

ROVATVEZETŐ:

Dr. Heszky László *akadémikus*

„Tanuljunk géntechnológiául” sorozat ötödik fejezete, a transzgénikus fajták termesztésének és termékei felhasználásának kockázataival foglalkozik. Az előző (V./1.) részben tisztáztuk az alapfogalmakat és bemutattuk a veszélyek és kockázatok főbb csoportjait. Ebben a részben a géntechnológia mint fiatal tudományterület „gyermekbetegségeire” visszavezethető rizikótényezőket ismertetjük.

Tanuljunk „géntechnológiául” (25.)

A transzgénikus (GM) fajták termesztésének és fogyasztásának kockázatai” (V./2.)

A géntechnológia kutatási és fejlesztési hiányosságaira visszavezethető veszélyek és kockázatok

Dr. Heszky László

SzIE Mezőgazdaság- és Környezettudományi Kar, Genetika és Biotechnológiai Intézet, Gödöllő

Bevezetés

Az előző részben (Agrofórum 2012. 23./7. száma) bemutattuk a rizikótényezők két fő csoportját és az azokba tartozó kockázatokat. Az egyik csoportba a géntechnológia kutatási és fejlesztési hiányosságaira visszavezethető veszélyforrásokat, a másikba a transzgénikus fajták termesztése és felhasználása során jelentkező kockázatokat soroltuk (1. ábra). Ebben a részben az első, tehát a géntechnológia elméleti hiányosságaira és módszertani korlátjaira visszavezethető veszélyeket ismertetjük, melyek számos genetikai és ökológiai kockázat forrása-ként jelentkezhetnek a GM-fajták termesztése és felhasználása során.

A géntechnológia K+F+I hiányosságainak okai

A jelenleg termesztésben lévő transzgénikus (GM) fajták egy elha-

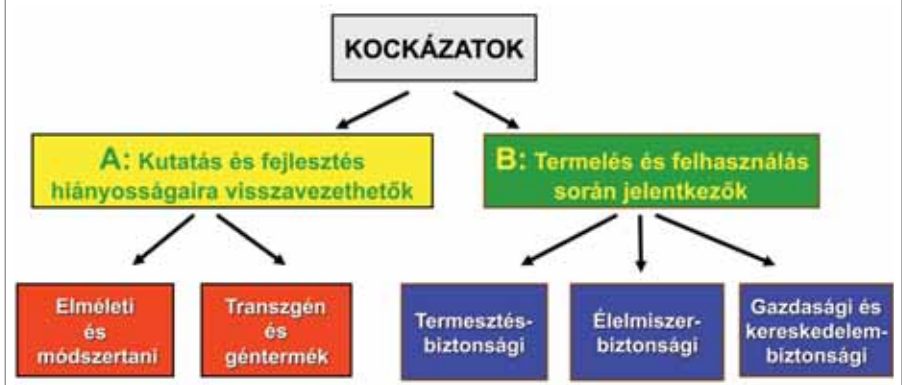
markodott, nem kellő alaposággal megtervezett és kivitelezett kutatás-fejlesztés-innováció (K+F+I) eredményei. Ennek *legfontosabb oka az a molekuláris nemzetközi verseny*

volt, ami az első gazdaságilag jelentős GM-növények sikeres előállításáról szóló tudományos publikációk megjelenését követően, az 1980-as évek második felében indult, a

A jelenleg termesztett transzgénikus (GM) fajták kockázatai két fő csoportra oszthatók:

A: A kutatás és fejlesztés hiányosságaira visszavezethető veszélyforrások (részletesen lásd a 2., 5. és 6. ábrákon)

