

A transzformációs technológia és a hagyományos növénynevelés integrálása a kalászos gabonaféléknél

Bedő Zoltán

Magyar Tudományos Akadémia,
Mezőgazdasági Kutatóintézete, Martonvásár

ÖSSZEFOGLALÁS

A növénynevelés és a növényi transzformáció integrálására azért van szükség, mert a géntechnológiai jázís elvégzése előtt hagyományos neveléssel agronómiailag értékes homoizgota genotípust hozunk létre ahhoz, hogy azt egy gén vagy genomszakasz felhasználásával géntechnológiai eljárással módosítsuk. Az integrált növénynevelés célja olyan előnyös változások előidézése géntechnológiai eljárásokkal, ami a hagyományos neveléssel nem vagy csak lényegesen kisebb hatékonysággal valósítható meg, a gabonafélék transzformálásával növelhető a növény agronómiai teljesítménye, természetének hatékonysága, biztonsága, megvalósítható a növény sokoldalúbb hasznosítása. A géntechnológia a növényfajta létrehozásának egy szakaszát fogja át. A transzgenikus fajta előállításához szükséges a donor genomból egy gén vagy génszakasz izolálása transzformáció céljára, a transzformációra felhasználható, hagyományos neveléssel létrehozott homoizgota növény, vagy célgenom, hatékony transzformációs technológia, valamint a transzformált, fertilis növényből transzgenikus fajta létrehozása. A transzgenikus növényt hagyományos neveléssel alkalmassá kell tenni fajtaelőállításra, hogy agronómiailag megfelelő, biztonságosan termeszíthető legyen, termesztése járuljon hozzá a korszerű növénytermesztés fenntartható fejlődéséhez, vetőmagja gazdaságosan előállítható legyen, megfeleljen a DUS követelményeinek, valamint a transzgen által létrehozott változások olyan gazdasági előnyöket nyújtsanak az eredeti fajtaéhoz képest, ami kereskedelmi értékkel jár együtt.

SUMMARY

The integration of plant breeding and plant transformation is needed because we have to create a homozygous genotype of great agronomic value by conventional breeding before the application of genetic technology with which we modify it by using a gene or genome sequence. The aim of integrated plant breeding is to trigger such advantageous changes by genetic technology which can not be achieved via conventional breeding or just with considerably weaker efficacy. By transformation, the plant's agronomic performance, the efficiency and security of its production will improve and it will enable more versatile uses of the plant. Genetic technology is one sequence of a new plant variety' breeding. To create a transgenic variety, the isolation of a

gene or a sequence of a gene from the donor genome for transformation, a homozygous plant or target genome that is suitable for transformation and is created via conventional breeding methods, an effective transformation technique and the establishment of the new variety from the transformed, fertile plant are needed. The transgenic plant should be made suitable for establishing a variety by conventional breeding so that it could be produced securely, its growing could contribute to the development of modern, sustainable agriculture, its seed could be produced profitably, it could meet the requirements of DUS and that the changes indicated by the transgene could provide such economic advantages compared to the original variety, which have real commercial value.

BEVEZETÉS

A növénynevelés 5000 éves történelme során nem történt olyan hatalmas változás, mint a biotechnológia elmúlt húszéves fejlődése során a transzgenikus növényfajták megjelenésével. A viszonylag rövid időszak alatt elért eredmények révén az ezredfordulón már minden harmadik hektár szója, minden hetedik hektár gyapot, minden kilencedik hektár repce, valamint közel hasonló arányban a kukorica genetikailag módosított növény termesztésével lett előállítva a világon (James, 2000). Ez az időszak egy logikus folytatása annak a zöld forradalomnak, ami a múlt század második felében a növényi produktivitás mennyiségi növelésével, és az intenzív, iparszerű gazdálkodással visszaszorította az éhezést. Ugyanakkor megjelentek a mennyiségi fejlődés korlátjai a fejlett világ mezőgazdaságában (1. táblázat), mivel a korábbi négy évtizedhez képest a kilencvenes években világszerte lelassult a gabonafélék termőképességének növekedése (Brown, 1998). A változások az egész mezőgazdaságra kihatnak, és előtérbe helyezik:

- a fenntartható fejlődést a növénytermesztésben;
- a minőségi jelek szélesebb értelemben vett javítását a mennyiségi jelek fejlesztése helyett;
- az ökológiai egyensúly fenntartásának prioritását;
- az élelmiszer biztonság színvonalának javítását.

