



GMO – zyski i straty

Agnieszka Mickiewicz, Tomasz Twardowski, Marek Figlerowicz
Instytut Chemii Bioorganicznej, Polska Akademia Nauk, Poznań

1. Co to jest GMO? Wprowadzenie

W literaturze naukowej, jak i w regulacjach prawnych można znaleźć co najmniej kilka definicji organizmów zmodyfikowanych genetycznie – (GMO, ang. *Genetically Modified Organism*). Proponujemy aby na potrzeby tej pracy przyjąć, że GMO to wszelkie rośliny, zwierzęta, a także bakterie, których genom został zmieniony w skutek celowych działań człowieka prowadzonych z wykorzystaniem metod inżynierii genetycznej. Pojęcie GMO nie odnosi się zatem do organizmów, u których modyfikacje genetyczne były dokonane mniej lub bardziej konwencjonalnymi metodami hodowlanymi, takimi jak krzyżowanie lub naturalna rekombinacja. Stosowane obecnie techniki inżynierii genetycznej umożliwiają zarówno wytworzenie organizmów transgenicznych posiadających w genomie obce geny jak też wprowadzenie zmian w ekspresji endogenów poprzez ich modyfikację bądź też częściowe lub całkowite „wyłączenie”. Przedmiotem naszych dalszych rozważań będą przede wszystkim rośliny transgeniczne (rośliny GM), gdyż z nimi coraz częściej możemy spotkać się w naszym codziennym życiu.

Produkcja roślin transgenicznych podąża w dwóch kierunkach, jednym z nich jest ulepszanie roślin przemysłowych, drugim – jadalnych. Wprowadzanie obcych genów do obu grup roślin zwykle spowodowane jest chęcią nadania im odporności na herbicydy, grzyby, wirusy czy insekty. Korzyścią z tego płynącą

Adres do korespondencji

Marek Figlerowicz,
Instytut Chemii
Bioorganicznej,
Polska Akademia Nauk,
ul. Noskowskiego 12/14,
61-704 Poznań;
e-mail:
marek@ibch.poznan.pl

jest ograniczenie stosowania środków chemicznych m.in. chwasto- i owadobójczych oraz zmniejszenie nakładu pracy przez co pośrednio zwiększa się wydajność upraw przy jednoczesnym zmniejszeniu ich kosztów. Rośliny jadalne są modyfikowane dodatkowo w celu polepszenia ich wartości odżywczych, wzbogacenia o mikro- i makroelementy, a także poprawy walorów smakowych i estetycznych. Zupełnie innym zagadnieniem jest agrofarmaceutyka (ang. *agropharming*) polegająca na wykorzystaniu roślin transgenicznych jako bioreaktorów do produkcji białek, które mogą być wykorzystane w terapii lub diagnostyce medycznej. Szczególnie cennymi białkami, dla których opracowywane są metody otrzymywania w roślinach są interleukiny, cytokiny, hormony wzrostu, kolagen czy też antygeny wirusowe lub bakteryjne mogące stanowić doustne szczepionki. Systematyczne badania organizmów zmodyfikowanych genetycznie trwają już od kilkunastu lat, ale praktyczne wykorzystanie GMO nadal budzi wiele emocji i krańcowo różnych reakcji, od zachwytów po niechęć, czy wręcz przerażenie.

2. Zwolennicy i przeciwnicy GMO

We współczesnym świecie, w którym pieniądź jest siłą napędową rozwoju gospodarczego, także podział na zwolenników i przeciwników genetycznie zmodyfikowanych roślin, jak się wydaje, podyktowany jest ekonomią. U podstaw konfliktu pomiędzy zwolennikami (głównie Ameryka Północna), a przeciwnikami (przede wszystkim Europa) stosowania GMO legły dwie różne wizje rozwoju rolnictwa propagowane intensywnie na obu kontynentach w ostatnich dekadach XX w. W Stanach Zjednoczonych, kraju dysponującym praktycznie nieograniczonym areałem uprawnym, rozwój hodowli zwierząt oparty został na paszach pochodzenia roślinnego. W rezultacie w Ameryce podjęto szereg działań zmierzających do zwiększenia opłacalności produkcji rolnej, w tym również poprzez zastosowanie roślin transgenicznych. Europa Zachodnia, która nie dysponuje porównywalną ilością pól uprawnych stanęła przed dylematem kupować tanie produkty rolne z USA, czy też stworzyć własny, alternatywny model funkcjonowania rolnictwa i w miejsce tradycyjnych pasz stosować mączki kostne oraz inne przetwory pochodzenia zwierzęcego. Wybrano to drugie rozwiązanie. Odkrycie prionów i obserwowany z końcem lat dziewięćdziesiątych wzrost zachorowań bydła na BSE (tzw. choroba szalonych krów) spowodowały, że wybrana przez Europejczyków droga okazała się ślepym zaułkiem. Problemy te zmusiły polityków, naukowców i rolników do podjęcia ogólnoświatowej dyskusji na temat dalszego rozwoju współczesnego rolnictwa i roli, jaką mogą w nim odegrać techniki inżynierii genetycznej.

