

GÉNTÉCHNOLÓGIA A NÖVÉNYNEMESÍTÉS ESZKÖZTÁRÁBAN

Bedő Zoltán
az MTA levelező tagja, igazgató
bedoz@mail.mgki.hu

Láng László
tudományos tanácsadó,
tudományos osztályvezető

Rakszegi Mariann
tudományos főmunkatárs

MTA Mezőgazdasági Kutatóintézet, Martonvásár

Napjainkban hatalmas szemléleti átalakulás megy végbe az élettudományokban. Egyszerre történik az egész fragmentálása, a molekuláris szintre történő redukálás folyamata és az integrált megközelítés realizálása, amely egyesíti a molekuláris és a szerkezeti szintű diszciplínákat (Kafatos – Eisner, 2004).

Az új szemléletmód nagyszerű távlatokat jelent számos alkalmazott kutatási területen, mivel az új szemlélet révén a növényi funkciók molekuláris szintű megismerésének eredményei felhasználhatók a gyakorlatban. Fontos szerepe van e folyamatban korunk új tudományának, a genomikának, amely jelentős fejlődést idézett elő, többek között, az orvostudományokban, a gyógyszeriparban és egyre inkább az agrártudományokban is. Így a növénynemesítés ötezer éves történelmében nem történt olyan hatalmas módszertani változás, mint az elmúlt húsz év során, amikor létrejött a molekuláris növénynemesítés, és azon belül is a növényi géntechnológia. 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 volt, ami természetbe került a világon (James, 2000). E növények elterjedése tovább tartott az elmúlt években is, megközelítve a százmillió hektáros éves területet világszerte.

Zöld forradalom – zöld biotechnológia

A zöld biotechnológia méltó folytatása annak a zöld forradalomnak, ami a múlt század második felében a növényi produktivitás mennyiségi növelésével, és a korszerű gazdálkodással visszaszorította az éhezést. A dinamikus népességnövekedés társadalmi és gazdasági kényszere következtében kialakult egy kompromisszum az élelmiszertermelés fejlesztése és a természeti környezet egyensúlyának fenntartása között. Különösen nagy társadalmi hatása volt a zöld forradalomnak a fejlődő világban, ahol megnőtt a humán táplálkozásban a kalóriafelvétel, és az élelmiszerek jelentősen csökkentek (Everson – Gollin, 2003). Ma már magától értetődőnek vesszük, hogy ötven évvel ezelőtt az emberiség fele alultáplált volt, és napjainkban ez az arány 13-15 %-ra csökkent, miközben a Föld lakossága két és félszeresére nőtt. Még inkább szembetűnő változás, hogy a sokszor nosztal-

giával emlegetett hagyományos mezőgazdasági termeléssel a jelenlegi népességet csak háromszor nagyobb földterületen lehetne élelemmel ellátni világszerte, mint napjaink technológiáját alkalmazva (Borlaug – Dowsell, 2003). Magyarországon még nagyobb a különbség: a lakossági ellátásra termelt búza a mai korszerű technológiával 300–400 ezer hektáron megterem. Amennyiben az ötvenes évek fajtáihoz, természeti módszereihez térnénk vissza az akkor mért 0,8 t/ha átlagterméssel, úgy közel 2 millió hektárra volna szükség. Ez azt jelentené, hogy jelentősen növelni kellene a mezőgazdaságilag művelt területet, lemondhatnánk a környezetileg érzékeny marginális földterületek ökológiai egyensúlyának megóvásáról, az erdősítésről, a vadon élő állatok természetes életterének biztosításáról stb., vagy szembe kellene nézni az évenként ingadozó termésátlagok okozta bizonytalan hazai élelmiszerellátással.