1. táblázat

A világ gabonatermelésének évenkénti változása a vizsgált évtizedekben (%-ban)

(Braun, 1998)

Év(1)	Összes gabona(2)	Rizs(3)	Búza(4)	Kukorica(5)	Egyéb gabonafélék(6)
1950-60	2.0	1.4	1.7	2.6	
1960-70	2.5	2.1	2.9	2.4	2.3
1970-80	1.9	1.7	2.1	2.7	0.4
1980-90	2.2	2.4	2.9	1.3	1.7
1990-95	0.7	1.0	0.1	1.7	-0.8

Table 1: Annual changes in the world's cereal production in the examined decades (%)
Year(1), For all cereals(2), Rice(3), Wheat(4), Corn(5), Other cereals(6)

Mindezek a feladatok új kihívást jelentenek a növénynevelésnek, amit nagy valószínűséggel a hagyományos és molekuláris nevelés módszereivel, az integrált növényneveléssel lehet megoldani. Az új megoldások keresése a termelés fenntartható fejlődésének biztosítását szolgálja.

AZ INTEGRÁLT NÖVÉNYNEVELÉS CÉLKITŰZÉSEI

A molekuláris növénynevelés célja olyan előnyös változások előidézése géntechnológiai eljárásokkal, ami a hagyományos neveléssel nem, vagy csak lényegesen kisebb hatékonysággal valósítható meg, a gabonafélék transzformálásával növelhető a növény agronómiai teljesítménye, termésének hatékonysága, biztonsága, megvalósítható a növény sokoldalúbb hasznosítása. A molekuláris nevelésnek egyik része a növényi transzformáció alkalmazása nevelési célra, amely hasznos eszköz lehet a társadalom által támogatott multifunkciós mezőgazdaság kialakításában, ahol a növényi termékek előállításával mellett a természet ökológiai egyensúlyának megőrzése, a vidékfejlesztés, az egészséges táplálkozás elősegítése élvez prioritást. Emiatt nemcsak a high input vagy a precision farming rendszerekben, hanem a low input, sustainable mezőgazdasági termelés rendszerének létrehozásában is fontos eszköz lehet a molekuláris nevelés, és ezen belül a transzformációs technológia alkalmazása. Az integrált növénynevelés célja a molekuláris nevelés és a hagyományos nevelési módszerek komplex alkalmazásával a különböző növénytermesztési feltételek között alkalmazható növényfajták nevelése. Ilyen megoldásra váró feladat például:

- a peszticidterhelés csökkentése ökológiailag érzékeny régiókban: pl. herbicid rezisztens, gomba- és vírusbetegségekkel szemben rezisztens, rovarrezisztens genotípusok nevelése,
- a terméshozadék javítása: pl. hideg-, aszály- és sótűrő genotípusok nevelése,
- egészséges táplálkozást elősegítő élelmiszer előállítás: pl. vitamintartalom növelése, a növényi tápanyagtranszport javítása, esszenciális aminosavak termelése,
- az életminőség javítása: pl. gyógyászatban felhasználható makromolekulák termelése biofarming révén, allergének csökkentése.

A transzgenikus növények nevelésének célkitűzései között egyre inkább a minőségjavítás és a mezőgazdaság környezeti károsításának visszaszorítása a célja, és mindinkább háttérbe szorul az egyoldalú terméshozadék cél. Ezt bizonyítja a USDA 1999-ben készült felmérése is, miszerint a Bt génnel létrehozott kukorica és gyapot, valamint a roundup ready szója terméselőnye mindössze 4,4-10%-ra tehető, ugyanakkor 22-90%-ban csökkent a herbicid vagy inszekticid felhasználás a hagyományos technológiákhoz képest, ami

egyértelműen a környezetvédelmi előnyt igazolja (Birch, 2000).