W europejsko-amerykański „spór o biotechnologię” na forum Światowej Organizacji Handlu (WTO) zaangażowane są również inne państwa członkowskie tej organizacji. Podstawową kwestią w dyskusji jest konieczność oraz ewentualny zakres ograniczenia hodowli bydła, trzody czy drobiu w związku z zakazem stosowania

pasz pochodzenia zwierzęcego. Z dotychczasowych doświadczeń wynika, że jedynym sposobem umożliwiającym utrzymanie dotychczasowego poziomu hodowli jest zwrócenie się ku tańszym w uprawie genetycznie zmodyfikowanym roślinom. Stany Zjednoczone, jak się wydaje, są już zdecydowane na szerokie wykorzystanie GMO. Czy jednak Europa zdecyduje się podążyć w tym samym kierunku? Pozytywna odpowiedź na to pytanie rodzi szereg nowych wątpliwości m.in. o źródło roślin zmodyfikowanych genetycznie, czy zacząć wytwarzać takie rośliny w Europie, czy sprowadzać je z innych krajów. Czy ograniczać stosowanie roślin transgenicznych jedynie do skarmiania zwierząt, czy też zezwolić na ich spożywanie przez ludzi. Pierwsze decyzje zostały już podjęte, gdy w ubiegłym roku Komisja Europejska wydała zgodę na uprawę kukurydzy MON810 przeznaczonej do celów żywnościowych i paszowych, a w ostatnich miesiącach – rzepaku GT73, jako pokarmu dla zwierząt oraz do celów przemysłowych, dalsze poznamy zapewne już w niedalekiej przyszłości.

3. Korzyści

Początkowo ludzie korzystali z darów natury w takiej postaci w jakiej były one dostępne, później nauczyli się je hodować i ulepszać. Większość cech użytkowych uprawianych obecnie roślin nie występowało u ich przodków kilka tysięcy lat temu, ale powstały w wyniku wielokrotnych krzyżówek odmian o różnych właściwościach. W dzisiejszych czasach dzięki zastosowaniu inżynierii genetycznej można o wiele precyzyjniej zmieniać cechy roślin przez wprowadzenie do ich genomu konkretnego genu kodującego białko odpowiadające za specyficzny proces, reakcję czy też właściwości. Tworzone w ten sposób transgeniczne rośliny posiadają cechy, których nie można uzyskać metodami tradycyjnej hodowli, względnie proces hodowli trwałby zbyt długo. Jednym z najbardziej znanych przykładów roślin transgenicznych jest „złoty ryż”, który poprzez wzbogacenie w prowitaminę A miał uchronić dzieci z krajów trzeciego świata przed licznymi chorobami wynikającymi z niedoboru tej witaminy. Niestety tak się nie stało, gdyż nie jest on uprawiany na szeroką skalę. Ponadto spożywanie zmodyfikowanego ryżu nie rozwiązuje problemu, ponieważ witamina A jest wchłaniania jedynie w obecności tłuszczów, a tych także brakuje w diecie mieszkańców trzeciego świata. Sama obecność prekursora jednej z witamin nie rozwiązuje problemów niedożywienia i nie zastępuje kompletnej i zbalansowanej diety, ale jest pierwszym – bardzo dobrym – krokiem w kierunku stworzenia całej gamy produktów określanых mianem „żywności funkcjonalnej”, czyli wzbogaconej o mikro- i makroelementy, czy też prekursorów czynnych biologicznie związków. Potencjalnymi odbiorcami żywności funkcjonalnej są także Europejczycy i mieszkańcy krajów rozwiniętych, bo choć regionom tym nie zagraża widmo głodu to prawidłowe odżywianie przy współczesnym tempie życia nie jest kwestią banalną.