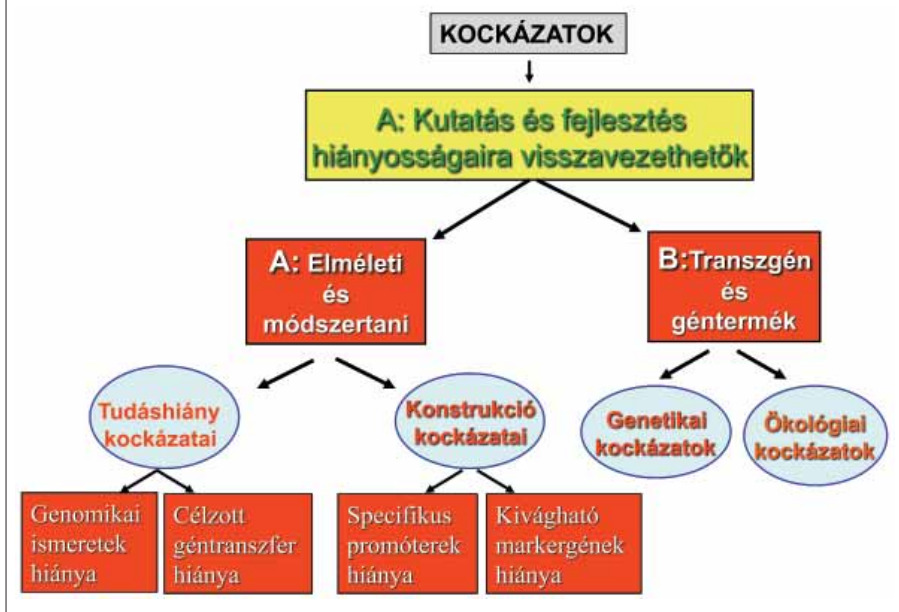
B: A fajták termesztése és alkalmazása során jelentkező kockázatok, melyek általában az A. pontban jelzett hiányosságok következményei (részletesen a sorozat következő részeiben mutatjuk be)



2. ábra

A jelenleg termesztett transzgénikus (GM) fajtáknak a kutatás és fejlesztés hiányosságaira visszavezethető veszélyforrásai:

- A: Elméleti és módszertani hiányosságok veszélyei, amiket részletesen ez az ábra mutat be
- B: A transzgén (génkostrukció) hiányosságai és a transzgén terméke által okozott problémák, amiket részletesen a 3. és 4. ábra mutat be



transzgénikus növények globális piacainak megszerzéséért. A világ vezető tudományos lapjaiban (Nature és Science) publikált nívó értékű tudományos eredmények során alkalmazott módszereket és génkonstrukciókat a cégek zöme sajnos változatlanul, vagy minimális változtatással használta fel az új GM-fajták előállítására. Utólag már nyilvánvaló, hogy ez nagy hiba volt, mert a génkonstrukció hiányosságai napjainkra számos termesztési és fogyasztási kockázat forrásaivá váltak. *A cégeket akkor azonban csak egy dolog érdekelte, a prioritás, és az arra alapozott szabadalmi védelem.* Ebben a periódusban, a nemzetközi kereskedelemben versenyképes, szabadalommal védett GM-fajták előállítása volt az elsődleges cél, és sokkal kisebb figyelmet szenteltek a fogyasztói igényeknek, a termesztés és felhasználás rövid- és hosszú távú kockázatainak.

Valószínűleg ez a versenyhelyzet az oka annak is, hogy a jelenleg a globális GMO-vetőmagpiacot uraló *öt világcég végül is félkész termékeket dobott a piacra* az elmúlt 15 évben. A félkész termékek alatt azt kell érteni, hogy a GM-fajták ugyan produkálják azokat a módosított tulajdonságokat (herbicidtolerancia,

rovarrezisztencia), amit a fajtatulajdonosok állítanak, de nem képesek megakadályozni a génáramlást és génmegszökést, ami miatt a GM-fajták folyamatos fertőző forrást jelentenek a hagyományos és különösen a biotermesztés számára. Napjainkra bebizonyosodott, hogy az elsőgenerációs GM-fajták az előbb említettekén kívül számos „gyermekbetegséggel” küzdenek, me-

lyek alapot szolgáltatnak a GMO-t ellenző civil szervezetek kampányaihoz. A jelenlegi GM-fajták sajnos „sok sebből véreznek”, ezért a GMO-ellenes kampányok sok esetben értő fülekre találnak a civil lakosság köreiből, az egész világon.

A jelenleg termesztett transzgénikus (GM) fajtáknak a kutatás és fejlesztés hiányosságaira visszavezethető veszélyforrásait az:

- A/ elméleti és módszertani hiányosságok (tudáshiány kockázatai),
- B/ a transzgén DNS genetikai kockázatai,
- C/ a transzgén fehérje termékeinek ökológiai kockázatai jelentik (2. ábra).