A növénynevelés mindenkori célja a genetikai diverzitás növelése és annak hasznosítása az új növényfajtákban. A DNS szintű jellemzés megvalósulásával új dimenziók nyílnak meg a növénynevelésben. Ide sorolható:

- a teljes genom szekvenciák felhasználása;
- a microarray technológiával agronómiailag fontos, vagy potenciálisan fontos gének meghatározása, izolálása, és felhasználása transzformáció céljára;
- gabona génbanki gyűjtemények DNS szintű jellemzése, csoportosítása;
- idegen gének vagy nagy genom blokkok bevitel a gabonafélékbe a genetikai diverzitás szélesítése céljából.

A TRANSZFORMÁCIÓS TECHNOLÓGIA ÉS A NÖVÉNYNEVELÉS

A géntechnológia a növényfajta létrehozásának egy szakaszát jelenti. Növénynevelési szempontból a transzgenikus fajta előállításához szükséges:

- a donor genomról egy gén vagy génszakasz izolálása transzformáció céljára,
- transzformációra felhasználható, hagyományos neveléssel létrehozott homozigóta növény, vagy célgenom,
- transzformációs protokoll megfelelő promoter felhasználásával transzformált növény előállítására,
- a transzformált növényből nevelési szempontból értékes törzs, és végül transzgenikus fajta létrehozása.

A transzformált növény előállítás nem azonos a transzgenikus növényfajtaival. Éppen ezért van szükség a hagyományos és a molekuláris növénynevelés integrálására, mert a molekuláris nevelési fázis megkezdése előtt hagyományos neveléssel agronómiailag értékes homozigóta genotípust kell létrehozunk, amit egy gén vagy genomszakasz géntechnológiai eljárással történő bevitelével módosítunk. A hagyományos neveléssel szelektált genotípus transzformációja után szintén hagyományos nevelési módszerekkel a szelektáljuk a transzgenikus növényfajtát, amely:

- stabil genommal rendelkezik, az stabilan öröklődik a későbbi generációkban, így megfelel az UPOV által létrehozott DUS követelményeknek,
- az idegen gén stabil expressziója és a többi tulajdonsága révén transzgenikus fajtaként agronómiailag megfelelő, termelésbe vonható,
- virágzásbiológiai tulajdonságai stabilak, vetőmagja biztonságosan és gazdaságosan előállítható,
- a termelési régióban környezeti kockázatok nélkül biztonságosan termeszthető legyen,
- a transzgen beépítése a donor fajtához képest olyan gazdasági előnyt biztosít, ami kereskedelmi értékkel is bír a nevelőnek.

A molekuláris nemesítés új technológiákat vezetett be a növény nemesítésbe. Így a jövőben várható, hogy egy-egy laboratórium több ezer vagy annál több transzformált növényt fog előállítani, de nemesítési értékkel rendelkező ennél nagyságrendileg kevesebb növény lesz. Ehhez képest is nagyságrendileg kisebb számban felelnek meg a nemesítésileg értékes transzformáns növények a transzgenikus fajta követelményeinek, rendelkeznek gazdasági és kereskedelmi szempontból is hasznos tulajdonságokkal.

A növény nemesítők akkor tudják sikeresen alkalmazni a transzformációs technológia eredményeit, amennyiben az elősegíti a társadalom által elvárt feladatok magasabb szintű teljesítését. Ennek megvalósítására a növény nemesítők által rutinszerűen használható technológia kidolgozására van szükség. Jelenleg ugyanakkor még lényeges különbségek vannak ilyen vonatkozásban a különböző gabonafajok között. Amíg a rizs transzformálása döntően rutinszerűen történik, addig a közönséges búza vagy a durumbúza még napjainkban nehezen transzformálható nemesítési célra a nagy genotípus függőség miatt. A növény nemesítési alkalmazás céljára feltétlenül szükséges a genotípustól nagymértékben független, rutinszerűen alkalmazható transzformációs rendszer kidolgozása és alkalmazása. A transzformációs technológia hatékonysága nemesítési nézőpontból számos tényezőtől függ. Így a génbevitel technológiája akkor lesz ideális, ha az irányított génbevitel révén olyan stabil transzformáció valósítható meg, amely genotípus többi nemesítési és agronómiai tulajdonságát nem befolyásolja. Mint ismeretes a gabonafélékben jelenleg alapvetően két génbeviteli rendszer használatos:

