



## Biotechnologia roślin a środowisko – możliwości, korzyści i potencjalne zagrożenia

Anna Nadolska-Orczyk

Pracownia Inżynierii Komórkowej i Transformacji, Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin, Radzików

### Plant biotechnology and environment – possibilities, benefits and potential risk

#### Summary

Plant biotechnology is the key to solve most of the problems of modern agriculture. Today, genetically modified plants are planted on half of the acres of USA and it is expected that in 2030 most of cultivars will be transgenic. On the other hand, this technology has raised public's fears. This article presents the possibilities of applying biotechnology to environmentally safe agriculture. It also discusses the potential risk and benefits of releasing the GMO into the environment.

#### Key words:

plant biotechnology, agriculture, environment, GMO.

### 1. Wstęp

Dzięki masowej, wieloletniej już uprawie pierwszych transgenicznych odmian roślin charakteryzujących się odpornością na herbicydy lub owady można określić ich pośredni wpływ na środowisko naturalne. Środki ochrony roślin skażają środowisko oraz wnikają poprzez wodę pitną do naszych organizmów. Substancje czynne, jakie zawierają, mogą wpływać na naszą gospodarkę hormonalną, są kancerogenne i mutagenne. Oszacowano, że dzięki uprawie w Stanach Zjednoczonych i Kanadzie transgenicznej bawełny, soi, kukurydzy i rzepaku odpornych na herbicy-

#### Adres do korespondencji

Anna Nadolska-Orczyk,  
Pracownia Inżynierii  
Komórkowej  
i Transformacji,  
Instytut Hodowli  
i Aklimatyzacji Roślin,  
Radzików,  
05-870 Błonie.

dy (Roundup-Ready i Liberty-Link), a przede wszystkim na owady (z wprowadzonymi genami białka *Bt*) zredukowano coroczne zużycie herbicydów o tysiące ton. Tylko w roku 1997, kiedy areal uprawy transgenicznej bawełny odpornej na owady był jeszcze stosunkowo mały, zmniejszono zużycie insektycydów o 900 ton (1). Jednocześnie, mimo że odmiany transgeniczne wysiewane są corocznie od kilkunastu lat na coraz większych obszarach, nie stwierdzono żadnych negatywnych skutków dla środowiska.

W 2001 r. uprawy transgenicznych odmian roślin na świecie obejmowały ponad 52 mln hektarów. Większość z nich, tj. prawie 39 mln ha, uprawiano w Ameryce Północnej (USA, Kanada), z czego transgeniczna bawełna, soja i rzepak jary obejmowały prawie 50% powierzchni uprawnych tych odmian, a kukurydza 35% (2). W raporcie komisji USDA z lutego 2001 r. potwierdzono, że system regulujący dopuszczanie roślin transgenicznych do uprawy, funkcjonujący w USA już od ponad 10. lat jest właściwy. Na jego podstawie rozpatrzono i udzielono więcej niż 30 000 pozwoleń na testowanie roślin transgenicznych w polu (*field permits*). Do dziś nie stwierdzono żadnego, nawet pojedynczego przypadku zagrożenia dla zdrowia ludzi czy też dla środowiska.

## 2. Główne kierunki biotechnologii roślin rolniczych

Biotechnologia roślin rozwija się w dwóch kierunkach:

1. Technik umożliwiających selekcję genetyczną rekombinantów, przyspieszających uzyskanie nowych odmian roślin.
2. Modyfikacji genetycznej.