A zöld forradalom során elért eredmények ellenére a XX. század végére érzékelhetővé váltak az elmúlt fél évszázadban bevezetett korszerű technológiák korlátai a fejlett világ mezőgazdaságában, és felmerült az igény egy újabb innovációs korszakra. A felhasznált műtrágya és növényvédő szerek mennyisége ugyanis nem növelhető tovább a talajok és az altalajvíz környezeti károsításának veszélye nélkül. Még ennél is nagyobb

problémát jelent az emberiség számára a mezőgazdasági termelésben kijuttatható víz mennyisége. A lakosság dinamikus növekedésével és az ipar robbanásszerű fejlődésével az agrártermelés a harmadik helyre szorult vissza az egyre jobban fogyatkozó édesvízkészletek hasznosítási sorrendjében, amit még tovább súlyosbít a globális klímaváltozásból eredő kiszámíthatatlan csapadékeloszlás is.

Egyértelművé vált napjainkra, hogy a zöld forradalom betöltötte a szerepét, időben és régióként eltérő módon, de jelentősen hozzájárult a növényi produktivitás növeléséhez. Ez a trend a kilencvenes években a Föld több régiójában lelassult (*I. táblázat*) a korábbi négy évtizedhez képest (Brown, 1998). A jövőbeni célokat csak a hagyományos módszerekkel, az eddig használt technológiákkal nem lehet megvalósítani, hanem új módszerek alkalmazására van szükség. Ezek közül a molekuláris biológiában elért eredmények nemesítési felhasználása az egyik nagy lehetőség az új kihívásokkal szemben.

A változások az egész élelmiszertermelésre kihatnak, és előtérbe helyezik a fenntartható fejlődést biztosító feltételek, a termelés biztonságát fokozó tényezők javítását. A növényi termés stabilizálása a klasszikus növénynevelők régi vágya. Kétirányú folyamat zajlott le az elmúlt században ennek érdekében a modern fajták nemesítésével: egyrészt

Év	Összes gabona	Rizs	Búza	Kukorica	Egyéb gabonák
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

I. táblázat • A világ gabonatermelésének százalékos évenkénti változása a vizsgált évtizedekben (Brown, 1998)

a populáción belüli heterogenitás csökkenésével, a modern homogén populációjú fajták előállításával génerózió játszódott le, másrészt a nemesítési ciklusok során az adaptációt biztosító allélok akkumulációja ment végbe. Ezáltal jelentősen sikerült növelni a növények alkalmazkodóképességét, a biotikus és az abiotikus stresszrezisztenciát. A helyi tájfajták egy kisebb körzethez kötődő speciális alkalmazkodóképessége helyett kialakultak a széles alkalmazkodóképességű, nagyobb régiókban termesztendő, nappalhossz-inszenzítív modern növényfajták. Szinte versenyfutáshoz hasonlítható a növénynemesítők erőfeszítése annak érdekében, hogy a nagyobb produktivitással egy időben minél jobb adaptációs képességű genotípusokat hozzanak létre.

Molekuláris nemesítés – növényi géntechnológia

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

- a genetikai diverzitás megőrzése és lehetőség szerint a szélesítése,
- a növényi produktivitás fenntartható növelése a termésbiztonság egyidejű javítá-

sával. Ide tartozik például a peszticidterhelés csökkentése, herbicid-, gomba- és rovarrezisztens genotípusok nemesítése, a termésstabilitás javítása hideg-, aszály- és sötétű genotípusok nemesítésével,

- a mezőgazdaságilag művelt terület csökkentése az ökológiailag érzékeny régiókban a természetes környezet megóvása érdekében,
- egészséges táplálkozást elősegítő élelmiszer előállítás: például vitamintartalom növelése, a növényi tápanyagtranszport javítása, esszenciális aminosavak termelése, a bioaktív komponensek növelése,
- bioenergetikai célra hatékonyan felhasználható genetikailag módosított növények előállítása,
- az életminőség javítása: például gyógyászatban felhasználható makromolekulák termelése az ún. „biofarming” eljárással.

