

Mik azok a GMOk?

Tegyük föl magunknak egy elsőre egyszerűnek tűnő kérdést: Mik azok a GMOk? Mitől lesz egy élőlény GMO, egy másik meg nem? Kedves olvasó, gondolkodj el ezen egy pillanatra! Szerencsére akad [hivatalos meghatározása](#) is a GMOknak, ha már alkotmányban tiltjuk a termesztésüket, nyilván egyszerű, frappáns, hiszen tudjuk, milyen óriási a szakadék a GMOk és a hagyományosan nemesített élőlények között. Olvassuk el! Oké, miért hármezer leütés hosszúságú ez a meghatározás? Miért van benne ennyi kivétel? Mik ezek a fura fogalmak, mint poliploidia indukció, protoplaszt fúzió, mutagenézis? Akkor mégsem olyan egyszerű a kérdés, hogy mi számít GMO-nak?

Kezdjük az alapoktól! A földi élőlények öröklött tulajdonságait az örökítőanyaguk határozza meg. Ez az élőlények túlnyomó többségében azt jelenti, hogy minden egyes sejtben megtalálható az egész élőlény tervrajza, ha úgy tetszik egy program, ami tartalmazza az élőlény felépítéséhez, működéséhez szükséges utasításokat. Az élőlény örökítőanyagának összességét hívjuk genomnak, gyakorlatilag ez határozza meg az összes öröklött tulajdonságát.

Az élőlények örökítőanyaga általában [DNS](#) azaz deoxiribonukleinsav, alapvetően két részből áll: Adott egy hosszú cukorgerinc, ahol deoxiribóz nevű cukormolekulák kapcsolódnak sorba egymás után, ezek teljesen egyformák a lánc egész hosszában, ezek tartják össze a molekulát. Egy ilyen lánc hossza elméletileg bármekkora lehet, az emberi [első kromoszóma](#) például 249 millió ilyen deoxiribóz egymás után kapcsolásából jön létre, egy *E. coli* baktériumsejtben egy 4,6 millió cukor egységből felépülő kör alakú kromoszóma található. Mivel egy ilyen cukorláncnak minden egysége egyforma, így adattárolásra sem alkalmas önmagában, azonban minden egyes cukorhoz kapcsolódik egy-egy másik molekula, ezek azonban már nem mind egyformák, négyféle különböző bázis kapcsolódhat minden egyes cukormolekulához, ezek az adenin (A), timin (T), guanin (G) és citozin (C). Mivel minden cukormolekulához a négy bázis bármelyike kapcsolódhat, egy ilyen DNS molekula már adathordozóként működik, hiszen az egyes bázisok sorrendje leolvasható, éppen úgy, ahogy ez a szöveg, amit olvasol, nagyon kis számú jel (betűk) sokszor egymás után írásából áll, az értelmét pedig a jelek sorrendje határozza meg. Ha úgy tetszik az örökítőanyagunk egy négybetűs ábécével írt program. A bázisokat a kezdőbetűikkel is szoktuk jelölni, például a GCGTTATCC betűsor egy olyan DNS molekulát jelöl, ahol a cukorgerincen egymás után guanin, citozin, guanin, két timin, egy adenin egy timin és két citozin bázis következik. Tulajdonképpen a teljes örökítőanyagunk semmi másból sem áll, csak egy jó hosszú cukorláncra erősített bázisokból, és az oroslán meg az ember genomja között annyi a különbség, hogy ugyanazon a cukorláncra ugyanaz a négy bázis más sorrendben helyezkedik el. Mint ahogy a telefonkönyv és az Egri csillagok között is csak annyi a különbség, hogy ugyanazokat a betűket más sorrendben írták egymás után.

A DNS-nek van még egy számunkra érdekes tulajdonsága, két szál kapcsolódik benne össze. Az egyes bázisok kölcsönhatásba lépnek egymással, az adenin a timinnel, a guanin a citozinnal alkot párt. Így ha egy DNS szállal szembe egy másikat fektetünk, amelynek a cukorgerince ugyanolyan, azonban a rajta lévő bázisok éppen az első szál bázisainak párjai, akkor a két molekula bázisai pont a nekik megfelelő bázisokkal lépnek kölcsönhatásba. Például ha az első példánál maradunk a GCGTTATCC szekvenciával szemben a másik szálon CGCAATAGG található, ha a kettőt egymás alá helyezzük, a guaninokkal szemben citozint kapunk, az adeninnel szemben timint.

A DNS ugyanis a sejtekben kettős spirálként található, két, ellentétes irányultságú molekula kapcsolódik össze, ennek köszönhetően a DNS sokszorozható, mindkét szál bázissorrendje egyértelműen meghatározza a másikat, így ha egy kettősszálú DNS molekula szállait szétválasztjuk, mindkét szál a bázissorrendje alapján kiegészíthető a másikkal, így két teljesen azonos DNS molekulát kapunk végeredményként. Ez történik minden egyes osztódáskor, minden sejtünk tartalmazza a teljes örökítőanyagunkat, ami minden osztódáskor megkettőződik.