Najczęściej używanymi technikami ułatwiającymi selekcję genetyczną są techniki markerów molekularnych oraz mapowania molekularnego. W pierwszej z nich wykorzystuje się łatwy i szybki sposób oceny segregującej populacji, skracając przez to znacznie czas selekcji określonego genotypu. Może on zostać zredukowany nawet od 50 do 70% (3). Hodowlę tradycyjną odmian uprawnych, odpornych na choroby ocenia się na 15-20 lat (4). Mapowanie molekularne służy do identyfikacji miejsca, w którym znajdują się określone geny, co może być wykorzystane w doborze komponentów do krzyżowania. Stosowanie tych metod pozwoli na szybsze i bardziej efektywne tworzenie nowych odmian. Ponadto wysokorozdzielcze mapowanie określonych rejonów chromosomu, na których znajdują się interesujące hodowców geny, umożliwia ich izolację i wykorzystanie do modyfikacji genetycznych. Z technik kultur *in vitro* na uwagę zasługują techniki mikrorozmnażania, otrzymywania podwojonych haploidów i znacznie trudniejsza technika fuzji protoplastów i uzyskiwania mieszańców somatycznych. Ta ostatnia pozwala na pokonanie barier krzyżowania, co umożliwia na przykład przeniesienie odporności z gatunków dzikich do form uprawnych.

Modyfikacja genetyczna (transformacja genetyczna) polega na wprowadzeniu obcego DNA, kodującego nową, określoną cechę, do genomu wybranej rośliny (lub

innego organizmu) nie powodując utraty jego wartościowych cech. W większości przypadków etapem niezbędnym do prowadzenia modyfikacji genetycznych jest opracowanie dobrej metody regeneracji roślin w kulturach *in vitro*. Jeżeli celem transformacji jest uzyskanie roślin odpornych na patogeny (lub szkodniki), niezbędną jest znajomość mechanizmów odporności oraz dysponowanie wyizolowanymi genami warunkującymi tę cechę.

W celu zobrazowania jak duże są możliwości modyfikacji genetycznej roślin, wybrano i poniżej podano przykłady genów warunkujących odporność na choroby. Do pierwszej grupy należą geny pochodzenia roślinnego (5), a mianowicie są to geny kodujące:

- inhibitory enzymów trawiennych owadów, jak np. inhibitory proteinaz lub amylaz, (na przykład przeniesienie  $\alpha$ -amylazy z fasoli do grochu),
- toksyczne substancje jak lektyny, chitynazy i alkaloidy,
- białka (*pathogenesis-related*) wywołujące nadwrażliwą odpowiedź (HR) i odporność systemiczną (SAR),
- białka antywirusowe, tj. RIPs (*ribosome inhibitory/inactivating proteins*), obecne np. w nasionach jęczmienia, oraz
- naturalne geny gospodarza kodujące odporność na patogeny (geny R).

Innym źródłem takich genów może być genom patogena lub mikroorganizmu niepatogenicznego. Wśród przykładów na uwagę zasługują:

- geny białka płaszcza wirusów, geny wirusa kodujące białka biorące udział w cyklu replikacji i transporcie systemicznym w roślinie,
- sekwencje RNA interferujące z RNA gospodarza, jak np. satelitarne RNA, antysensowe i sensowe RNA,
- geny bakteryjne lub grzybowe, których produkty wywołują reakcję nadwrażliwości (HR) lub odporność systemiczną (SAR),
- geny bakteryjne wywołujące odporność immunologiczną na fitotoksyny bakteryjne,
- geny bakteryjne kodujące substancje toksyczne dla owadów (geny białka *Bt* jako przykład genów pochodzących z organizmów niepatogenicznych).

Modyfikacja genetyczna może również dotyczyć mikroorganizmu współżyjącego z rośliną. Na przykład poprzez wprowadzenie genów białka *Bt* do bakterii kolonizujących brodawkę korzeniową roślin motylkowych, można je było ochronić przed larwami owadów (6).