A molekuláris növénynemesítés célja olyan DNS-szintű változások előidézése, melyek közvetlen és tudatos genomi szintű beavatkozással javítják a növény agronómiai teljesítményét, beltartalmi jellemzőit, vagy új, korábban nem létező tulajdonság kifejlesztését teszik lehetővé. Alkalmazásával a fenotípusosan vizsgálható tulajdonságokat nem fedik el vagy befolyásolják a környezeti tényezők, ami állandó problémát okoz a klasszikus növénynemesítőknél. Ezáltal a molekuláris nemesítés lényegesen hatékonyabb lehet a növény- és populációs szinten történő hagyományos szelekcióhoz képest, sőt klasszikus nemesítési módszerekkel meg nem valósítható genetikai megváltozásokat lehet előidézni. A növénynemesítés eszköztára jelentősen gazdagodott, például a nagy hatékonyságú ún. *high-throughput* genom-elemző technológiákkal, melyekkel a kutatók növényi génbankok és nemesítési anya-

gok vizsgálatát képesek elvégezni a DNS-polimorfizmus meghatározására. A genotípusvizsgálás hatékonyságát növeli a gének expressziójának szisztematikus vizsgálatát lehetővé tevő *microarray* technológia. Meghatározható és nyomon követhetőek lesznek az egyes folyamatokban részt vevő gének. A növényi genom mélyebb megértése részletesebb bepillantást enged meg a biokémiai folyamatokba, a fehérjék és metabolitjaik rendszerébe, azok kölcsönhatásainak megértésébe.

A molekuláris nemesítés egyik széleskörűen elterjedt módszere – amit az organikus növénynevelítők is alkalmaznak – a molekuláris markerszelekció. Markerrendszerek alkalmazása nem újdonság a növénynevelítési kutatásokban, hiszen például morfológiai, citogenetikai, biokémiai markerek használata már korábban is hasznos eszköz volt a növénynevelítők számára. Minőségi változást jelentett, hogy a DNS-fragmensek elektroforézis alapon történő szeparálásával (például: RFLP, RAPD, AFLP) lehetővé vált a genomanalízis növénynevelítési kísérletekben történő felhasználása. Ugyanakkor kiderült, hogy e technikák munka- és időigényesek, költségesek voltak nagyszámú nemesítési anyag tesztelésére. Újabb előrelépést jelent az ún. *single nucleotide polymorphism* (SNP) felhasználása, amely alapvetően két genotípus DNS-szekvenciájában kimutatható variációt adja meg. Ez a technológia nagyobb hatékonysággal használható a molekuláris markerszelekcióban, mivel például a kukorica genomjában potenciálisan 62 millió SNP mutatható ki (Edwards – Mogg, 2001), tehát egy genomban igen nagy gyakorisággal fordul elő. Lényeges előnye, hogy automatizált rendszer kiépítésével nagyszámú genotípus és lókus vizsgálatát lehet rövid idő alatt hatékonyan elvégezni.

A növénynevelítés korszerű molekuláris eszköztárában, a gének működésének szabályozásában nagyszámú gyakorlati előnyökkel adó lehetőség a géncsendesítés, vagy ún. *RNS silencing*, a különböző RNS-ek által szabályozott génexpressziós rendszerek kutatása, ami az egész élővilágban, így a növényekben is fontos szerepet tölthet be. A molekuláris növénynevelítők a mezőgazdaságban hasznosított növények agronómiai fontos tulajdonságainak kifejlődését, biotikus és abiotikus stresszekkel szembeni ellenállóságát lesznek képesek szabályozni azáltal, hogy a végrehajtó enzimkomplexek szekvenciáspecifikusan felismerik a mRNS-eket, és azok működését szabályozzák. Ez a szabályozás történhet a növényi szervezet egy adott helyén, a növényi egyedfejlődés egy adott időbeli szakaszában.

A genetikai diverzitás növeléséhez járulhat hozzá az ún. TILLING (Targeted Induced Local Lesions in Genoms) -technika, amely nagyszámú növényi genotípus DNS-polimorfizmusában fellelhető különbségeket vizsgálja. Az így fellelhető DNS-szekvenciakülönbségek alapján szelektálni lehet mutáns jelölt géneket, melyek potenciálisan felhasználhatók új genotípusok nemesítése során genetikai transzformációval.