Zainteresowaniem mediów cieszą się także inne transgeniczne odmiany roślin jak na przykład późno dojrzewające pomidory o przedłużonym okresie przydatności handlowej, które są ogólnie dostępne w handlu w wielu krajach, czy odporna na herbicydy lub insekty soja, kukurydza i bawełna. Wprowadzenie odporności na herbicyd umożliwia stosowanie środków chwastobójczych na całym areale bez obawy, że zaszkodzi się roślinom uprawnym, a przez to zmniejszy wydajność plonów. Najczęściej nadawana jest odporność na herbicyd RoundUp (zawierający glifosat jako składnik aktywny), który hamuje działanie enzymu biorącego udział w syntezie aminokwasów aromatycznych (syntaza EPSPS). Modyfikacja dająca odporność na RoundUp zostaje uzyskana albo poprzez wprowadzenie do rośliny genu kodującego syntazę EPSPS niewrażliwą na herbicyd, przez co szlak metaboliczny nie zostaje przerwany albo poprzez wprowadzenie genu odpowiedzialnego za powstanie oksydoreduktazy glifosatu – nieczynniającej aktywny składnik herbicydu. Zabezpieczenia upraw przed szkodnikami dokonano wprowadzając do genomu roślin gen bakteryjny, kodujący białko toksyczne wyłącznie dla insektów. Białko to stosowane było wcześniej na szeroką skalę do ochrony roślin przed szkodnikami. Co więcej do oprysków wykorzystywano nie pojedyncze białko, lecz całe bakterie (wprowadzano do środowiska pełen zestaw genów i białek bakteryjnych). Inżynieria genetyczna pozwoliła zredukować ilość stosowanych biologicznie aktywnych substancji do niezbędnego minimum, tj. jednego genu i jednego białka. Wprowadzenie genów warunkujących odporność na herbicydy oraz na szkodniki pozwala znacznie ograniczyć zużycie chemicznych środków ochrony roślin, a tym samym zmniejszyć zanieczyszczenie środowiska oraz koszty upraw.

Innym poważnym problemem, z jakim borykają się rolnicy są grzybice i infekcje bakteryjne niszczące niekiedy całe uprawy. Odporność na nie można uzyskać poprzez wprowadzenie transgeny kodującego enzymy degradujące ścianę komórkową patogena (np. chitynaza czy glukanaza) lub białko, które wiąże się z błoną komórkową bakterii powodując jej zniszczenie (osmotyna). Równie pożądanymi cechami jest odporność na wirusy lub obniżona wrażliwość na niekorzystne warunki środowiskowe, np. niską/wysoką temperaturę, zasolenie, brak wody. Uzyskane rośliny transgeniczne odporne na bakterie, grzyby, wirusy i niewrażliwe na wpływ środowiska są obecnie w fazie badań polowych.

Dowiedziano, że wiele substancji cennych z punktu widzenia medycyny – leki i szczepionki – może być produkowanych przez zwierzęta transgeniczne, np. w mleku. Alternatywą dla takiego sposobu ich pozyskiwania są transgeniczne rośliny wytwarzające np. białka wirusowe lub bakteryjne. Pokazano, że podobnie jak ma to miejsce w przypadku tradycyjnych szczepionek doustnych spożycie takiej rośliny indukuje odpowiedź immunologiczną uodparniającą konsumenta na dany patogen. Roślina GM może zatem pełnić funkcję bioreaktora wytwarzającego jadalną szczepionkę (1). Rośliny takie podawane byłyby w stanie surowym lub też jako sproszkowany liofilizat, zawierający określoną dawkę substancji aktywnej, np. antygeny. W ten sposób można uniknąć zanieczyszczenia preparatu groźnymi dla człowieka

patogenami pochodzącymi od zwierząt (np. prionami, wirusami grypy lub wścieklizny). Dodatkowo, antygen zawarty we wnętrzu komórki roślinnej chroniony jest przed przedwczesnym strawieniem w układzie pokarmowym. Stosowanie liofilizatów rozwiązuje także problem stabilności szczepionki. Stwierdzono, że w tej formie może ona być przechowywana przez długi czas nawet w temperaturze pokojowej. Pomimo konieczności stałej kontroli zawartości antygeny w materiale biologicznym (jego stężenie w poszczególnych roślinach może być istotnie różne), nakłady, jakie należy ponieść by wyprodukować szczepionkę w roślinie transgenicznej są zazwyczaj znacznie niższe od kosztów jej otrzymania tradycyjnymi metodami opartymi na hodowlach bakteryjnych. Wszystkie te zalety pozwolą w przyszłości wykorzystać transgeniczne rośliny jako preparaty szczepionkowe. Jednakże z powodu istniejących kontrowersji proponuje się, by ich użycie ograniczyć jedynie do zwierząt.