- Direkt úton történő gén beviteli technikák (sejt- vagy szöveti elektroporáció, mikroinjektálási módszer, génágyúval történő génbevitel stb.). Ezek közül a génágyúval történő génbevitel vált ez idáig a leginkább elterjedté.
- Agrobacterium közbeiktatásával történő transzformáció, amely még egyes gabonafajok esetében (pl. közönséges búza) rutin növény nemesítési felhasználásra kísérleti szakaszban van a legtöbb laboratóriumban, ugyanakkor növény nemesítési szempontból is egyszerűbb és hatékonyabb technológiának ítélik.

A transzgenikus gabonafajták nemesítésének közvetlen módja a fajta transzformációs célgénomként történő közvetlen felhasználása. Ez abban az esetben járható út amennyiben a fajta jól transzformálható. Ugyanakkor nem minden gabonafajra mondható el, hogy bármely genotípusa vagy fajtája egyaránt hatékonyan transzformálható nemesítési célra. Nagy genotípus függőség esetén – mint például a közönséges búzánál – a leghatékonyabban transzformálható genotípus felhasználása javasolt, amit aztán fel lehet használni visszakereszteléses módszerrel a gén átvitelére az agronómiai fontos fajtákba.

A tudatosan megtervezett molekuláris növény nemesítés egyik feltétele a transzgenikus sikeres beépülése a kívánt növényi szövetbe. Ugyanakkor erre jelenleg a legtöbb esetben csak véletlenszerűen lehet számítani a véletlenszerű eloszlású integrációs helyek miatt. Feltételezhető, hogy a recipiens genomikus DNS abban az esetben integrálódik az idegen DNS-sel, amikor részleges rövid homológiák fordulnak elő, de ennek mélyebb ismerete ma még nem teljesen megoldott. Mindenképpen egy helyreállító (repair) folyamat zajlik le az idegen és a genomikus DNS kapcsolódási helyén.

A növény nemesítés számára elsődleges fontosságú a transzgenikus növényfajtáknak a vélt vagy feltételezhető környezeti kockázatainak figyelembevétele. Ezek közé tartozik a herbicid és az antibiotikum szelekciós marker. Bár valós, tudományosan alátámasztott bizonyíték erre vonatkozóan még nem áll rendelkezésre, a potenciális veszély miatt különösen a közvetlen élelmiszer fogyasztásra felhasznált transzgenikus növényi termékek előállításakor el kell kerülni ezek alkalmazását a közvélemény egy része által megfogalmazott aggodalmak miatt. Számos más technika kínálkozik megoldásként, mint például:

- a szelekciós marker gének eltávolítása természetes úton,
- marker gén mentes technológia alkalmazása,
- pozitív marker szelekciós rendszer alkalmazása (pl. mannóz szelekciós rendszer).

A szövettenyésztési metodológia fejlesztése már a transzformációs kutatások megkezdése előtt jelentős múltra tekint vissza. A transzformált növény hatékony regenerációs rendszerének megválasztása a transzformált explanttól, ami növényfajonként eltérő lehet a gabonaféléknél.

Jelentősen módosítja a transzgenikus fajtanemesítés szelekciós módszerét, hogy a növényi regeneráció diploid vagy haploid szintű sejtekből indul ki. A szomatikus sejtekből végzett transzgenikus növényi regenerációt követően egy olyan szelekciós rendszer alkalmazására van szükség, ami a transzgenikus, homozigóta genotípus szelekcióját eredményezi. Egyszerűbb regenerációs rendszer a nemesítőknek a haploid sejtekből kiinduló protokoll alkalmazása, és ebből a rediploidizáció után homozigóta transzgenikus növény felnevelése. Ezzel időt, és költséget lehet megtakarítani.