A genom azon szakaszait, amikről úgy gondoljuk, hogy valamilyen működést végeznek, nevezzük géneknek, tehát egy gén nem más, mint egy megfelelő bázissorrendű szakasz egy DNS molekulából, semmi sem különbözteti meg a genom többi részétől, csak az, hogy ez a szakasz

csinál is valamit.

Ebből következik, amit a legtöbben nem veszünk figyelembe, hogy naponta szédítő mennyiségű idegen gént fogyasztunk, minden ételünk, amit megesszünk telis-teli idegen génekkel, amelyekről alig tudunk valamit. Ha mondjuk reggelire piritóst eszel lágy tojással és megiszol hozzá egy kávét, máris a szervezetedbe juttatál kb. százezer búza gént, huszonötezer kávé gént és huszonháromezer csirke gént. Ez elsőre magától értetődőnek tűnik, de egy 2004 -es [felmérés](#) szerint az USÁban megkérdezettek 40% -a úgy gondolta, hogy a sima paradicsom nem tartalmaz géneket, csak a GM-paradicsom, ami nyilván tévedés. Ugyanígy egy nemrég végzett [felmérés](#) szerint a megkérdezettek nyolcvan százaléka szerint a csomagoláson jelölni kellene a DNS tartalmú élelmiszereket, aminek sok értelme nem lenne, mert minden ételünk tartalmaz DNS-t, még az ásványvíz is, így mindent egyformán meg kellene jelölni. Naponta gének százazreit esszük-isszuk, a bőrünk, a bélcsatornánk telis-telis mindenféle fura géneket tartalmazó apró élőlényekkel, szemmel láthatóan semmi bajunk sincs attól, hogy naponta fürdünk idegen DNSben.

Azonban bár minden sejtosztódáskor a teljes genom átíródik, ez általában nem hibamentes. Időnként bizony valami félrecsúszik, megváltozik az örökítőanyag, ezeket a változásokat nevezzük [mutációknak](#). A lényeg, hogy minden öröklődő változás azt jelenti, hogy valami megváltozott a genomban, az adott élőlény örökítőanyaga különbözik a szüleiétől. Ha egy kukorica más színű, ízű, formájú, ellenálló egy betegségre, stb. mint a másik, az azt jelenti, hogy valami megváltozott az örökítőanyagában, megváltozott a genomja, ha úgy tetszik megváltoztak a génjei. A növénynevelés gyakorlatilag huszadik század elejéig annyit jelentett, hogy időnként véletlenszerű változások történtek a termesztett növények örökítőanyagában, vagyis teljesen véletlenszerűen ismeretlen pontokon, ismeretlen módon megváltozott az élőlények genomja, ha a termesztők ezt észrevették és elszaporították, akkor ezek a változatok megmaradtak. Így jött létre az összes "tájfajta", mindegyikük ismeretlen mennyiségű és minőségű mutációt hordoz. Na de ez mekkora különbséget jelent a gyakorlatban? Mutatnék néhány példát:

Az első példánk az USÁból származik. Még a negyvenes években, találtak egy kukoricaegyedet a Golden June törzsben, amelyik nem hozott virágot. Mivel a tulajdonság hirtelen jelent meg, a törzs többi tagja nem mutatta, nyilván egy új mutáció eredményeként jött létre. Mivel a véletlen mutációkkal létrejött növényekre semmilyen szabályozás sem vonatkozik a mai napig sem, azonnal termesztethetőek, embereknek föltálalhatóak, el is kezdték használni. A hímsterilitás értékes tulajdonság, mivel ezzel kiváltható a címerezés (=kézzel letörök az éretlen porzós virágot, hogy ne tudja saját magát megtermékenyíteni a növény) elég időigényes (=drága) művelete. Mivel 1952 -ben leközölték, hamar elterjedt a használata, 1968 -ra már az USÁban vetett kukoricák kilenctizede hordozta ezt az új, cms-T -nek elnevezett mutációt. Ekkor ütött be egy gombafertőzés, amire a cms-T növények különösen érzékenyek bizonyultak, 1970 -ben az USA kukoricatermesztésének 15% -át elvitte a járvány. A vetőmaggyártók gyorsan léptek, felismerték, hogy a cms-T mutáció teszi érzékennyé a növényeket és egyszerűen cms-T mentes törzseket készítettek. Utólag derült ki, mi [történt valójában](#) : A kukoricában véletlen mutációk hatására egy teljesen új gén jelent meg, ami egy teljesen új fehérjét kódolt, ami érzékennyé tette a növényt a gombafertőzésre. Ez a fehérje (Urf13) sehol sem létezett előtte, még csak nem is egy másik növényből vagy baktériumból került a kukoricába, a "semmiből" jött létre frissen.