Pomysłem od niedawna branym pod uwagę, a zatem intensywnie badanym, jest stosowanie roślinnych kultur komórkowych jako bioreaktorów do produkcji białka. Mają one tę przewagę nad roślinami GM, że znacząco upraszczają proces transformacji, a równocześnie ułatwiają sprawowanie stałej kontroli nad genetycznie zmodyfikowanymi komórkami. Inną ich zaletą jest minimalizacja zagrożeń związanych z wydostaniem się organizmów transgenicznych do środowiska. Kultury komórkowe mogą przeżyć jedynie, wówczas gdy stworzone zostaną odpowiednie do tego warunki. Ich przetrwanie poza bioreaktorem jest niemożliwe.

4. Obawy

Podstawowym problemem, z jakim mamy obecnie do czynienia w Europie jest brak akceptacji społecznej dla stosowania GMO w rolnictwie i przemyśle spożywczym. Aby odpowiedzieć na pytanie czy lęki te są uzasadnione należałoby najpierw uświadomić sobie, czego one tak naprawdę dotyczą. Z przeprowadzanych wielokrotnie badań opinii społecznej wynika, że główną obawą jest spożywanie nie tyle obcych genów, co genów samych w sobie. Wiele ankietowanych osób twierdzi bowiem, że nigdy nie jadło żadnych genów, wobec tego perspektywa spożycia „GENU” zawartego w roślinie transgenicznej wydaje się przerażająca. Zdecydowana większość społeczeństwa nie zdaje sobie sprawy, że każda komórka roślinna (a także zwierzęca) zawiera około „1 metra genów” – mniej więcej tyle wynosi bowiem długość jądrowego DNA. Zjadamy je od tysięcy lat i jak dotychczas nie zaobserwowano transferu żadnego z genów roślinnych do genomu człowieka. Co więcej, aby transgen taki na stałe zagnieździł się w populacji ludzkiej, spożycie GMO musiałoby prowadzić do transformacji komórki rozrodczej, co nie wydaje się możliwe. Z dotychczasowych obserwacji wynika, że tylko bakterie potrafią pobierać wolne DNA z otoczenia i wykorzystywać zawartą w nim informację genetyczną, człowiek nie jest do tego zdolny. Argumenty przeciwników GMO o możli-

wości przemieszczania się obcych genów z pożywienia do genomu człowieka nie znajdują uzasadnienia.

Głównym problemem występującym podczas popularnonaukowych dyskusji na temat GMO jest, jak się wydaje, brak chęci porozumienia. Podczas gdy „społeczeństwo” mówi o „przeskoku genów na człowieka” badacze trywializują te obawy, równocześnie w niezrozumiały dla przeciętnego człowieka sposób wskazują prawdziwe zagrożenia. Tymczasem zarówno fachowiec, jak i laik przyznać musi, że szkodliwym dla ludzi czy zwierząt może być nie tyle sam gen, co produkt jego ekspresji – obce białko będące alergenem lub toksyną. Jednakże powstawanie tego typu produktów wykrywane jest już na wczesnych etapach tworzenia rośliny transgenicznej, na długo przedtem, zanim zostanie wydane zezwolenie na jej dopuszczenie do sprzedaży w postaci produktów spożywczych. Dodatkowo naukowcy zwracają uwagę na możliwości oddziaływania transgenów ze środowiskiem. Jeszcze do niedawna jedną z najczęściej stosowanych modyfikacji było wprowadzenie do genomu roślinnego genu kodującego wirusowe białko płaszczka. Operacja ta miała na celu nadanie roślinie tzw. odporności pochodzącej od patogena (PDR, ang. *patogen-derived resistance*). Nie można jednak wykluczyć, że produkowane w roślinie transgeniczne białko zostanie wykorzystane do opłaszczenia innego wirusa, który w ten sposób poszerzy zakres roślin żywicielskich. Ponadto wirusowy system replikacji umożliwia wielokrotną rekombinację materiału genetycznego wirusa. Jeżeli sekwencje homologiczne do genomu wirusowego zawarte są także w genomie gospodarza, wówczas możliwe jest utworzenie rekombinantów wirusowych, posiadających fragment genu roślinnego. Takie wirusy mogłyby stać się wektorami przenoszącymi geny z jednych gatunków na inne, zupełnie z nimi niespokrewnione. Proces rekombinacji nie musi całkowicie przekreślać planów tworzenia transgenicznych roślin odpornych na wirusy, należy jednak z wielką uwagą projektować sekwencje wprowadzane do genomu roślinnego i kontrolować ich ewentualne interakcje z innymi wirusami.