A szövettenyésztési módszerek alkalmazásakor napjainkban is problémát okoz az egyes fajoknál megfigyelhető genotípus függőség. Ennek egyik közvetett megoldási lehetősége a transzgenikus fajták nemesítése során a modell növény alkalmazása a transzformációs rendszerben, amely modell növény könnyen transzformálható és regenerálható. A modell növénybe beépített gén átvitele ezután backcross módszerrel oldható meg, ami megnöveli az agronómiai fontos transzgenikus fajta előállításának idejét.

A nemesítés számára hasznos transzformációt jelentősen befolyásolja az alkalmazott promotor. Különösen érvényes ez az egyszikű növényekre,

ahová a gabonafélék is tartoznak, mivel egyes promoterek hatása az egyszikűekben kevésbé erős, mint a kétszikűekben. A promoter meghatározó lehet a bevitt gén stabil expressziójára, a célként kitűzött agronómiai tulajdonság minél teljesebb kifejeződésére. A növénynevelésnek figyelembe kell vennie a promoterral kapcsolatos környezeti kockázatokat még akkor is, ha ezek sok esetben csak vélt rizikót jelentenek, mivel a fajta gyakorlati elterjesztését ez jelentősen meghatározhatja. Éppen ezért sem mindegy, hogy a géntechnológia alkalmazása során konstitutív, szelektív vagy induktív promotert használunk fel. Mind a három típusú promoternek megvan a maga helyén a jelentősége, de ugyanakkor figyelembe kell vennünk a megtermelt növényi részek feldolgozóipari felhasználásából adódó potenciális veszélyeket is. Szintén befolyásolhatja a promoter megválasztását a jogi védettség következtében korlátozott elérhetősége is.

A TRANSZFORMÁLT GENOTÍPUS SZELEKCIÓJA FAJTAELŐÁLLÍTÁS CÉLJÁRA

A létrehozott transzgenikus növény még nem felel meg a növényfajtaktól elvárt követelményeknek, ezért egy szelekciós folyamaton kell átesnie a gyakorlati bevezetése előtt. Az egyik legfontosabb elvárás a transzgen stabil expressziója az utódgenerációban. A szelekció homozigóta transzgenikus genotípusok kiválogatását szolgálja a hasadó generációkban, amikor stabilan expresszázó transzgenrel rendelkező vonalakat hozunk létre. A transzgen expressziójának folyamatos ellenőrzése során meg kell győződni arról, hogy a transzgen:

- stabilan fellelhető a megfelelő szövetben, és kifejti hatását a növényi fejlődés megfelelő szakaszában,
- elsősorban csak a kívánt tulajdonságra hat,
- nem befolyásolja negatívan más agronómiai tulajdonságokat.

A több generáción keresztül végzett szelekció során nemcsak a transzgen stabilitásáról lehet meggyőződni, hanem az esetleg fellépő mutációt és az ún. „gene silencing” jelenséget is ki lehet szűrni, ami a transzgenikus fajta gyakorlati felhasználását megakadályozhatná.

Ami a mutáció okozta kedvezőtlen hatásokat illeti, a transzformáció következtében esetleg fellépő negatív fejlődési vagy agronómiai tulajdonságok helyreállíthatók az eredeti fajta genotípusával történő visszakeresztezéssel, úgy, hogy a transzgen stabilan expresszáldjon a backcross generációkban.

A létrehozott transzgenikus vonalakban nemcsak a transzgen stabilitásáról kell meggyőződni ahhoz, hogy az transzgenikus fajtaként felhasználható legyen, hanem vizsgálni kell annak:

- összes agronómiai tulajdonságát összehasonlítva az eredeti nem-transzformált fajttal,
- alkalmazkodóképességét eltérő agroökológiai körülmények között,
- termesztésének környezetbiztonsági kockázatát,

- vetőmag előállításának biztonságát és gazdaságosságát, ami a fajta termesztésének versenyképességét befolyásolhatja.