Ez az egy szem példa azonnal egy csomó dogmát megdőnt, amit a GMO ellenzők pufogtatni szoktak. Mutációk folyamatosan hoznak létre új géneket, új genetikai anyagot, a hagyományos nevelés bizony minden ellenkező híreszteléssel szemben nem csak a meglévő génekből dolgozik, hanem vadonátújakat is felhasznál. A másik dolog, hogy a véletlen (= "természetes") mutációk bizony lehetnek hátrányosak is, vagy éppen előnyösek, de mint a mellékelt ábra mutatja, még olyan is akad, amelyik a környezettől függően lehet előnyös vagy hátrányos. Gondoljunk bele, bármelyik GMO ellenző azonnal oldalakat tud írni arról, hogy miért veszélyes ha egy kukoricatörzs egyetlen

fehérjekódoló génben különbözik a másiktól, hiszen az, mint a mellékelt ábra mutatja, lehet, hogy érzékenyebbé teszi egy kórokozóra, lehet, hogy rákkeltő vegyületet termel, lehet, hogy új allergén, vagy hogy a természetben valami elképesztően káros folyamatot indít el, amit senki sem látott előre, ráadásul könnyen lehet, hogy a káros hatások csak évtizedek múlva jelentkeznek. Mi történhet, ha ez a gén kiszabadul és elterjed a természetben, mi lesz ha új szupergyomok jönnek létre ebből a teljesen ellenőrizetlen génszennyezésből? No itt az élő példa, hogy bármelyik új növényfajta, tájfajta tartalmazhat új allergéneket, termelhet rákkeltő melléktermékeket, stb. mégis ezeket azonnal emberi fogyasztásra is felhasználhatod, semmilyen biztonsági ellenőrzés sem szükséges hozzá. Na jó, de biztos ez csak valami ritka kivétel! Hát nem, például egy [közleményben](#) a két kukoricatörzs genomját hasonlították össze, mindkettő hagyományosan nemesített kukorica, megdöbbenő módon azt találták, hogy az egyik száznyolcvan olyan gént tartalmaz, ami hiányzik a másik genomjából. A száznyolcvan gén bármelyike lehet allergén, termelhet rákkeltő mellékterméket, teheti a növényt érzékennyé egy fertőzésre, stb. Ettől természetesen Magyarországon akár cms-T kukoricát is? Persze, minden további nélkül, hiszen mi baj lehetne belőle?

A második példám egyszerre származik Chiléből és Kínából, mindkét országban ismert kék tojásokat tojó tyúkfajta, az Araucana és a Tengsziang. Igazából semmilyen különleges előnye sincs a többi csirkéhez képest, csak éppen kék színű a tojása, izgalmas újdonságként forgalmazzák az USÁban, holott elég régi fajta. Viszont azt is tudjuk, éppen mitől rak kék tojásokat, mindkét fajtában egy [retrovírus genom](#) egy szakasza épült be a csirke genomba egymástól függetlenül kb. ugyanoda Amerikában és Ázsiában is. Képzeljük el, hogy holnap a Monsanto bejelenti, hogy van egy új csirkefajtájuk, aminek a genomjába pakoltak egy fél retrovírus genomot. Maguk is elismerik, hogy semmilyen érzékelhető előnye sincs, de minden hatásvizsgálat nélkül azonnal szeretnék emberi fogyasztásra is felhasználni. Azonnal kitörne a botrány. De így, hogy véletlen került oda, senkit sem érdekel, máris azonnal biztonságos, hiszen mi baj lehetne belőle?

A harmadik példánk a Szovjetunióból származik, Grigorij Karpecsenkó 1928 -ban közölte le a keresztezési kísérleteinek az eredményét. Eredetileg retek (*Raphanus sativus*) és káposztát (*Brassica oleracea*) keresztezett egymással, a lehető legegyszerűbb módon, az egyik növény virágporát a másik bibéjére vitte át, ahogy bármelyik méhecske vagy egy kósa szellő is megtenné. Ezek után figyelte mi történik. Nagyrészt semmi, a keresztezésből kikelő növények terméketlenek lettek, egyértelműen két külön fajról van szó. Azonban mivel elég sok ilyen növényt végignéztek, találtak egyetlen egy kivételes egyedet, amelynek az egyik hajtásán néhány termékeny virágot fedeztek fel. Ezekből magokat sikerült nyerni, amelyekből új növények keltek ki, amelyek életképesek voltak, egymás között korlátlanul termékenyek, de sem a káposztával sem a retekkel sem keresztezhetőek már, egy teljesen új, harmadik faj jött létre, amit *Raphanobrassicának* neveztek el. Ebben az esetben az történt, hogy a káposzta sejtmagjában is kilenc pár kromoszóma található, a retekében is. Mivel a többsejtűekben általában minden génünkben két példány található, az egyiket az apánktól örököljük, a másikat az anyánktól, a keresztezés után létrejövő növények sejtmagjában is kilenc pár kromoszóma került, kilenc retek és kilenc káposzta kromoszóma. Ezek így terméketlenek voltak, mivel ivarsejtképzéskor elég komoly zavart okozott, hogy a magi genomjuk két fele különbözött, az egyes kromoszómák ne tudtak egymással rendesen párosodni ivarsejtképzéskor. A megtalált növényen viszont egy mutáció következtében minden kromoszóma megkétszereződött, vagyis a *Raphanobrassicának* nem kilenc pár kromoszóma terpeszkedik a sejtmagjában, hanem tizenennyolc pár. Kilenc pár retek kromoszóma, azaz egy teljes retek genom és mellette kilenc pár káposzta kromoszóma, azaz egy teljes káposzta genom. Itt egyetlen hirtelen mutációval nem egy új gén került be a genomba, hanem néhány tízezer, a *Raphanobrassica* genomja a retek és a káposzta genomjának az összege. Most vegyük végig az összes GMO ellenes érvet, amit egyetlen gén a genomba illesztéséről írtak össze, és nyugodtan szorozzuk meg húszszerrel! Ennyire veszélyes a *Raphanobrassica*. Természetesen teljesen szabadon termelhető, emberi fogyasztásra is azonnal felhasználhatnám, ha akarnám, sőt, ugyanezt a módszert követve bármikor hozzácsaphatnám valami mexikói gaz teljes genomját a kukorica genomhoz, és másnapról