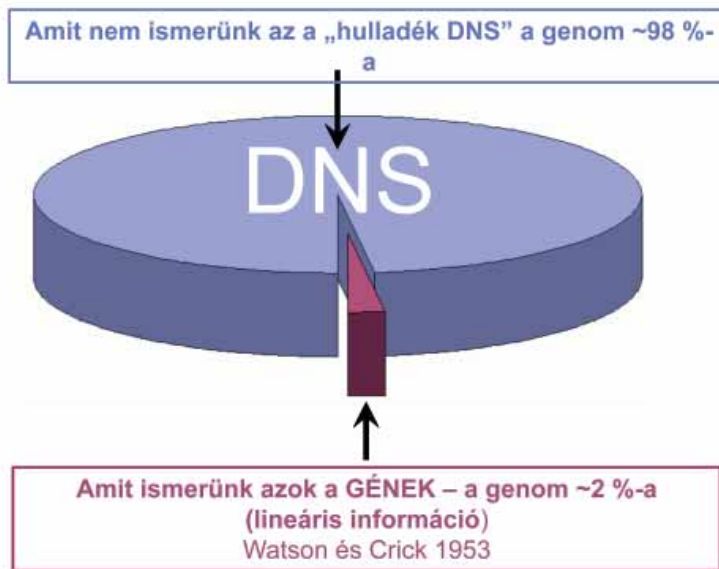
A./ Elméleti és módszertani hiányosságok (2. ábra)

1/ *A tudáshiány* legjelentősebb bizonyítékára az elmúlt évtizedben derült fény. Bebizonyosodott, hogy csak a lineáris információ génjeit ismerjük, mely a genetikai információt hordozó molekulának (DNS) csak 2 %-át jelenti. A magasabb rendű élőlények örökítő anyagának 98 %-áról szinte semmit sem tudunk, pontosabban ma már tudjuk, hogy nem hulladék vagy „szemét”, mint azt korábban gondoltuk, sőt nagy valószínűséggel a génregulációban játszik szerepet (3. ábra). Ha ez igaz, akkor a következő évek felfedezései

3. ábra

Az ember, állat, növény teljes genetikai információját tartalmazó DNS (genom) teljes méretének csak körülbelül 2 %-át – a lineáris kódot – fejtette meg a tudomány.

A 98 % – ma még hulladéknak tartott DNS – kódja és funkciója még felfedezésre vár.



nagy hatással lehetnek a géntechnológiára és sok mindenben, esetleg alapjaiban módosíthatják ismereteinket, tökéletesíthetik a jelenleg alkalmazott módszereket. (További részleteket ld. az Agrofórum 2008. 19/12./Mellékletben.)

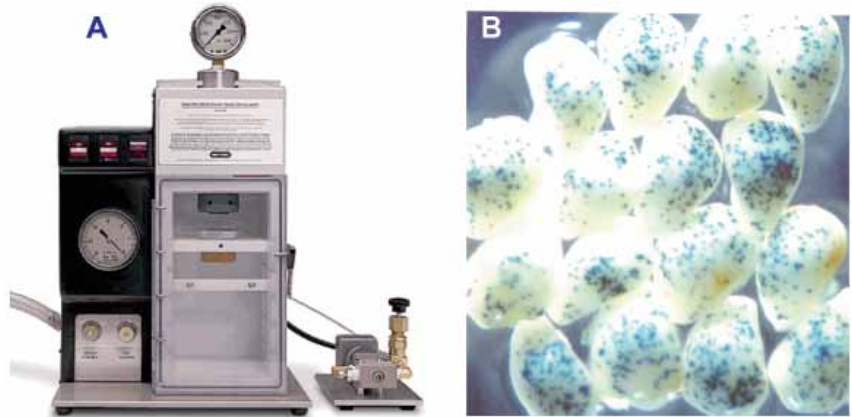
A jövő kutatási feladata: Meg kell ismerni a genom 98 %-át kitevő – nem lineáris információt hordozó – DNS „kódját” és a tárolt információt, valamint annak funkcióját (3. ábra).