Chociaż naukowcy nie obawiają się transferu genów z transgenicznych roślin do genomu człowieka, jednakże wcale nie bagatelizują problemu przenikania genów obcych, (np. warunkujących oporność na antybiotyki) do flory bakteryjnej obecnej w jelitach. W badaniach ludzi zdrowych oraz poddanych zabiegowi ileostomii (wyłonienie sztucznego odbytu) wykazano, że gen kodujący odporność soi na herbicyd glifosfat nie jest odnajdywany u zdrowych ludzi jest natomiast obecny w hodowanych przez kilka pasaży bakteriach pochodzących od ludzi chorych (2). W warunkach naturalnych badany gen występuje u niektórych dziko żyjących bakterii, stąd przed wprowadzeniem do rośliny poddany został optymalizacji ułatwiającej ekspresję w układzie heterologicznym (w komórkach roślinnych). Odnaleziony w bakteriach jelitowych gen miał sekwencję zmodyfikowanego, a nie oryginalnego genu bakteryjnego. Autor badań nie uważa jednak by obecność genu egzogenego wpływała w istotny sposób na właściwości flory bakteryjnej (3). Gen ten prawdopodobnie nie jest wyrażany w środowisku ludzkiego układu pokarmowego, gdyż jego ekspresja wymagałaby nie tylko obecności fragmentu kodującego, ale i promotora oraz

różnych sekwencji regulatorowych. Należy zatem prowadzić szczegółowe badania mikroorganizmów jelitowych tym bardziej, że obecnie znamy jedynie ich niewielką część.

Innym argumentem podnoszonym przez przeciwników GMO jest obawa przed wytworzeniem „superchwastów”, poprzez krzyżowanie się roślin transgenicznych (odpornych na herbicydy) z występującymi w naturze roślinami, przeciwko którym herbicydy są kierowane. Zagadnienie transferu genów na dzikie, ale blisko spokrewnione gatunki roślin było badane przez kilka zespołów. W 2001 r. opublikowano w „Nature” wyniki dziesięcioletnich obserwacji czterech gatunków roślin uprawnych: rzepaku, buraków cukrowych i kukurydzy, którym modyfikacje genetyczne nadały odporność na herbicydy oraz ziemniaka, do którego wprowadzono gen kodujący toksynę Bt, chroniącą przed szkodnikami. Rośliny hodowano równocześnie w 12 różnych pod względem klimatycznym miejscach Anglii. Każde pole zawierało zarówno rośliny transgeniczne, jak i ich niemodyfikowane odpowiedniki. Obserwowano losy poszczególnych osobników, rozsiewanie się zmienionych odmian na sąsiednie obszary oraz konsekwencje obecności roślin transgenicznych dla konkretnych miejsc w latach późniejszych. Stwierdzono, że po dziesięciu latach od wysiania (lub wysadzenia) na obserwowanych terenach nie pozostał żaden ślad po transgenicznych roślinach. Najczęściej wystarczały dwa lata, by odmiany zmodyfikowane genetycznie wyginęły, a ich miejsce zajęły rośliny dzikie. Uzyskane wyniki były zatem zgodne z licznymi obserwacjami świadczącymi, że rośliny uprawne nie mają szans na przetrwanie bez stałej opieki ze strony człowieka. Jednakże na podstawie wyników badań przeprowadzonych w Meksyku wykazano, że wprowadzony do kukurydzy gen obcego pochodzenia może przenieść się na blisko spokrewnione rośliny typu dzikiego (4). Nie można z całą pewnością powiedzieć, że niemożliwe jest przekazanie genu innym roślinom, choć z wyników prac badawczych wnioskuje się, że nie jest to częste zjawisko. Dlatego każda transgeniczna odmiana powinna być badana niezależnie, gdyż rodzaj wprowadzonej cechy może być dużo bardziej znaczący, niż sam fakt dokonania modyfikacji genetycznej.