A molekuláris nemesítés egyik, a társadalom előtt is leginkább ismert új „eszköze” a növényi géntechnológia. A géntechnológia az új növényfajta létrehozásának egy fontos szakaszát jelenti a teljes nemesítési ciklus során. Növénynevelítési szempontból a transzgenikus fajta előállításának legfontosabb lépései:

- a donor genomból egy gén vagy génszakasz izolálása transzformáció céljára;
- transzformációra felhasználható, hagyományos nemesítéssel létrehozott homozióta növény vagy célgenom nemesítése;

- transzformációs protokoll megfelelő promoter felhasználásával transzformált növény előállítására;
- szövettenyésztési eljárással a transzformált növény felnevelése;
- a transzformált növényből kereskedelmi célra alkalmas transzgenikus fajta létrehozása.

A transzformált növény előállítása nem azonos a transzgenikus növényfajttal. Éppen ezért van szükség a hagyományos és a molekuláris növénynemesítés integrálására, mert a molekuláris nemesítési fázis megkezdése előtt hagyományos nemesítéssel agronómiailag értékes homoizógota genotípust kell létrehozni, amit egy gén vagy genomszakasz géntechnológiai eljárással történő transzformálásával lehet módosítani. A hagyományos nemesítéssel szelektált genotípus transzformációja után szintén hagyományos nemesítési módszerekkel szelektáljuk a transzgenikus növényfajttát, amely akkor felel meg a kereskedelmi célra felhasználható transzgenikus fajtának, ha

- stabil genommal rendelkezik, azaz stabilan öröklődik, a későbbi generációkban nem változik, így megfelel a Nemzetközi Fajtajogvédelmi Szervezet (UPOV) által létrehozott ún. DUS követelményeknek,
- a transzgenikus fajta termesztése élelmiszer-egészségügyi vagy takarmányozási kockázatokat nem okoz,
- virágzásbiológiai tulajdonságai stabilak, vetőmagja biztonságosan és gazdaságosan előállítható,
- a termesztési régióban környezeti kockázatok nélkül biztonságosan termesztethető,
- transzgén beépítése a donorfajtahoz képest olyan gazdasági előnyt biztosít, ami kereskedelmi értékkel is bír a természetnek vagy az élelmiszerláncban résztvevőknek.

A transzformációs technológia hatékonysága számos tényezőtől függ. A molekuláris nemesítési laboratóriumokban különböző kutatási célokra nagyszámú transzformált növényt hoznak létre, de végül agronómiai és kereskedelmi értékkel rendelkező növény ennél nagyságrendileg kevesebb lesz. Így a transzgenikus növények nem lesznek automatikusan gyakorlatban felhasználható fajták. A növénynemesítők akkor tudják hatékonyan alkalmazni a transzformációs technológiát, amennyiben az rutinszerűen használható. Ezért növénynemesítési célra feltétlenül szükséges a genotípustól nagymértékben független transzformációs rendszer. Jelenleg még lényeges különbségek vannak ilyen vonatkozásban a különböző növényfajok között. A kultúrnövények közül talán a dohány és a rizs transzformálható a legkönnyebben, így e fajokat a növénygenetikuskok modellnövényként is gyakran használják a lúdfű mellett (*Arabidopsis thaliana*). Ezeket követte a szója (McCabe et al., 1988), kukorica (Fromm et al., 1990, Gordon-Kamm et al., 1990), búza (Vasil et al., 1992), árpa (Wan – Lemaux., 1994) stb. sikeres transzformációja. Amíg a rizs transzformálása döntően rutinszerűen történik, addig a durumbúza még napjainkban is nehezen transzformálható nemesítési célra.

A génbevitel technológiája akkor optimális, ha stabil transzformáció valósítható meg, ami a transzformált genotípus többi tulajdonságát nem befolyásolja. Például a gabonaféléknél jelenleg alapvetően két génbeviteli rendszer használatos:

- Direkt úton történő génbeviteli technikák (sejt- vagy szöveti elektroporáció, mikroinjektálás, biolisztikus eljárással történő génbevitel stb.). Ezek közül a biolisztikus módszer terjedt el leginkább.