### 3. Istotne aspekty modyfikacji genetycznych na przykładzie wprowadzania odporności na patogeny

W celu zapewnienia długotrwałego i silnego efektu ochronnego, produkty transgenezy powinny cechować się szerokim spektrum działania. Warunkuje ono jednocześnie długotrwałą odporność. Przykładem takich genów pochodzenia roślinnego

(geny R) mogą być: gen *Bs2* wyizolowany z papryki oraz *Xa21* wyizolowany z ryżu, których produkty rozpoznają białka awirulencji zarówno bakterii *Xanthomonas campestris* jak i *X. oryzae* (7). Ponadto białko *Bs2* rozpoznaje białka awirulencji wytwarzane przez szczepy *X. campestris* infekujące paprykę, jak również szczepy infekujące pomidory, rzepak czy rośliny cytrusowe. Korzystny efekt można również uzyskać poprzez optymalizację wektora oraz nadekspresję genów odpornościowych. Na przykład użycie odpowiedniego promotora łączonego z genem kodującym może znacznie wzmocnić efekt ochronny. Gen *Pto* wyizolowany z dzikiego gatunku pomidora, łączony ze słabym promotorem i wprowadzony do odmian uprawnych warunkował odporność na *Pseudomonas syringae* pv. *tomato*. Zamiana promotora słabego na silny spowodowała uzyskanie przez zmodyfikowaną linię pomidora dodatkowej odporności na *Xanthomonas campestris* i *Cladosporium fulvum*. Innym przykładem może być modyfikacja genów białka *Bt* oraz całych konstruktów do transformacji. W pracach tych brało udział szereg zespołów badawczych na całym świecie. Celem było osiągnięcie jak najwyższej zawartości produktu, czyli toksyny w tkankach roślin (8). Kolejne etapy prac obejmowały: skracanie długości części kodującej, dobór odpowiedniego promotora oraz sekwencji wzmacniających, zmianę nukleotydów w sekwencjach kodujących na roślinne oraz modyfikacje dotyczące specyficzności. Po dziesięciu latach intensywnych badań uzyskano wielotysięcznokrotne zwiększenie zawartości toksyny w transgenicznym roślinach, dające im wysoką odporność.

#### 4. Kierunki rozwoju technik transformacji

Techniki transformacji mają istotny wpływ zarówno na ekspresję transgeny, jak również na potencjalne zagrożenie wprowadzanego materiału genetycznego do środowiska. Dlatego w opracowywanych technikach dąży się, żeby były one jak najbardziej precyzyjne, wydajne, gwarantujące uzyskanie właściwego efektu i bezpieczne. Wybór jednej z nich zależy będzie od celu do jakiego dążymy, możliwości technicznych, transformowanego gatunku, wprowadzanej cechy itp. Wymienić tu należy podstawowe kierunki ich rozwoju:

- metody transformacji za pomocą *Agrobacterium* jako system bardziej precyzyjny niż transformacja bezpośrednia (9),
- transformacja chloroplastów jako metoda znacznie zwiększająca ilość produktu i uniemożliwiająca poziome rozprzestrzenianie się transgenów (10),
- transformacja *in planta* jako metoda pomijająca kultury *in vitro*,
- precyzyjna transformacja do wybranego miejsca w genomie (rekombinacja homologiczna i miejscowospecyficzna),
- użycie nowych markerów selekcyjnych do selekcji pozytywnej, pozwalające na regenerację roślin z transgenicznych komórek, które na przykład nabyły zdolność do metabolizmu mannozy (11),

– rozwój metod eliminacji genów selekcyjnych, zwłaszcza tych, warunkujących oporność na antybiotyki (12) jak:

a) kotransformacja i segregacja w pokoleniu generatywnym,

b) usuwanie genu selekcyjnego za pomocą rekombinacji miejscowospecyficznej.

Badania nad integracją transgenów i ich ekspresją/wyciszeniem umożliwiają poznanie tego procesu. Ta wiedza pozwala na osiągnięcie większej precyzji i przewidywalności efektów transformacji w roślinach. Wzrasta znaczenie modyfikacji procesów metabolicznych u roślin, dzięki czemu można zmieniać fizjologię w kierunku uzyskiwania bardziej wartościowej żywności, alternatywnych paliw lub łatwiej dostępnych farmaceutyków. Takim przykładem jest „złoty ryż” (*golden rice*), „wzbogacony” o wytwarzanie witaminy A (13). Przewiduje się, że w ciągu następnych 30. lat większość, a do 2100 r. prawdopodobnie wszystkie rośliny uprawne będą genetycznie zmodyfikowane.