2/ A géntranszfer technikák tökéletlenségét bizonyítja, hogy sok esetben egy „sörétes puskával” löjünk be a transzgenek ezreit a sejtekbe, nem tudva azt, hogy közülük hány és főleg hova integrálódik (4. ábra). Ez a megközelítés pillanatnyilag karikatúrája a génmérnökség (genetic engineering) szóhasználatnak. (További részleteket ld. Az Agrofórum 2011. 22/2. számában.)

Kutatási feladat: Tökéletesíteni kell a géntranszfer-technikákat, melyekkel lehetővé válhat a transzgen célzott bevitele és integrációja a genom megfelelő helyére, továbbá optimalizálható az integrálódó kópiaszám.

3/ **Specifikus promóterek hiánya** miatt a transzgenek működése nincs megfelelően szabályozva a jelenleg köztermesztésben lévő rovarrezisztens GM-fajtákban. Minden kereskedelmi fogalomban lévő GM-fajtában a transzgenek működését kivétel nélkül konstitutív promóter szabályozza. A transzgenek ezért, a GM-fajták növényeinek minden sejtjében, a növények egész élete folyamán működnek. Emiatt például a rovarrezisztens GM-kukorica minden sejtje termeli a toxint, holott a moly esetében elég lenne a szár sejtjeiben, a bogár esetében pedig a gyökér sejtjeiben termeltetni a rovarölő fehérjét. A Bt-toxin ezért jelen van minden rovarrezisztens GM-növényből készült élelmiszerben és takarmányban. Ez a hiányosság a legfőbb kiváltó oka azoknak a környezeti- és élelmiszer-biztonsági kockázatoknak, melyek jogosan merülnek fel, mind a környezetvédők, mind a fogyasztók részéről. (További részleteket ld. Az Agrofórum 2010. 21/5.; 2011. 22/1.; 2012. 23/4. és 23/5. számaiban.)

4. ábra
A kultúrnövények, különösen az egyszikűek esetében leggyakrabban használt génpuskával (A), sörétes puskához hasonlóan lövik be a transzgeneket a célsejtekbe. A siker nem a pontos molekuláris célzás, hanem az óriási sejtszám és vakszerencse függvénye, amit a GUS riporter génnel kékre festődött találati helyek is mutatnak (B) rizs embriókon.



Kutatási feladat: A génműködés szabályozásával kapcsolatos ismeretek bővítésével el kell érni, hogy transzgen a GM-növény fejlődésének csak egy meghatározott szakaszában, és csak a megfelelő szervben vagy szövetben működjön, továbbá, hogy a transzgenek be- és kikapcsolhatók legyenek a GM-növények élete folyamán.

4/ **Markergén kivágó rendszerek hiánya.** A markergén szerves részei a génkonstrukciónak. Alkalmazásuk megkönnyíti, kloroplasztisz-transzformáció esetében lehetővé teszi, a transzformáns sejtek és növények szelekcióját. A kloroplasztisz-transzformánsokból azonban ki kell vágni az antibiotikum rezisztenciagént, mert annak jelenléte egy természetesen kerülő GM-fajtában, az EU-ban nem engedélyezett. (További részleteket ld. az Agrofórum 2011. 22/10. számában.)

Kutatási feladat: Markergénmentes technikák kidolgozása és bevezetése a sejtmag transzformánsoknál, és markergén kivágást biztosító stabil rendszer (pl. cre-lox rendszer) kidolgozása és bevezetése a kloroplasztisz-transzformánsoknál.

B./ Transzgen (DNS) genetikai kockázatai (5. ábra)

A transzgen, az evolúció által létrehozott természetes (vad típusú)

génnel azonos DNS építőelemek sorozatából áll, a kódja is azonos, és ugyanolyan elvek szerint működik. A különbség csak annyi, hogy a transzgen egyes elemei különböző élőkből (vírus, baktérium, állat, ember stb.) származhatnak. Abban az esetben, ha a GM-növényt közvetlenül élelmiszerként fogyasztjuk, a **transzgen DNS-nek** – a fenti azonosságok miatt – elvileg az emésztőcsatornában teljesen le kell bomlania, hasonlóan a hagyományos növényi élelmiszerekben lévő természetes génekhez. Ugyanez vonatkozik a transzgenikus növényekben működő állati vagy bakteriális génekre is. Napi táplálkozásunk során ugyanis különböző hagyományos állati (pl. tej, tojás, hús stb.) vagy mikroba (pl. tej, sajt, kefir, túró stb.) eredetű élelmiszereket fogyasztunk, amivel folyamatosan nagy mennyiségű állati és mikroba gént juttatunk be szervezetünkbe. Szervezetünk az evolúció során ehhez alkalmazkodott, és az idegen DNS-t, eredettől függetlenül, építőelemeire bontja.