- *Agrobacterium tumefaciens* közbeiktatásával történő transzformáció, amely elsősorban a kétszikű növényfajoknál, majd az elmúlt években az egyszikűeknél is rutinszközzé vált növénynevelési felhasználásra.

A tudatosan megtervezett molekuláris növénynevelés egyik feltétele a transzgen sikeres beépülése a kívánt növényi genomba. Ugyanakkor erre jelenleg 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. Mindenképpen egy helyreállító folyamat zajlik le az idegen és a genomikus DNS kapcsolódási helyén.

A génbeviteli protokoll egyik kritikus szakasza olyan szelekciós marker használata, amely a leghatékonyabban segíti elő a bevitt DNS integrációjának kimutatását. Jelentős fejlődés zajlott le e területen rövid idő alatt. A bakteriális antibiotikum, valamint a herbicid rezisztenciagének széleskörű használata után számos más megoldás került kidolgozásra. Ide sorolható a pozitív markerszelekciós rendszer alkalmazása, ahol a foszfomannóz izomeráz gén a mannóz-6-foszfátot átalakítja egy nem toxikus metabolitná, vagy a vizuális markergének alkalmazása, mint például a nem destruktív zöld fluoreszkáló protein (GFP) vagy a luciferáz enzim stb.

A nevelés számára értékes transzformációt jelentősen befolyásolja az alkalmazott promotor. Különösen érvényes ez az egyszikű növényekre, ahová a gabonafélék is tartoznak, mivel egyes promotorok hatása az egyszikűekben kevésbé erős, mint a kétszikűekben. A promotor meghatározó lehet a bevitt gén stabil expressziójára, a célként kitűzött

agronómiai tulajdonság minél nagyobb kifejeződésére. A promotor megválasztását befolyásolhatja többek között, hogy konstitutív, szelektív vagy induktív promotert célszerű-e felhasználni. Mind a három típusú promotornek megvan a maga helyén a jelentősége, de ugyanakkor figyelembe kell venni a promotor típus megválasztásakor a megtermelt növényi részek feldolgozóipari felhasználásából adódó potenciális veszélyeket is. A genetikailag módosított növények nevelésén belül éppen ezért nagy fontosságú a promotor kutatás.

A transzformált növény felneveléséhez használt szövettenyésztési módszerek fejlesztése már a transzformációs kutatások megkezdése előtt jelentős múltra tekintett vissza. A transzformált növény hatékony regenerációs rendszerének megválasztása növényfajonként eltérő lehet. A regenerált transzgenikus növény még nem felel meg a növényfajtaktól elvárt követelményeknek. A genetikailag módosított növény tesztelése során nemcsak a transzgen stabilitásáról lehet meggyőződni, hanem az esetleg fellépő mutációt és 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 kialakuló negatív fejlődési vagy agronómiai tulajdonságok helyreállíthatók az eredeti fajta genotípusával történő visszakereszteléssel (BC), úgy, hogy a transzgen stabilan expresszálódjon a BC generációkban.

A transzgenikus fajta létrehozása előtt meg kell győződni a genetikailag módosított törzsek vagy vonalak agronómiai teljesítményéről, összehasonlítva az eredeti nem transzformált fajtával, eltérő agroökológiai körülmények között az alkalmazkodóképességéről,

termesztésének környezetbiztonsági kockázatáról, a vetőmag előállításának biztonságáról és gazdaságosságáról, ami a genetikailag módosított fajta termesztésének versenyképességét befolyásolhatja.