5. Podsumowanie

Pomimo szeregu obaw społeczeństwa związanych z szerokim stosowaniem roślin transgenicznych naukowcy nie ustają w wysiłkach i tworzą coraz to nowsze ich odmiany. Wskutek niejednoznaczności uzyskiwanych wyników badań GMO i niechęci konsumentów firmy komercyjne koncentrują się obecnie przede wszystkim na roślinach użytkowych. Podyktowane jest to także brakiem rzeczywistej konieczności spożywania przez człowieka transgenicznych roślin. Nie należy bowiem sądzić, że rośliny transgeniczne w cudowny sposób rozwiążą problem niedożywienia i chorób w krajach trzeciego świata. Występujący w tym rejonie głód wynika bardziej z problemów społecznych i politycznych, niż słabego rozwoju technologii produkcji

żywności. Ponadto w ostatnim czasie pojawia się coraz więcej danych wskazujących, że rośliny rosnące w bezstresowych warunkach (np. nie atakowane przez szkodniki) nie produkują pełnej gamy związków, niezbędnych dla optymalnego rozwoju ich konsumentów, w tym także człowieka. O zjawisku tym mówi się w teorii ksenohormezy, w której dowodzi się, że wiele cennych związków wytwarzanych jest w roślinach pod wpływem lekkiego stresu (5). Wydaje się zatem, że otrzymanie pełnowartościowej żywności może wymagać obecności choćby minimalnej liczby szkodników.

Pod wpływem nieprzejednanej niechęci konsumentów wzmacnianej głośnymi medialnie akcjami przeciwników GMO nieco cichną głosy nakłaniające do masowej produkcji kolejnych transgenicznych odmian jadalnych. Firmy biotechnologiczne zaczynają poszukiwać nowych mniej kontrowersyjnych zastosowań GMO. Jednym z nich jest wykorzystanie zmodyfikowanych genetycznie roślin jako źródła energii. Można ją pozyskać co najmniej na trzy sposoby: 1) spalania samej biomasy; 2) spalania produktu fermentacji biomasy; 3) spalania wytworzonego z roślin oleju napędowego. Innym obiektem zainteresowań są biomateriały. Natura wyposażyla niektóre mikroorganizmy w zdolność do wytwarzania polimerów, które mogą być łatwo przekształcone w produkty podobne do polietylenu i polipropylenu. Jednak w odróżnieniu od syntetyków są one biodegradowalne. Wprowadzenie do roślin genów kodujących białka szlaku syntezy tychże polimerów pozwoliłoby na tanie i ekologiczne uzyskiwanie materiałów przemysłowych i medycznych. Pewne nadzieje można wiązać także ze zmodyfikowanymi genetycznie drzewami o zmniejszonej zawartości lignin, przeróbka takich drzew pozwoliłaby znacznie obniżyć koszty produkcji papieru. Okazuje się również, że rośliny można zmodyfikować w taki sposób, by usuwały z gleby i wody toksyczne metale ciężkie (np. rtęć czy kadm). Jednakże i te rośliny muszą być z wielką uwagą badane pod kątem zachowania równowagi ekologicznej. Może się bowiem okazać, że odbierając pokarm naturalnemu szkodnikowi tych roślin naruszamy równowagę całego biosystemu. Analiza niezwykle skomplikowanych układów biologicznych z reguły nie daje prostych i oczywistych odpowiedzi. Nie można bezkrytycznie transformować wszystkich roślin bez oglądania się na długofalowe konsekwencje dla środowiska. Nie można również całkowicie zakazać GMO, jak chcieliby np. działacze Greenpeace argumentując, że wszystkich wynikających z tego zagrożeń nie można przewidzieć i wykluczyć.

Być może powtórzy się historia i za parę lub parędziesiąt lat będziemy znowu sprowadzać z Ameryki „nowe”, bo „genetycznie ulepszone” gatunki starych, już udomowionych w Europie roślin, a może kierunek tego transferu będzie tym razem odwrotny?

Literatura uzupełniająca

1. Sala F., Rigano M. M., Barbante A., Basso B., Walmsley A. M., Castiglione S., (2003), *Vaccine*, 21, 803-808.
2. Heritage J., (2004), *Nature Biot.*, 22, 170-172.
3. Netherwood T., Martín-Orúe S. M., O'Donnell A. G., Gockling S., Graham J., Mathers J. C., Gilbert H. J., (2004), *Nat. Biotechnol.*, 22, 204-209.
4. Quist D., Chapella I. H., (2001), *Nature*, 414, 541-544.
5. Lamming D. W., Wood J. G., Sinclair D. A., (2004), *Molecular Microbiology*, 53, 1003-1009.

Więcej informacji na temat roślin transgenicznych i związanych z nimi zagadnień ekonomicznych, prawnych jak i rozwiązań patentowych można znaleźć na stronach internetowych:

<http://www.oecd.org>

<http://www.mos.gov.pl>