EGY TRANSZGENIKUS BÚZA AGRONÓMIAI VIZSGÁLATA

Kevésbé vizsgált terület még a transzformációs technológiából adódó agronómiai teljesítmény változás az eredeti, nem transzformált genotípushoz képest. Ennek vizsgálatára Martonvásáron az MTA Mezőgazdasági Kutatóintézetének Kalászos Gabona Nemesítési Osztályán egy közös angol-ausztrál-magyar kísérletet állítottunk be a transzgenikus búza agronómiai tulajdonságainak vizsgálatára különös tekintettel a technológiai minőségre különböző agroökológiai körülmények között (Rakszegi et al., 2001).

A vizsgált transzgenikus B73-6-1 tavaszi búza extra kópiákat tartalmaz az 1Dx5 HMW glutenin génből. A szántóföldi kísérletben a nem transzformált fajttal összehasonlítva megállapítható, hogy a transzgenikus és az eredeti fajta termőképessége között nem volt kimutatható, szignifikáns különbség, annak ellenére, hogy a transzgenikus variáns szignifikánsan kisebb ezerszemtömegű volt. Közismert, hogy a kisebb ezerszemtömeg több okból alakulhat ki és befolyásolhatja a fehérje-, illetve a sikértartalmat.

Az eredmények azt mutatják, hogy a HMW glutenin génnel történt transzformáció hatására jelentősen megváltozott a búza több technológiai minőséget befolyásoló tulajdonsága (2. táblázat). Így az ezerszemtömeg változásán túl megnövekedett a fehérjetartalma, a nedvessikér tartalma. A transzgenikus B73-6-1 fajta az extra HMW glutenin alegység hatására nagyobb szemkeménységű és hardness indexű volt, ami pozitívan befolyásolta a farinográfos vízfelvételt is.

A funkcionális tulajdonságok meghatározására alkalmazott 10 g mixográf paraméterei közül a téstakialakulási idő hosszabb lett, míg a többi tulajdonság kedvezőtlenebb volt az eredeti, nem transzformált fajtához képest. Ez a negatív változás a nagyobb fehérjetartalom ellenére annak tudható be, hogy az 1Dx5 alegység túlexpresszálsága miatt extraerős téstta alakult ki, a megnövekedett diszulfid hidak miatt nem jött létre megfelelő sikérváz, felborult a téstta nyújthatóságának és rugalmasságának egyensúlya. A további vizsgálatok során a transzgenikus búzafajta lisztjét gyengébb minőségű búza lisztjével kevertük, ami javította a gyenge lisztminőségű hagyományos fajta lisztjének minőségét.

A szántóföldi kísérletek során lehetőség volt a magyar előírásoknak megfelelően – ami nemzetközileg is szigorú rendszabályoknak felel meg – ellenőrizni a transzgenikus búza potenciális környezeti veszélyét. Az előírt rendszabályok betartása alapján elmondható, hogy a transzgenikus búza termesztése során semmilyen környezeti károsító hatást nem tapasztaltunk.

A szántóföldi kísérlet eredményeink arra is választ adtak, hogy egy gén bevitelével a transzformáns növény számos agronómiai tulajdonsága megváltoztatható kedvező és kedvezőtlen irányba. Így mindenképpen arra szükséges törekedni a transzformáció technológiai szakaszának befejezése után, hogy a transzgenikus növény összes agronómiai tulajdonságát megvizsgáljuk a gyakorlati bevezetés megkezdése előtt.

2. táblázat

Az eredeti búzafajta (L88-6) és transzgenikus változatának (B73-6-1) termőképessége, valamint egyes minőségi tulajdonságainak alakulása
(Rakszegi et al., 2001)

Fajta(1)	L88-6	B73-6-1
Termőképesség (kg/pc)(2)	0.94	0.96
1000 szemtömeg (g)(3)	34.19	30.55
Hektolitertömeg (kg)(4)	78.58	77.58
Hardness index(5)	14.43	35.14
Far. vízfelvevő képesség (ml)(6)	50.35	51.00
Farinográf érték(7)	88.00	13.60
Chopin alveográf érték ($W \cdot 10^{-1}$)(8)	125.63	68.00
Fehérjetartalom (%) (9)	11.95	12.60
Nedvessikér tartalom (%) (10)	28.25	28.75