A fentiekben leírtak a transzgenikus növényfajták nemesítésének közvetlen módját mutatják be, amikor a növényfajtát transzformációs célgenomként használjuk fel. Ez abban az esetben járható út, amikor a transzformációra felhasznált fajta rutinszerűen transzformálható, és szövettenyésztésben könnyen regenerálható. Genotípus-függőség esetén (mint pl. a közönséges búzánál) a leghatékonyabban transzformálható genotípus felhasználása javasolt, amit aztán fel lehet használni visszakereszteléses módszerrel a célgén átvitelére az agronómiailag fontos, de kevésbé hatékonyan transzformálható fajtákba.

Egy genetikailag módosított búza vizsgálata

Egy közös angol-ausztrál-magyar kísérletet állítottunk be a transzformációs technológiából adódó agronómiai és beltartalmi teljesítményváltozás vizsgálatára. Arra kerestünk választ, hogy az eredeti, nem transzformált genotípushoz képest miként módosulnak a transzgenikus búza agronómiai tulajdonsá-

gai, főként a technológiai minőség paramétereit (Rakszegi et al., 2005).

A vizsgált transzgenikus B73-6-1 tavaszi búza extra kópiákat tartalmaz az 1Dx5 nagy molekulásúlyú (HMW) glutenin génből. A szántóföldi kísérletben a nem transzformált fajtával összehasonlítva megállapítható, hogy a transzgenikus és az eredeti fajta termőképessége között nem volt kimutatható, szignifikáns különbség annak ellenére, hogy a transzgenikus variáns szignifikánsan kisebb ezerszem tömegű volt. Közismert, hogy a kisebb ezerszem tömeg több okból alakulhat ki, és befolyásolhatja a fehérje-, illetve a sikkertartalmat. 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 ezerszem tömeg változásán túl megnőtt a fehérje- és 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 mixográf módszer paramétereit közül a tésztakialakulási idő hosszabb

Tulajdonság	L88-6	B73-6-1
Szemtermés (kg/parcella)	0,94	0,96
1000 szemtömeg (g)	34,19	30,55
Hektoliter tömeg (kg)	78,58	77,58
Hardness index	14,43	35,14
Farinográf vízfelvétel (ml)	50,35	51,00
Farinográf érték	88,00	13,60
Liszt fehérjetartalom (%)	11,95	12,60
Nedvessikér-tartalom (%)	28,25	28,75

2. táblázat • A szemtermés és a minőségi paraméterek változása az eredeti L88-6 és a transzgenikus variáns B73-6-1 búza genotípusokban

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 túlexpresszáltága miatt extraerős tézta alakult ki, a diszulfid hidak megnövekedett száma miatt nem jött létre megfelelő sikérváz, felborult a tézta 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 kenyérgyártási minőségét.

A szántóföldi kísérlet eredményei arra is választ adtak, hogy egy gén bevitelével a transzformált növény számos tulajdonsága megváltoztatható. Így mindenképpen arra szükséges törekedni a transzformációs szakasz befejezése után, hogy a transzgenikus növény összes agronómiai tulajdonságát megvizsgáljuk a gyakorlati bevezetés megkezdése előtt.

A genetikailag módosított növények helye a mezőgazdaságban

A növénynevelés céljai között szerepel a különböző mezőgazdasági technológiai rendszerekben felhasználható genotípusok selekciója. Ezeket alapvetően intenzív, extenzív, illetve organikus technológiáknak nevezzük. Alkalmazásuk egyik fontos kritériuma, hogy a környezet ökológiai egyensúlyának veszélyeztetése nélkül minél nagyobb mennyiségű és jó minőségű élelmiszeranyag kerüljön előállításra. Így megkülönböztetünk:

- intenzív, mezőgazdasági termelésre alkalmas területet a környezet károsításának minimális kockázatával;
- ökológiaileg érzékeny területet, ahol környezetvédelmi követelmények elsődlegesek a mezőgazdasági termeléssel szemben;

- mezőgazdasági tevékenységre alkalmatlan területeket, ahol nagy a környezeti egyensúly felborulásának kockázata.

A becslések alapján hazánkban az első csoportba a mezőgazdaságilag művelt terület 60-70 %-a sorolható; 20-25 %-ot tesz ki a második, és 10 %-ot a harmadik csoport.