A transzgennek a természet és felhasználás során azonban további veszélyei lehetnek, ezek közül a legfontosabbak következők:

5/ **A génáramlás, génmegszökés** jelenti a legnagyobb természetési kockázatot a biotermesztők, és hagyományos fajtákat termesztők számára. Ennek oka, hogy a GM-fajták pollenje és szaporítóanyaga (mag,

dugvány, rügy, hagyma, gumó stb.) is tartalmazza a transzgént. Ennek következtében a GM-fajták mezőgazdasági termesztése során – főleg az idegentermékenyülő (szélporozta, rovarporozta) erdészeti, kertészeti és gyepalkotó fajok esetében – megakadályozhatatlan a transzgén megszökése pollennel (biológiai úton), vagy a szántóföldi, kertészeti és erdészeti fajok szaporítóanyagainak keveredésével (fizikai úton). A génáramlás és génmegszökés veszélyezteti a természet biodiverzitását, valamint a hagyományos és biotermesztést, továbbá az élelmiszer-biztonságot. A legszigorúbb koegzisztencia törvényben foglalt előírások is csak rövid ideig tartó átmeneti megoldást jelenthetnek. *(További részleteket ld. az Agrofórum 2008. 19/12. M; 2010. 21/5.; 2011. 22/5. és 22/ 6.; 2012. 23/3. számaiban.)*

Kutatási feladat: A génáramlás kiküszöbölése érdekében el kell érni, hogy a pollen ne tartalmazza a transzgént, vagy legalábbis ne működőképes állapotban.

A génáramlás és génmegszökés, valamint a koegzisztencia témakört, különös jelentősége miatt, külön részben mutatjuk be.

6/ **Új vírusok megjelenése** is felmerült azoknál a vírusrezisztens transzgenikus növényeknél, melyek genomjába valamilyen vírusgén (pl. burokfehérjégen stb.), vagy vírus-DNS egy fragmentuma integrálódott. A feltételezés arra alapul, hogy a GM-növények sejtjében a vírusgénekről (RNS, DNS) szintetizálódó vírus nukleinsavak rekombinálódhatnak a növényt fertőző vírus örökítő anyagaival (RNS-sel), ami új agresszív vírusformák keletkezésével járhat. Emellett megváltozott fenotípusú vírusok jelenhetnek meg a transzenkapszidáció során. Annak ellenére, hogy ezen folyamatok bekövetkezésének a valószínűsége rendkívül kicsi, a vírusrezisztens transzgenikus növények lassan terjednek a világban.

Kutatási feladat: Olyan megközelítések kidolgozása és alkalmazása, melyek 100 %-os rezisztenciát eredményeznek, és nem járnak rekombináns vírusok megjelenésével.

7/ **Antibiotikum rezisztenciagének** mint markergének alkalmazásának legnagyobb veszélyforrását a kérődző állatfajok jelentették. A többgyomrú állatok emésztésében

óriási szerepe van a bendő baktériumflórájának. Az antibiotikum rezisztenciagént tartalmazó növény fogyasztása esetén – ha kis valószínűséggel is, de – bekövetkezhet olyan rekombináció, ami antibiotikum-rezisztens baktériumtörzseket eredményezhet. A köztermesztésben lévő GM-fajták közül jelenleg csak az Amflóra burgonyafajta tartalmaz antibiotikum (kanamicin) rezisztenciagént *(neomicin-foszfotranszferáz gén)*.

Felhasználásuk napjainkra jelentősen visszaszorult, többek között azért, mert az EU-ban nem kaphat termesztési engedélyt olyan GM-fajta, ami antibiotikum rezisztenciagént tartalmaz. Alkalmazásuk jelenleg leginkább laboratóriumi kísérletekre korlátozódik. A köztermesztésben lévő GM-fajtákban ma már szelektálható markergénként a herbicidrezisztencia-géneket (Finale) alkalmazzák.