Table 2: Yield capacity and quality parameters of the original variety (L88-6) and its transgenic variety (B73-6-1)

Variety(1), Yield capacity(2), Thousand grain weight(3), Weight of a hectoliter seed(4), Hardness index(5), Water uptake capacity (by pharinograph)(6), Pharinograph value(7), Chopin alveograph value(8), Protein content(9), Gluten content(10)

A GÉNTÉCHNOLÓGIA ALKALMAZÁSÁNAK NEHÉZSÉGEI A NÖVÉNYNEMESÍTÉS BEN

A jövő búzatermesztésének, környezetbiztonsági fejlesztése több módon közelíthető meg. Ezek közül az ún. „high yield farming” vagy precíziós termesztési eljárások jelentik az egyik lehetőséget. A mezőgazdaság csúcstechnológiájának is számító termesztési rendszer egyik alapeleme a transzgenikus növények alkalmazása a növénytermesztésben. A rendszer támogatói szerint így:

- az átlaghozam mennyisége és minősége növelhető, és ennek következtében,
- a mezőgazdaságilag művelt terület csökkenthető, a művelésből kivont rész a természetnek visszaadható,
- a korszerűen művelt területen a fejlett technológia miatt kisebb a környezetbiztonsági veszély.

A környezetvédők és elsősorban az európai országok közvéleménye ugyanakkor kételkedve tekintenek a precíziós növénytermesztés alapját képező transzgenikus, vagy genetikailag módosított növényfajták termesztésbe vonása elé, és a támogatókkal szöges ellentétben a környezetbiztonság kockázatának növekedését látják e növények széleskörű elterjesztésében. Emiatt számos támogatója van az ún. extenzív, vagy „low

input” termesztési eljárásoknak is, ahol nem transzgenikus, hanem hagyományos úton előállított fajtákkal kívánják a termesztés biztonságát garantálni, a növénytermesztés fenntartható fejlődését kialakítani.

A szántóföldi termesztés során a genetikailag módosított búza valóban szolgálhatja a környezetbarát termesztést, de ugyanakkor számos kockázati tényezőt is rejthet magában. Így például a környezetében található élő szervezetek ki vannak téve közvetett vagy közvetlen módon a transzgen hatásának, előidézheti új gyomnövények létrejöttét, vagy könnyen kereszteződő vad rokon fajok jelenlétekor kedvezőtlen ökológiai hatások kialakulását, és ezáltal a biodiverzitás megváltozását. A géntechnológia potenciális veszélyeinek elkerülése érdekében Európában a genetikailag módosított szervezetek (GMO-k) környezetbe bocsátásának szabályozására 1992-ben elfogadásra került a 90/220/EEC direktíva. Az OECD (Organisation for Economic Cooperation and Development) kimondta az ún. „substantial equivalence” elvet, ami alapján a GMO termékeket az eredeti vagy legközelebb álló nem-GMO termékhez, illetve növényhez kell hasonlítani, úgy, hogy a hasonlítás alapját jelentő növényt, mint környezetre veszélytelen standardot tekintik. Magyarországon a géntechnológiai tevékenység szabályozásáról 1998-ban alkotott törvényt a parlament.

A transzgenikus növények vetőmag előállítása és termesztése során meg kell vizsgálni annak a lehetőségét, hogy a géntechnológiai módszerekkel bejutott idegen gén a természet fajtából átjuthat-e más természet fajtákba, vagy más természet vagy a természetben előforduló fajokba. Az idegen gén elterjedésének elméletileg több módja lehetséges, első lépésben felmerül az ivaros úton történő elterjedés lehetősége. A természet búza vonatkozásában ez a kérdés még megválaszolásra vár, hiszen annak ellenére, hogy a búza bioliztikus transzformációja már megoldottnak tekinthető, a transzgen ivaros átvitelére vonatkozóan csak nagyon kevés információ áll rendelkezésünkre.

