rekombinálódhatnak a növényt fertőző vírus RNS-ekkel, mely új vírusformák kialakulását eredményezheti. Annak ellenére, hogy ennek a valószínűsége rendkívül kicsi, a vírusrezisztens transzgénikus növények lassan terjednek a világban.

A **transzgén megszökése a kultúrflóra irányába** azonban valós problémát jelenthet, amennyiben ebből problémát csinálunk. Ugyanis nyugodtan állíthatjuk, hogy a transzgén megszökése nem akadályozható meg. A transzgén megszökése azt jelenti, hogy a gént hordozó növény, illetve növényi rész (pollen, mag, gyökér, gumó, hagyma stb. - minden, amiből új növény regenerálódhat) kikerül az ember kontrollja alól, ami magában hordozza annak lehetőségét, hogy kereszteződéssel, fizikai keveréssel átkerülhessen más fajba, fajtába. Az Európai Unió tagállamaiban a génmegszökés megelőzésére és kiküszöbölésére **koegzisztencia- (együtttermesztés-) törvényt** dolgoznak ki és terveznek bevezetni. Hazánkban a Parlament idén ősszel elhalasztotta ennek a törvénytervezetnek a tárgyalását.

A **génmegszökés** azonban nem csak a kultúrflóra irányába történhet, hanem a **természetes flóra felé** is. Ez akkor fordulhat elő, ha a kultúrnövénynek vannak rokonfajai a természetes vegetációban, olyan fajok melyekkel kereszteződve fertilis utódokat képes létrehozni. Különösen veszélyes a transzgén megyszökése az erdei fás növények és a rét, legelő gyepalkotó fűfajai és pillangósvirágú növényei esetében. Ezek a fajok ugyanis a hazai növénytársulások meghatározó fajai, és idegentermékenyülő (szél- és rovarporozta) fajok. E fajoknál a jövőben elképzelhető a biodiverzitás változása azt követően, hogy ezeknek a fajoknak is megjelennek a GM változatai a mezőgazdasági, erdészeti és gyepgazdálkodási területeken.

### III. 3. Ökológiai kockázatok



23. ábra

A transzgén terméke egy fehérje vagy enzimfehérje - az utóbbi valamilyen további szintézist katalizál, mely során a GM növényben újabb fehérjék, szénhidrátok, zsírsavak vagy antitestek stb. termelődhetnek (23. ábra). Az új, idegen vagy rekombináns fehérjék a promótertől függően a növény minden szervében és sejtjében vagy csak bizonyos szerveiben és sejtjeiben termelődnek.

A transzgén termékével (fehérjével) kapcsolatban fontos szempont, hogy ismerjük hatásukat a természetes flórára, faunára, kultúrflórára, az emberre és a nem célzott élővilágra. Toxikológiai, allergológiai tesztek, állatetetés kísérletek szükségesek ahhoz, hogy a környezetre veszélyes génkonstrukciókat és az azokat hordozó GM-növényeket még a kísérleti stádiumban ki lehessen szűrni.

A **nem célzott hatások** a növény minden sejtjében termelődő fehérjék, különösen a kórokozók és kártevők vagy gyomnövények elpusztítása céljából termelt fehérjék esetében



merülhetnek fel. Az engedélyezési eljárásnak és vizsgálatoknak ezekben az esetekben ki kell térnie azokra az állat- és növényfajokra is, melyek a transzgén termékével kapcsolatba kerülhetnek. Továbbá lehetőség szerint a **hosszú távú (tartós) hatást** is célszerű elemezni.

**Rezisztens gyomok, kórokozók és kártevők megjelenése** - spontán mutációval - mind a totális gyomirtókkal és a Bt-toxinokkal, mind az antibakteriális és fungicid hatású GM termékekkel szemben várható. Ezek hagyományos vegyi védekezéssel elpusztíthatóak (egy-két alkalommal más vegyszert kell használni).