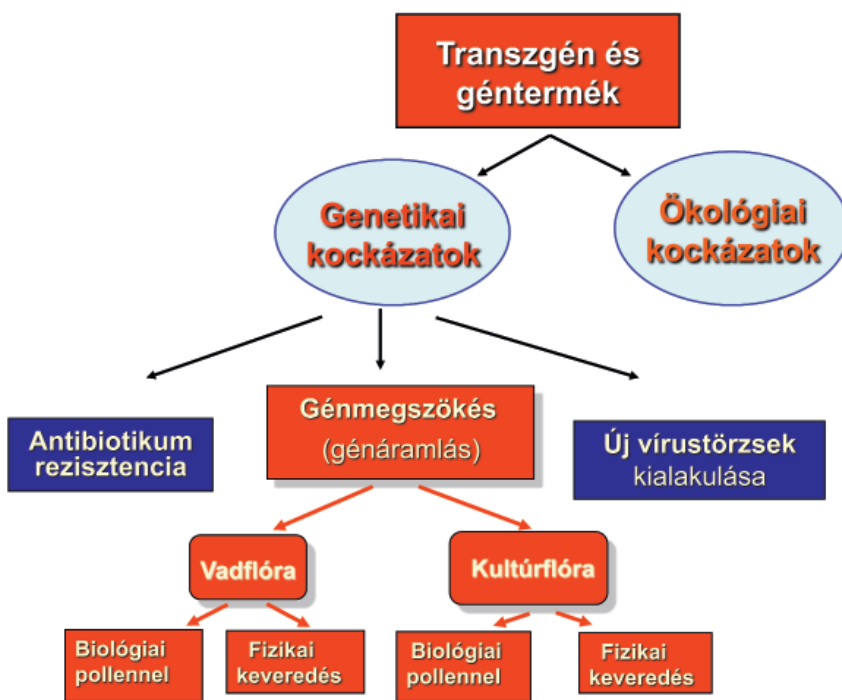
C./ Transzgén termék (fehérje) ökológiai kockázatai (6. ábra)

A transzgén terméke egy fehérje vagy enzimfehérje, az utóbbi valamilyen további szintézist katalizál, mely során a GM-növényben újabb molekulák fehérjék, szénhidrátok, zsírsavak vagy antitestek stb. termelődhetnek. Az új, idegen vagy rekombináns fehérjék a promotortól függően a növény minden szervében és sejtjében, vagy csak bizonyos szerveiben és sejtjeiben termelődnek. A transzgén termékével (fehérje) kapcsolatban fontos szempont, hogy ismerjük azok hatását a természetes flórára, faunára, kultúrflórára, az emberre és a célzott és nem célzott élővilágra. Toxikológiai, allergológiai tesztek, állatetelési kísérletek szükségesek ahhoz, hogy a környezetre veszélyes génkonstrukciókat és az azokat hordozó GM-növényeket még a kísérleti stádiumban ki lehessen szűrni.

8/ **A nem célzott hatások** a növény minden sejtjében termelődő fehérjék, különösen a kórokozók és kártevők vagy gyomnövények elpusztítása céljából termelt fehérjék esetében merülhetnek fel. A kockázatelemzéseknek ezekben az ese-