A növénynemesítőnek figyelembe kell vennie a közvélemény álláspontját a kutatási koncepció kialakításában is. Különösen érvényes ez az európai növénynemesítőkre, mivel ebben a régióban tapasztalható a legnagyobb megosztottság a fogyasztói magatartásban. Ebből fakadóan a géntechnológiai módszerek alkalmazásában az európai növénynemesítők viszonylag hátrányba kerültek más régiókkal szemben. Ezt a lemaradást egy 2000-ban készült felmérés szerint (Arundel et al., 2000) az európai nemesítők is próbálják behozni. Így 1999-ben a megkérdezett és választ adó 99 európai nemesítő cég 33%-a foglalkozott a hagyományos nemesítés mellett géntechnológiai kutatással. Ez az arány szándékuk szerint 2002-re 49%-ra nő. A cégek további 31%-a fogja alkalmazni kiegészítő jelleggel a marker technológiát és a génszekvenálást az 1999-es 23%-hoz képest. Összességében elmondható, hogy minden ötödik európai nemesítő cégből négy valamilyen formában hasznosítja programjában a

molekuláris nemesítés módszereit a hagyományos nemesítési módszerek mellett.

Az európai növénynemesítés hiába ér el sikereket a géntechnológia alkalmazásával a jövőben, ha a fejlődést gátló közvetett és közvetlen veszélyek és akadályok továbbra is megmaradnak. Ide tartozik többek között, hogy

- a mezőgazdasági termelés viszonylag drága, túlzottan bürokratikus, nehéz átmeneti időszakot él át Európában,
- a növénynemesítés tőkeigénye világszerte rohamosan nő, csökken a nemesítési programok száma, ami a genetikai variabilitás beszűküléséhez vezethet,
- a biztonsági rendszabályok szigorodása miatt a költségek további növekedésével kell számolni a jövőben. Ez a növénynemesítés további koncentrációját jelenti,
- a vetőmagiparban a profitot hozó növények száma kevés, visszaszorul a közepes és kis területen termesztett növények nemesítése,
- az IPR további kiterjesztése miatt beszűkülő genetikai diverzitás a genetikai sebezhetőség

potenciális veszélyének növekedését vonhatja maga után,

- a génbankok szabad hozzáférhetősége világszerte egyre inkább korlátozódik,
- a klasszikus növénynemesítés állami támogatása drasztikusan visszaesett, és ez különösen érvényes Európában,
- a genetikailag módosított szervezetek negatív megítélése Európában hátráltatja a géntechnológia hatékony alkalmazását a növénynemesítésben,
- nincs egységes, kötelező érvényű európai standardizálás a géntechnológiai eredmények gyakorlati felhasználásának szabályozásában.

Az említett problémák közvetlenül érintik a magyar növénynemesítést is, ahol az átmeneti korszak nehézségei mellett fel kell készülnünk az európai követelményekre és kihívásokra is. Ehhez olyan komplex kutatási programokra van szükség, ahol együtt dolgoznak a géntechnológiához értő növénynemesítők, valamint a növénynemesítők gondolatvilágát ismerő molekuláris genetikusok.

IRODALOM

Birch R. G. (2000): Application of gene transfer to crop improvement (In: L. O'Brian and R. J. Henry eds.: Transgenic cereals AACC St. Paul, Minnesota) 267-276.

Brown L. R. (1998): Struggling to raise crop productivity (in: Brown L. R., Flavin, Ch., French, H. State of the World 1998 W.W.Norton and Co. New York and London) 79-95.

James C. (2000): Global status of commercialized transgenic crops: 2000. ISAAA Briefs No. 21: Preview. ISAAA: Ithaca, NY

Rakszegi M.-Békés F.-Juhász A.-Szűcs P.-Láng L.-Tamás L.-Shewry P. R.-Bedő Z. (2001): Technological quality of a transgenic Australian spring wheat variety under Central European conditions. Cereals 2000, Proceedings of the 11th ICC Cereal and Bread Congress and of the 50th Australian Cereal Chemistry Conference (M. Wootton, I. L. Batey, C. W. Wrigley eds.) Melbourne, Australia. 261-264.