árulhatnám a piacon a több tízezer vadonatúj génnel kiegészített kukoricámat, hiszen ez nem számít GMOnak, mi baj lehetne belőle?

A huszadik század derekán rájöttek arra is, hogy mutációkat elő is lehet idézni, nem feltétlenül kell megvárni, amíg maguktól történnek, [Müller](#) 1927 -ben írta le az első mutagént, a röntgensugárzást, amivel ecetmuslicákban sikerült mutációkat létrehozni. Ha elolvastuk a hivatalos meghatározást, tudjuk, hogy a maguktól történt és szándékosan előidézett mutációk egyaránt nem számítanak GMOnak, tehát semmilyen kockázatbecslés, vagy biztonsági vizsgálat sem szükséges, mielőtt az asztalodra kerülnek. Magyarul a "hagyományos nemesítés" legalapvetőbb eljárása annyi, hogy megpörgetjük a genetikai szerencsekereket, kijön belőle valami amiről semmit sem tudunk, amit azonnal, minden ellenőrzés nélkül el is adhatunk a piacon, hiszen nem GMO, mi baj lehetne belőle?

Az első három példával még nem léptünk ki az emberi beavatkozás nélkül történt véletlen (= "természetes") mutációk köréből, de a harmadik példánk a *Raphanobrassica* (hasonlóan készült a *Tritikálé* is, ahol a búza genomhoz hozzátettek egy teljes rozs genomot) már egy fontos előremutató lépés: Nem teljesen irányítatlan folyamatok terméke, hiszen a nemesítő dönti el, melyik két növény genomját olvasztja össze, így legalább valamilyen elképzelése lehet arról, milyen végeredményt szeretne látni. Ezt a célt aztán vagy sikerül elérni, vagy nem, a *Raphanobrassica* esetében az eredeti cél egy olyan növény lett volna, aminek a levele és a gyökere is nagy, ehető, mint a káposztáé és a reteké. Sajnos a végeredményként kapott növénynek a levele és a gyökere is kicsi, így nem is terjedt el, mint haszonnövény. A *Tritikálé* esetében már jobban sikerült a dolog, a rozs betegségekkel szembeni ellenállását és igénytelenségét szerették volna ötvözni a búza hozamával, ez félig-meddig sikerült is, a *Tritikálé* most is vetett haszonnövény. Viszont ez a módszer nyilvánvalóan nem kielégítő megoldás, nem érdemes minden hasznos gén mellé húszezer másikat a genomba erőltetni.