Az első csoportba tartozó területeken a gazdálkodók főként az intenzív jellegű technológiák alkalmazásával végzik a növénytermelést. Ide tartozik az eddig ismert technológiák mellett a fejlett országokban több helyütt bevezetésre került ún. precíziós növénytermelés is. Az intenzív technológiáknál nagy jelentősége lehet a transzgenikus növények felhasználásának. Az ún. *low input* vagy extenzív technológiának az ökológiaileg érzékeny területeken lehet jövője. Itt sem célszerű lemondani a genetikailag módosított növények alkalmazásáról, mivel ezek elsősorban a nagyobb termelési stabilitásuk, jobb stressztűrő képességük miatt lehetnek perspektivikusak. Stresszrezisztens genetikailag módosított növényfajtákkal csökkenthetők a nagy termelési ingadozások főként az elmaradott régiók egyébként is kedvezőtlen gazdasági és társadalmi körülményei között. A növénytermelési technológiák megválasztásakor a környezetvédelmi előírások betartása egyre fontosabb kritériummá válik, amit a genetikailag módosított növények gyakorlati felhasználása során figyelembe kell venni. Ez jelentős felelősséget ró a növénynevelítőkre.

Géntechnológia Európában

A növénynevelítőnek tudományos meggyőződése mellett figyelembe kell vennie a közvélemény álláspontját a kutatási koncepció kialakításában is. Hiábavalónak tűnnek az elmúlt ötven év nagyszerű eredményei a Föld lakosságának élelmezésében, amikor egyes

szélsőséges álláspontok ma is csak a zöld forradalom vélt negatívumait emelik ki, mint például a környezetre potenciálisan káros kemizálást. Különösen érvényes ez a megállapítás a géntechnológiára, mivel az európai 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-ben 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 nőtt. A cégek további 31 %-a alkalmazza kiegészítő jelleggel a marker technológiát és a génszekvenálást az 1999-es 23 %-hoz képest. Összességében elmondható, hogy átlagosan öt európai nemesítő cégből négy valamilyen formában hasznosítja programjában a molekuláris nemesítés módszereit a hagyományos nemesítési módszerek mellett, és minden második célul tűzi ki genetikailag módosított, ún. transzgenikus növényfajták előállítását.

A hátrányos európai helyzet gyökerei igen mélyen találhatók. Ide sorolható, hogy a Föld többi régiójához képest az európai mezőgazdaság kiváló természeti adottságai ellenére viszonylag drága, átpolitizált, túlzottan bürokratikus és a mindent átszövő szubvenciók miatt bizonyos mértékben elkényelmesedett. A GM-szervezetek negatív európai megítélése hátráltatja a technológiai megújulást a mezőgazdaságban. A biztonsági rendszabályok szigorodása következtében a kutatási költségek további növekedésével kell számolni a jövőben, amit már nagyon kevés növény-

nemesítő tud felvállalni. A növénynemesítés, mint bármely dinamikusan fejlődő tudományterület pedig tovább koncentrálódik a kutatás növekvő tökeigénye miatt. A nagyobb kutatási költségek a szabadalmi jog kiterjesztését eredményezik. Egyre inkább korlátok közé szorul a növényi génbanki kollekciók szabad felhasználása. Mindezek a genetikai diverzitás beszűkülését idézhetik elő. Ezt még az a tény is alátámasztja, hogy a vetőmagiparban a profitot hozó növények száma csökken, viszszaeszik a közepes és kis területen termesztett növények nemesítése. Az említett problémák közvetlenül érintik a magyar növénynemesítést is, ahol komplex kutatási programokra van szükség, ahol együtt dolgoznak a géntechnológiához értő növénynemesítők, valamint a növénynemesítők gondolatvilágát ismerő molekuláris genetikusok.