### III. 4. Élelmiszerbiztonsági kockázatok



24. ábra

A fogyasztó szempontjából végül is teljesen mindegy, hogy a géntechnológiai módosítást az adott élelmiszer-növényen vagy az adott élelmiszeripari termék egyik alapanyagán milyen céllal végezték (24. ábra). Lényeg, hogy az élelmiszeripari termék, tehát az az áru, ami az üzletek polcain megjelenik, GMO-nak tekinthető-e vagy sem. Az EU jelenleg érvényben lévő rendelete szerint minden olyan terméket, ami 0,9 %-nál több genetikailag módosított összetevőt tartalmaz, GMO élelmiszernek kell tekinteni és jelölni kell.

Ebből logikusan következik, hogy ami veszélyes lehet a GM élelmiszerekben, az a hagyományos és a GM élelmiszerek DNS-e, illetve fehérjei között kimutatható különbség. Tehát az idegen DNS és fehérjetermékének jelenlétét vagy hiányát, illetve mennyiségét kell vizsgálni. Ebből a szempontból az élelmiszerek különböző csoportokba sorolhatók:

1. Azok a termékek, melyek GM növényből vagy annak olyan szervéből, szövetéből készültek, melyben mind a transzgén, mind annak fehérjeterméke megtalálható (**transzgén +, rekombináns fehérje +**).

2. Azok a termékek, melyek a GM növény olyan szervéből vagy szövetéből készültek, melyben a transzgén ugyan megtalálható, de nem működött, ezért a róla szintetizálódott fehérje nincs jelen (**transzgén +, rekombináns fehérje -**).
3. Azok a termékek, melyek a GM növény sejtmentes kivonatai, ezért annak csak a fehérjéit tartalmazzák, a transzgén viszont nincs jelen (**transzgén -, rekombináns fehérje+**).
4. Azok a termékek, melyek ugyan GM növényből készültek, de nem tartalmazzák sem a transzgént, sem az arról szintetizálódott fehérjét - ilyen például a GM cukorrépból készült cukor (**transzgén -, rekombináns fehérje -**).

**Toxikológiai és allergológiai vizsgálatok** szükségesek az élelmiszerként vagy takarmányként történő felhasználás esetén akkor, ha a felhasznált növényi részben a transzgén fehérjetermék termelődött. Ezeket a vizsgálatokat a nemzetközi előírásoknak és szabványoknak megfelelően, szigorúan, minden géntechnológiai módosításra külön-külön el kell végezni. Engedélyt csak olyan GM termék vagy fajta kaphat, melynek rekombináns fehérjeje nem tartalmaz toxikus vagy allergizáló szekvenciákat és állatetelési kísérletekben sem mutat semmiféle toxikus vagy allergén hatást.



25. ábra

Külön említést kell tennem a **szójaimport**ról. Az Európai Unió évente 17 millió tonna szóját importál, legnagyobb részét az USA-ból, ahol a GM szója vetésterülete meghaladja a 80 %-ot. A vizsgált tételek egyre nagyobb százalékáról bizonyítják be a laboratóriumi vizsgálatok, hogy kevert GM szójjal. Mindenkit szeretnék megnyugtatni, hogy a glifozátrezisztens szójamagvak olyan transzgént tartalmaznak, melyek 1-2 tripletben térnek el a szója eredeti génjétől. A transzgenről pedig olyan enzim szintetizálódik, melynek aminosavsorrendje 1-2 helyen tér el a szója eredeti - a herbicidre érzékeny - enzimfehérjétől. Ez az eltérés pedig semmiképpen sem lehet veszélyes a GM szóját fogyasztó állatokra vagy emberre. (25. ábra)

Természetesen ez a kis eltérés az oka annak, hogy a gyomok között is viszonylag hamar ki tud alakulni a rezisztenciát biztosító mutáció.

A géntechnológia viszont megoldást is kínál a valamilyen élelmiszerallergiában szenvedők számára. Lehetőség van arra, hogy **allergén fehérjéket termelő növényfajokban az allergén fehérjék termelését géntechnológiai úton** (antiszensz génnel) megakadályozzuk (pl. allergén gliadinok a búzában, a szója allergizáló fehérje).