A megoldást a genetika egyik alig ismert hőse szolgáltatta. Az ókor óta ismert gabonakártevők a különböző levélrozsda-törzsek, ezek növényi kórokozó gombák, *Pucciniák*nak hívják őket, ha megtámadják a búzát, erősen csökkentik a terméshozamot. Már az ókori rómaiak is felismerték a rozsdafertőzés veszélyeit, ők a leírások szerint vörös szőrű állatokat, kutyákat, rókákat és teheneket áldoztak [Robigonak](#) a gabonarozsda istenének egy tavaszi Robigalia nevű ünnepség keretében, hogy kímélje meg a gabonát a gombafertőzéstől. Ez a módszer érthető módon a kevésbé hatékony eljárások közé tartozik. A működő megoldást [Ernest Robert Sears](#) szolgáltatta, annak idején 1956 -ban közölte le a kísérletei eredményét. Abból indult ki, hogy akadnak olyan kalászos növények, amelyek vadon nőnek és láthatóan teljesen ellenállóak a gabonarozsdának, az egyik kecskebúza faj (*Aegylops umbellulata*) például ilyen, teljesen ellenáll a levélrozsdnak, nyilván valami olyan gént hordoz, amelyik az összes levélrozsda törzs ellen megvédi. Kézenfekvő lett volna ezt a gént bejuttatni a búza genomjába, de ez nagyon nehéznek tűnt, mivel a kecskebúzáat nem sikerült kereszteznie a termesztett búzával. Ellenben Sears megfigyelte, hogy a kecskebúza keresztezhető a vad tönkebúzával. Ez a kecskebúza - tönkebúza hibrid már keresztezhető volt búzával is, az utódok valamennyire termékenyek maradtak, így sikerült átvinnie a kecskebúzából a rozsdarezisztanciagént termesztett búzába. Ez után elkezdhetette a munka nehezét: Annyira le kellett csökkentenie a bejuttot idegen gének számát, hogy valami búzára emlékeztető termés legyen belőle. Először két nemzedéken át termesztett búzával keresztezte a növényeit, amíg talált köztük olyan egyedeket, amelyek már csak egyetlen egy kecskebúza kromoszómát hordoztak a búza kromoszómák mellett. Ezek a növények elég betegek, alig termékenyek, a kecskebúza kromoszóma jelentősen zavarja a virágporképzést és ráadásul mindenféle növekedési zavarokat is okoz, genetikai érdekességnek jó, de a mezőgazdaságban használhatatlan. Úgyhogy Sears röntgensugárzással keményen besugározta a növényeket, aminek hatására össze-vissza törtek a kromoszómáik, remélte, hogy lesz olyan egyed, ahol a kecskebúza kromoszómáról pont a rozsda ellen védő gént tartalmazó szakasz törik le és forr oda egy búza kromoszómához. Ezen besugárzott növények virágporával kezeletlen búzanövényeket porzott meg és az utódokat egyszerűen levélrozsdával fertőzte, majd kizárólag az ellenállókkal dolgozott tovább (nyilván amelyikből elveszett a rozsdaellenállást okozó gén, számára értéktelen

volt). Körülbelül hatezer növényből negyvenet talált, amelyik ellenállónak bizonyult, ezekben a kecskebúza kromoszóma egy darabja, ami a rezisztanciagént is tartalmazta letörött és egy búza kromoszómára került át. Ezt az idegen kromoszómaszakaszt hordozó búza kromoszómát már nyugodtan be lehetett vinni különböző búzatörzsekbe, annyira kevés idegen gént tartalmazott, hogy a hordozó búzanövények életképesek és termékenyek maradtak, ráadásul ellenálltak a levélrozsdának. Sears ezzel valami olyasmit tett, ami addig senkinek sem sikerült, egy fajból egy vele nem keresztezhető másik fajba juttatott át néhány gént, méghozzá többé-kevésbé ellenőrzött módon. A [módszer](#) előnye, hogy mivel nem egyszerre több tízezer gént juttat a genomba, sokkal kiszámíthatóbb a hatása is, a nyilvánvaló hátránya, hogy ehhez egy olyan keresztezés szükséges, amely legalább valamennyire életképes utódokat eredményez. Komoly hátrány még, hogy nagyobb kromoszómaszakaszokon ismeretlen számú gén kerül át egyik fajból a másikba, amiknek a mibenlétéről a kísérletezőnek halvány fogalma sincs, vagyis Sears nem tudta, hogy egy vagy százegy gént vitt át. Később ezt a rozsdá rezisztanciagént nevezték el *lr-9* -nek, a legtöbb általunk fogyasztott búzában megtalálható. Ez a módszer szintén nem számít GMOnak, pedig idegen géneket lehet vele a genomba juttatni, igazából azt sem tudni hányat és milyeneket, bármelyik lehet új allergén, termelhet rákkeltő melléktermékeket, vagy lehet teljesen ismeretlen hatással a környezetre. Az újonnan bejuttatott gén kiszabadulhat, bármilyen gyomba átkerülhet, előre megjósolhatatlan környezeti károkat okozhat, mégis az így előállított növények bármilyen biztonsági ellenőrzés nélkül azonnal forgalmazhatóak emberi fogyasztásra is.