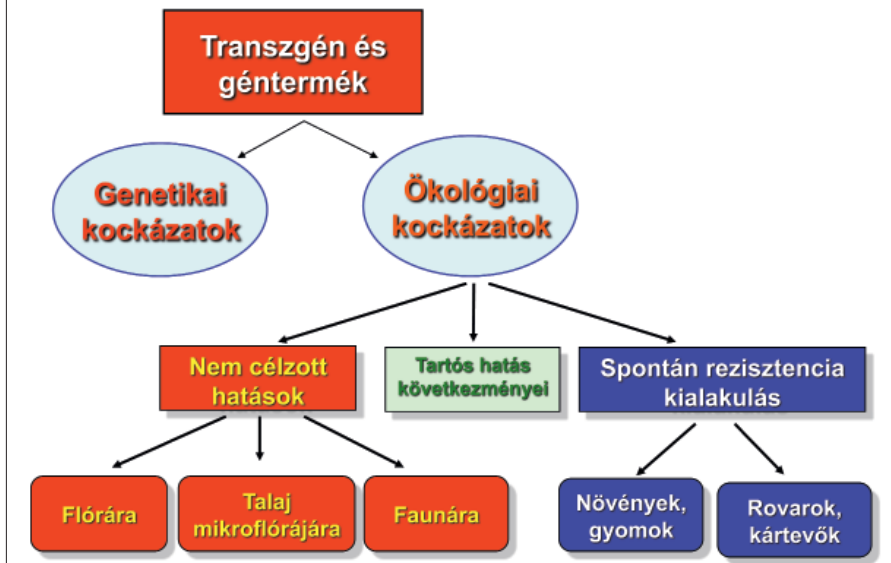
5. ábra

A jelenleg termesztett transzgenikus (GM) fajtáknak a transzgén (génkonstrukció) hiányosságaira és a transzgén termékére visszavezethető genetikai veszélyforrásai



6. ábra

A jelenleg termesztett transzgénikus (GM) fajtáknak a transzgén (génkostrukció) hiányosságaira és a transzgén termékére visszavezethető ökológiai veszélyforrásai



tekben ki kell térnie minden olyan állat- és növényfajokra, melyek a transzgén termékével kapcsolatba kerülhetnek. Nem elegendő tehát csak a célzott fajokat vizsgálni.

Kutatási feladat: a konstitutív promóterek helyett szövet- vagy szeruspecifikus működést biztosító promóterek keresése, továbbá olyan technológiák kidolgozása, melyekkel a transzgén működése a tenyésztési folyamán be- vagy ki-kapcsolható. Ezekkel a nem célzott és tartós hatások időben és térben jelentősen szűkíthetők.

9/ **Tartós hatásokkal** kapcsolatban ma még kevés adat áll rendelkezésre. Ennek legfontosabb oka, hogy a világon egyedül az USA rendelkezik 15 éves termesztési tapasztalattal. A tartós hatások tehát csak

ott, és ma még nem túl hosszú periódusra vonatkozó adatok alapján elemezhetők.

Kutatási feladat: A tartós hatások vizsgálatát azonban nem szabad csak a transzgén termékére korlátozni, hanem vizsgálni kell továbbá a géntechnológia által megváltoztatott technológiai körülményeket is. Ilyen például a herbicidrezisztens növények esetében a glifozát tartós alkalmazásának hatása a talajéletre, a talajvízre vagy a gyomokra. A rovarrezisztens GM-növények esetében pedig ilyenek a Bt-toxin nagyobb mennyiségéből és lassabb lebomlásából adódó környezeti problémák, valamint nem célzott hatások.

10/ **Rezisztens kártevők és gyomok** jelenhetnek meg a GM-táblák-

ban. A jelenleg köztermesztésben lévő rovar- és herbicidrezisztens GM-fajták termesztése során nem lehet megakadályozni a rovarölő toxinnak (például Cry-fehérjék) ellenálló ún. rezisztens (mutáns) kártevők és a totális herbicideknek (például glifozát) ellenálló ún. toleráns gyomok kialakulását. Ezek felszaporodását követően a GM-fajták lényegében elvesztik azokat a előnyös tulajdonságaikat, amiért előállították őket. (További részleteket ld. az Agrofórum 2010. 21/5.; 2012. 23/3. számaiban.)

Kutatási feladat: Minimálisra kell csökkenteni a rezisztens kórokozók és kártevők, valamint gyomok kialakulásának valószínűségét, és meg kell oldani a rezisztens mutánsok elpusztítását.

A növényi géntechnológia K+F+I fentiekben bemutatott hiányosságai, komoly veszélyforrást és sokféle kockázatot, némely esetben konkrét kárt eredményezhetnek a GM-fajták kereskedelmi forgalomba kerülését követően.

A GM-fajták termesztése és felhasználása során bekövetkező termesztésbiztonsági, élelmiszer-biztonsági és gazdasági veszélyekkel, kockázatokkal a következő részekben foglalkozunk.

A kutatás a TAMOP-4.2.2/B-10/1-2010-0011 „A tehetség-gondozás és kutatóképzés komplex rendszerének fejlesztése a Szent István Egyetemen” c. pályázat támogatásával valósult meg. ■

SZINES