### III. 5. Gazdasági kockázatok



26. ábra

A gazdasági rizikótényezőt a **genetikai gyarmatosítás** lehetősége jelenti.(26. ábra) Ez egyrészt annyit tesz, hogy a különböző országokban található vad és kultúrflóra génjeit mások megszerzik és géntechnológiailag hasznosítják az adott ország kizárásával, másrészt hogy valaki visszaél monopolhelyzetével a géntechnológiai szabadalmak (módszerek, gének, GM-fajták stb.) terén.

A vetőmagipar globalizációjából adódó monopolhelyzet komoly konfliktust eredményez a globális és lokális vetőmagcégek között. Ennek várható eredménye az lesz, hogy a hagyományos módszereket alkalmazó kisebb nemzeti vagy regionális nemesítő és vetőmagcégek fokozatosan tönkremennek és végül megszűnnek. A szabadalmak ugyanis megakadályozzák, hogy ugyanazzal a típusú GM fajtával a szabadalomtulajdonoson kívül bárki megjelenessen a köztermesztésben a világon. Pontosabban ez csak akkor lehetséges, ha azt a szabadalom tulajdonosa - mely az esetek többségében egy multinacionális cég - engedélyezi, ami viszont gazdasági függőséget eredményez.

**Nem célzott gazdasági és szociális hatások** várhatók azon fejlesztések következményeként, melyek a fejlett északi országokban is lehetővé teszik GM növényekkel olyan anyagok előállítását (pl. trópusi növényi fehérjékét, zsírsavakét), melyek számos fejlődő ország (pl. Malajzia, Fülöp-szigetek) gazdaságának fő exportbevételét jelentik napjainkban (pálmamag olaj, kakaóvaj stb.).

**Magyarország jelenleg GMO-mentes országnak számít a világon**, mert nem engedélyezte GM fajták köztermesztésbe kerülését. A magyar moratóriumot a kormány fenn kívánja tartani. Ennek számos kereskedelmi előnye van a hazai exportáló cégek számára. Maga az a tény, hogy GMO-mentesek vagyunk, kiváló exportlehetőségeket és új exportpiacokat jelent.

Abban az esetben, ha az EU kötelezi hazánkat a moratórium feloldására, egyes gazdák jól járnak, mert termelési költségeket takaríthatnak meg. Az ország azonban sokat veszíthet, mert elveszti GMO-mentes státuszát, ami jelentős exportpiaci beszűküléssel jár. Emellett minden kimenő (export) tételhez GMO-mentességet igazoló hatósági igazolást kell csatolni, mely a vizsgálati költségek következtében jelentősen csökkentheti az exportálók jövedelmét.

## **IV. Utószó**

Az előadás címében feltett kérdésre a válasz pillanatnyilag nem lehet más, mint hogy a transzgenikus növények az emberiség diadalának is és félelmének is tekinthetők.

Az emberiség diadalának tekinthetjük őket, hiszen a géntechnológia és termékei, a transzgenikus növények minőségi ugrást és fantasztikus, szinte beláthatatlan lehetőségeket jelentenek a civilizáció jövőbeni fejlődése számára.

Ma még azonban félelemmel is tekintünk rájuk, mert a földi élet információját hordozó molekula, a DNS 98 %-ával és a génműködés szabályozásával kapcsolatos ismereteink rendkívül hiányosak. Nagyon-nagyon sokat tudunk, de nem eleget.

Az emberi természet sajátja viszont, hogy használja mindazon ismereteket és eszközöket, melyek rendelkezésére állnak. Az emberiség története során mindig is így volt, s a biotechnológiával sem lesz másképp. Tekintettel a növényi géntechnológia rendkívüli tudományos és gazdasági jelentőségére és a ma még pontosan nem megbecsülhető rizikótényezőire, kockázataira, a jövőben olyan GM növényfajtákat kell előállítani, melyek a világ népeinek konkrét igényeit elégítik ki, a civilizáció fejlődését szolgálják, továbbá veszélytelenek az emberiségre és a természetes élővilágra. Nagy gondot kell fordítani a fogyasztók és a társadalom szakmai ismereteinek fejlesztésére, hogy elfogadják a bizonyítottan veszélytelen GM fajtákat és élelmiszereket.