Már majdnem végigértünk a nem-GMOK hivatalos meghatározásán, már csak egyetlen módszer maradt, amit egyértelműen nem-GMOKént határoz meg a jogszabályalkotó, a fura nevű protoplaszt fúzó. No de mi is ez a módszer? Az eddig leírt nemesítési módszerekhez mind szükséges valamilyen élő növény, amit meg lehet termékenyíteni a megfelelő virággal, ez nyilván korlátozza, milyen növények között cserélhetőek gének, hiszen ha még egy terméketlen hibrid sem kell ki a keresztezésből a nemesítés véget ér, mielőtt elkezdődött volna. Azonban rájöttek, hogy ha növényi sejteket megfosztanak a sejtfaluktól, akkor megfelelő tápoldatban fenntarthatóak, ezeket hívják protoplasztoknak. Mi ennek a jelentősége a nemesítés szempontjából? Ezek a protoplasztok a tápoldatban gyakorlatilag bármilyen másik sejttel összeolvashatóak, majd az egyes sejtekből egész növénykévé nevelhetőek fel, így egészen távoli rokonok között is átvihetőek gének. Mutatnék egy példát, ezúttal Magyarországról: A Szegedi Biológiai Központban 1987 -ben sárgarépa és dohány sejteket olvasztottak össze miután gamma-sugárzással kezelték őket. Az eredeti répa sejtek ellenállóak voltak a metotrexátra, egy méréganyagra, a sejtek összeolvastatása után a protoplasztokból egész növényeket neveltek fel, ezek virágot is hoztak, a virágporukkal dohánynövényeket megtermékenyítve az utódaik között is találtak metotrexát-rezisztens dohánynövényeket, vagyis egyértelműen sikerült sárgarépa géneket juttatni a dohány genomba. Valakinek esetleg ismerős ez az elgondolás, ha azt mondom glifozátrezisztens kukorica, ahol egy idegen gén bejuttatásával tették ellenállóvá a növényt egy mérégre? Mégis a protoplaszt fúzió eredményeként kapott növények nem számítanak GMOnak, teljesen szabadon forgalmazhatóak, emberi fogyasztásra is azonnal felhasználhatóak, semmilyen biztonsági vizsgálat sem szükséges hozzájuk.

Ez a módszer teljesen általánosan használható, gyakorlatilag bármilyen két faj között mozgathatóak így gének, például ugyanez a csoport 1976 -ban emberi sejteket olvasztott össze sárgarépa sejtekkel, így annak sem lenne akadálya, hogy emberi géneket juttassunk a növényi genomokba. Ezzel a módszerrel egyértelműen megszűnnek a fajhatárok, egyáltalán nem szükséges még az sem, hogy valamilyen életképes, akár terméketlen hibridet képezzenek, gyakorlatilag bármilyen élőlény géneit bevihetjük vele hasznónövények genomjába. Mégis teljesen szabadon használható, láthatjuk, a törvényben külön kiemelik, hogy nem számít GMOnak, így biztosan nem is lehet veszélyes.

No és végül ennyi kitérő után eljutottunk oda, hogy mik is azok a GMOK? A meghatározás kulcsa a minisztérium oldalán annyit emlegetett "géntechnikai anyag". Mi a frász ez? Mint láttuk a korábbi

nemesítési módszerek közös hátránya, hogy egész genomokat, kromoszómákat kell egyetlen sejtmagba erőltetni, majd ezt a DNS-t valamilyen véletlenszerű módszerrel összetörni és megvárni, hogy a sejt saját DNS javító rendszerei milyen új, véletlenszerű változatokat állítanak össze belőle. No de a hetvenes évek elején jöttek rá, hogy a DNS-t nem csak véletlenszerűen lehet törölni, hanem bizony előre tervezett módon is lehet szabni-varrni, így létrehozhatóak és nagy mennyiségben felszaporíthatóak olyan DNS szakaszok is, amelyeknek pontosan ismerjük a bázissorrendjét. Ezeket a DNS szakaszokat általában *E. coli* baktériumokban szaporítják fel, mivel ezekben a sejtekben [plazmidoknak](#) nevezett körkörös DNS formájában könnyedén fenntarthatóak tetszőleges DNS szakaszok, majd utána egyszerűen nagy mennyiségű tiszta DNS nyerhető belőlük. Ez az úgynevezett géntechnológiai anyag. Nem a baktérium DNS maga, abból nyugodtan juttathatók bármilyen genomba, GMOnak csak az az élőlény számít, amelynek a genomjába valami olyan DNS szakaszt juttattak, amit előtte egy plazmidon tartottak fenn.

Ezekkel megkerülhető a hagyományos nemesítés legfőbb bizonytalansági tényezője, a nagy mennyiségű, ismeretlen információtartalmú DNS molekulák használata. A rekombináns DNS technológiával ha mondjuk Sears módszerét szeretnénk megismételni, elegendő megkeresni a genomban az *lr9* gént, az ezt a gént kódoló pár ezer bázispárnyi DNS-t kiemelni a kecskebúza genomból, majd bejuttatni a búza genomjába. A módszer előnye rögtön látható, mivel nem egy egész kalászos genomot törölnünk véletlenszerűen sugárzással, nem véletlenszerűen előállított, ismeretlen genetikai információtartalmú kromoszómaszakaszokkal bombázzuk a búza genomot, hanem egy, ezekhez képest elhanyagolhatóan rövid, pontosan ismert bázissorrendű, vagyis ismert információtartalmú DNS szakaszt juttatunk be a búza genomba. Nem kell számolnunk annak a veszélyeivel, hogy mit csinálhat a genomba az eljárás mellékhatásaként véletlenszerűen beépülő vagy éppen be nem épülő több tízezer gén, mivel ezeket eleve nem is használjuk a génmódosításhoz, a búza genom közelébe sem kerülnek. A másik óriási előny az idő, maga a DNS szabása-varrása teljesen rutinmunka, hetek alatt elkészíthető, a genomba építés nyilván növénytől függően néhány héttől néhány hónapig tart, de mivel teljesen általános, jelentősen gyorsabb (=olcsóbb), mint a hagyományos nemesítés.