Egyértelművé vált napjainkra, hogy az agrártermelés hatalmas fejlődésen és ezzel együtt átalakuláson ment át az elmúlt fél évszázadban. Ugyanakkor egy új korszak még csak éppenhogy elkezdődött. A hatékony élelmiszergazdaság előfeltétele, hogyan tud bekapcsolódni az innovatív folyamatokba, képes-e alkalmazkodni szerkezeti struktúrájával, termesztési technológiájával, a fogyasztói igények kielégítésével a korábbi évtizedeknél bonyolultabb kihívásokhoz. Minden bizonnyal nem lesz visszatérési lehetőség a zöld forradalmat megelőző időszakhoz, és az előbbi is meg kell haladni a jövőben. A fejlődést a társadalom igényei fogják kikényszeríteni, ezért fontos szerep juthat a géntechnológiának a növénynemesítés eszköztárában.

Kulcsszavak: *molekuláris növénynemesítés; DNS-polimorfizmus; transzformáció; Agrobacterium; nagy molekulatömegű glutenin; GM-növények*

IRODALOM

- Arundel, Anthony – Hocke, M. – Tait, J. (2000): How Important Is Genetic Engineering To European Seed Firms? *Nature Biotechnology*. **18**, 578.
- Borlaug, Norman E. – Dowsell, Christopher R. (2003): Feeding a World of Ten Billion People: A 21st Century Challenge. Tuberosa, Roberto – Phillips, R. L. – Gale, M. (eds.): *In the Wake of the Double Helix: From the Green Revolution to the Green Revolution*. Proceedings of the International Congress. Avenue Media, Bologna, 3–23.
- Brown Lester R. (1998): Struggling to Raise Crop Productivity. In: Brown, Lester R. – Flavin, Ch. – French, H. et al.: *State of the World 1998*. W. W. Norton And Co., New York–London, 79–95.
- Calderini, Daniel F. – Slafer, Gustavo A. (1999): Has Yield Stability Changed with Genetic Improvement of Wheat Yield? *Euphytica*. **107**, 1, 51–59.
- Edwards, Keith J. – Mogg, Rebecca (2001): Plant Genotyping by Analysis of Single Nucleotide Polymorphism. Henry, Robert James (ed.): *Plant Genotyping: The DNA Fingerprinting of Plants*. CABI Publishing, 1–14.
- Evenson, Robert E. – Gollin, Douglas (2003): Assessing the Impact of the Green Revolution, 1960 to 2000. *Science*. **300**, 758–762.
- Fromm, Michael E. – Morrish, F. – Armstrong, C. et al. (1990): Inheritance and Expression of Chimeric Genes in the Progeny of Transgenic Maize Plants. *Bio/Technology*. **8**, 833–839.
- Gordon-Kamm, William J. – Spencer, T. M. – Mangano, M. L. et al. (1990): Transformation of Maize Cells and Regeneration of Fertile Transgenic Plants. *The Plant Cell*. **2**, 603–618.
- James, Clive (2000): *Global Status of Commercialized Transgenic Crops: 2000*. ISAAA Briefs No. 21: Preview. ISAAA: Ithaca, NY
- Kafatos, Fotis C. – Eisner, Thomas (2004): Unification in the Century of Biology. *Science*. **303**, 1257.
- McCabe, Dennis E. – Swain, W. F. – Martinell, B. J. et al. (1988): Stable Transformation of Soybean (*Glycine Max*) by Particle Acceleration. *Bio/Technology*. **6**, 923–926.
- Rakszegi Mariann – Békés F. – Láng L. (2005): Technological Quality of Transgenic Wheat Expressing an Increased Amount of a HMW Subunit of Glutenin. *Journal of Cereal Science*. **42**, 15–23.
- Vasil, Vimla – Castillo, A. M. – Fromm, M. E et al. (1992): Herbicide Resistant Fertile Transgenic Wheat Plants Obtained by Microprojectile Bombardment of Regenerable Embryogenic Callus. *Bio/Technology* **10**, 667–674.
- Wan, Yuechun – Lemaux, Peggy C. (1994): Generation of Large Numbers of Independently Transformed Fertile Barley Plants. *Plant Physiology*. **104**, 37–48.