A nyolcvanas évek csúcstechnológiájával, amivel például a MON810 kukorica készült, még a beépülés helyét előre nem lehetett beállítani, tehát a beépített DNS szakasz véletlenszerű helyre került a genomba, ez pontosan így történik az itt leírt nem-GM módszerek során is. A génmódosítás során éppen ezért általában nem egyetlen beépülést készítenek, hanem több tucatnyit, amik közül utólag kiválasztják, melyik került a legkedvezőbb helyre és azt használják. Ezt könnyedén megtehetik, mivel pontosan tudják milyen DNS szakaszt építettek a genomba, ezzel is a nemesítés sebességét növelve, a hasznos gén bejuttatása után nem kell nemzedékeken át visszakeresztezni a szülői törzshöz, hogy megszabaduljunk a fölöslegesen bejutott génektől, hiszen nem is juttattunk be semmilyen fölösleges genetikai információt. A mai módszerekkel (Pl. CRISPR) már ennél is tovább mehetünk, eleve a genom előre kiválasztott helyére ültethetjük be a kívánt gént, még ezt az apró bizonytalanságot is kiiktatjuk a rendszerből. Vagyis mit csinálnak a génmódosítás során? Az élőlény genomjában célzott változást idéznek elő. Ha úgy tetszik ismert módon változtatják meg a DNS bázissorrendjét. Mi történik a mutációs nemesítés során? Az élőlények genomjában véletlenszerű változásokat hoznak létre / történnek maguktól, vagyis ismeretlen módon változik meg a DNS bázissorrendje. Mi történik az újabb nemesítési módszerek (pl. protoplaszt fúzió) során? Az élőlény genomjában célzott változásokat idéznek elő, csak éppen sokkal pontosabban mint a génmódosítás során, vagyis ismert módon változtatják meg a DNS bázissorrendjét, csak éppen sokkal több hibalehetőséggel, mint a génmódosítás során. Mégis a génmódosítást tiltjuk, a többi kettőt korlátlanul engedélyezzük. Miért?

Ez a fajta megkülönböztetés egészen eszement szabályozáshoz vezet, legjobban egy példán keresztül tudnám bemutatni. A krumpli többek között különböző R génekkel védekezik a kórokozói, például a burgonyavész ellen. Ezekből az R génekből azonban nem csak a termesztett burgonya genomában akad, a krumpli vad rokonaiban rengeteg olyan R gén lapul, amelyek a házasítás során

nem kerültek be a ma ismert burgonya genomba. A termesztett krumpli azonban nem keresztezhető egyszerűen vad krumplikkal, Hollandiában készült a Bionica krumplifajta, amibe egy *Solanum bulbocastaneum* nevű vad krumplifaj egyik R génjét juttatták be, ami megvédi a burgonyavészétől. Ez a "készült" ige jelen esetben azt jelenti, hogy 1959 -ben kezdték el a nemesítést, először a *S. acaule* nevű másik vad krumplifajjal keresztezték a *S. bulbocastaneum*-ot, a hibrideket 1965 -ben sikerült egy harmadik vad krumplifajjal, a *S. phujerával* keresztezni, míg 1980 -ra jutottak el oda, hogy a termesztett krumplival történt többszöri keresztezés után valami, az általunk ismert krumplira hasonlító növényhez jutottak, ezt még röpké huszonöt éven át gyúrták, mire 2005 -ben kereskedelmi forgalomba került a Bionica krumplifajta. Röpké negyvenhat évbe került, mire nagy nehezen sikerült egyetlen új, idegen gént beerősokolni a termesztett krumpli genomjába. Hogy közben hány darab és milyen egyéb gének jutottak át, ennek az ellenőrzését senki nem várja el a nemesítőktől. A Bionica így bár vadonutój gén(eke)t tartalmaz, egy évtizeddel fiatalabb, mint az első GMOK, semmilyen hosszútávú tapasztalatunk sincs a termesztésével, a rövidtávúak is valami holland kísérleti telepen, a magyar környezettel soha semmilyen kapcsolatba sem került. Ennek ellenére, már biogazdaságokban is termesztik, láthatóan a biotermesztőknek sincs semmi kifogásuk sem az ellen, ha új, idegen géneket tartalmazó növényfajtákat termesztenek.

Ezzel szemben a kétezertizes évek elején elkészült a Fortuna krumpli is, ebbe két R gént juttattak be ugyanabból a *S. bulbocastaneum* nevű krumplifajból, mint a Bionicába tették, csak éppen rekombináns DNS technológiával, tehát nem kellett mindenféle vad krumplik génjeit véletlenszerűen kevergetni, megkeresték a szükséges két gént a kiválasztott genomban és közvetlenül a krumpli genomba juttatták, ezzel rögtön megtakarítottak néhány évtizednyi nemesítést, hiszen eleve csak a lehető legkisebb mértékben bolygatták meg a krumpli genomot. Így nem kell attól tartanunk, hogy észrevétlenül több száz vagy több ezer ismeretlen gén került a Fortunába, pontosan tudjuk mit változtattunk ezen a krumplifajtán. No de ettől ez már GMONak számít, mivel az EUBan elméletileg termesztethetők GMOK, azonban gyakorlatilag lehetetlen őket engedélyeztetni, a gyártó ugyan beadta az engedélykérelmet, majd vissza is vonta 2012 -ben úgyhogy az EUBan a közeljövőben nem vetünk Fortunát, Magyarországon pedig egészen pontosan sohasem, hiszen az alaptörvényben tiltottuk meg minden GMO termesztését.

Hasonlítsuk össze ezt a két terméket! Mindkét krumplifajta ugyanabból a másik fajból származó ugyanolyan idegen géneket tartalmaz. Az egyetlen különbség, hogy a Bionicába egy nagyon lassú (=drága), nagyon pontatlan módszerrel juttatták be, a Fortunába pedig egy gyors (=olcsó), pontos módszerrel. Mégis, ha Bionicát akarnék vetni, azonnal megtehetném, semmilyen hatásvizsgálat sem kellene hozzá, azonnal eladhatnám emberi fogyasztóknak is a piacon. Senki sem kérdezi meg, hogy tartalmaz -e új allergéneket, termel -e új rákkeltő vegyületeket vagy esetleg mérgeket, senki sem aggódik rajta, hogy mi lesz, ha kikerül a természetbe az új gén, mi történhet a környezettel, ha kiszabadul a transzgén? Senki sem aggódik rajta, hogy ha egyszer kikerül a szántóföldre, hogyan lehet majd megszabadulni tőle, senki sem vár el öt nemzedéknyi türelmi időt, mielőtt termesztési kezdenénk, senki sem siránkozik azon, hogy a Bionica termesztése majd ellehetetleníti a biogazdaságokat (sőt éppen hogy biotermékként forgalmazzák). Senki sem szeretné, hogy figyelmeztető jel kerüljön a Bionica csomagolására, vagy éppen hogy a sertéshús csomagolásán kelljen megjelölni, hogyha Bionica krumplival etették a malacot. De komolyan, meg tudja mutatni nekem valaki a kimerítő, sok nemzedéken átívelő független kutatási eredményeket a Bionica biztonságosságáról? Mert ugye a GMO vitákból tudjuk, hogy ez a legeslegalapvetőbb feltétele bármilyen új növényfajta elfogadásának, mégis nem nagyon látom, hogy bárki igényelné ezeket.

Ezzel szemben ha Fortunát akarnék termesztetni az eleve tilos, ha akár csak kísérleti jelleggel próbálkoznék vele, azonnal a nyakamba szakadna az összes főntebb felsorolt kényelmetlenség, hiszen olyan nagyon veszélyes új R géneket juttatni a krumplibába. No de miért ez a különbségtétel? Ez a két krumpli hajszára ugyanaz a termék, inkább azt mondanám, hogy a Bionica még veszélyesebb is, hiszen ott rengeteg az ismeretlen tényező, ami a Fortunánál föl sem merül. Mégis

az egyiket bármilyen biztonsági ellenőrzés nélkül azonnal örömmel fogyasztják az EU derék polgárai, a másik ellen utolsó csepp vérükig hajlandóak harcolni. Meg tudja magyarázni valaki miért?

Összefoglalva: Ha arra szottyanna kedvem bármikor emberi géneket juttathatnék a búza genomjába és ahogy elkészül, azonnal eladhatnám neked a piacon, bármilyen hatásvizsgálat nélkül. Mindez teljesen törvényes, egészen addig, amíg egy régebbi, kifejezetten pontatlan módszerrel teszem, vagyis én sem tudom, tulajdonképpen milyen gének jutottak át és hova épültek be a genomba. Azonban ha akár egyetlen kecskebúza gént be szeretnék juttatni a búza genomba, úgy hogy bázispár pontossággal tudjam, mekkora és milyen bázisrendű szakaszt illeszttek a genomba és hová, azt már törvény tiltja és a termék előreláthatóan sohasem kap termesztési engedélyt az EUban. Ezért nem értik a genetikusok, hogy miért tombol a világban a GMO ellenes őrület.

Sexcomb

<http://criticalbiomass.blog.hu/>

Dudits, D., Rasko, I., Hadlaczky, G., & LIMA-DE-FARIA, A. (1976). Fusion of human cells with carrot protoplasts induced by polyethylene glycol. *Hereditas*, 82(1), 121-123.

Dudits, D., Maroy, E., Praznovszky, T., Olah, Z., Gyorgyey, J., & Cella, R. (1987). Transfer of resistance traits from carrot into tobacco by asymmetric somatic hybridization: regeneration of fertile plants. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 84(23), 8434-8438.