Wyłaniające się nowe technologie, takie jak ESTs (*expressed sequence tags*), mikro-macierze, czy też całe dziedziny (genomika, proteomika) umożliwiają zdobycie pełnej informacji na temat funkcji genów. Do tej pory funkcja 1/3 genów jest kompletnie nieznaną z powodu braku podobieństwa do już scharakteryzowanych, a wiedza na ten temat jest niezbędna do dalszego rozwoju biotechnologii. Zwiększenie precyzji i przewidywalności technik genetycznej modyfikacji roślin jest ważne dla rozwoju samej technologii, jak również ich zaakceptowania przez społeczeństwo.

## 5. Obawy opinii publicznej

Obawy opinii publicznej na temat potencjalnych zagrożeń dla środowiska sprowadzić można do trzech aspektów:

1) żywność pochodząca z GMO jest niebezpieczna (toksyczność, alergienność, obce DNA),

2) uprawa (hodowla) może zagrażać środowisku (przekazywanie informacji genetycznej, np. oporności na antybiotyki),

3) bliżej niesprecyzowane obawy przed nową technologią (lub przed jej zbyt dużymi możliwościami).

Wzrosły one gwałtownie po nieodpowiedzialnych publikacjach na temat toksyczności GMO. Do bardzo znanych należą badania Arpada Pusztai, które najpierw zostały nagłośnione przez TV, a następnie opublikowane (14). Zgodnie z prezentowanymi przez autorów wynikami, genetycznie zmodyfikowane ziemniaki wytwarzające lektynę (warunkującą odporność na owady) były toksyczne dla szczurów. Inny tego typu artykuł ukazał się w „Nature” w 1999 r. (15). Autorzy wykazywali, że pyłek z transgenicznej kukurydzy z genem białka *Bt* (odpornej na owady) był toksyczny dla gąsienic motyla *Danaus plexippus* (*Monarch butterfly*). W ślad za tego typu publikacjami duże firmy produkujące żywność, zwłaszcza europejskie jak Heinz i Gerber, zrezygnowały z używania składników pochodzących z genetycznie zmodyfikowanych odmian.

We wspomnianej, pierwszej, kontrowersyjnej publikacji autorzy, Ewan i Pusztai (14) karmili szczury ziemniakami kontrolnymi, nastrzykniętymi lektyną lub transgenicznymi, wytwarzającymi lektynę i stwierdzili, że tylko te ostatnie były toksyczne. Negatywny efekt nie miał być zatem wynikiem produktu transgeny tylko samym transgenicznym charakterem tych roślin. Przy takiej interpretacji wyników, autorom zarzucono brak odpowiedniej kontroli, tj. bulw transgenicznych nie wykazujących ekspresji transgeny. Dodatkowo krytykowano brak zbalansowanej diety, która przyczyniła się do opisanego wyniku (22). W innych badaniach żywieniowych przeprowadzonych na roślinach transgenicznych zaprzeczono argumentowi, że sama transgeniczność może wywołać efekt negatywny (23,24).

Nawiązując do publikacji w „Nature” (15), przedstawiono badania laboratoryjne, w których wykazano, że przeżywalność gąsienic motyla *Danaus plexippus* żerującego na liściach *Asclepias curassavica* pokrytych pyłkiem transgenicznej kukurydzy (zawierającej geny białka Bt) była znacznie niższa w porównaniu do gąsienic żywiących się liśćmi nie pokrytymi pyłkiem. Wielu niezależnych autorów kwestionowało te badania jako niepowtarzalne. Ponadto w warunkach eksperymentalnych gąsienice nie miały wyboru pożywienia (*non-choice-based feeding strategy*). Było to błędem eksperymentalnym przez co powstawała niezgodność z warunkami naturalnymi. Dodatkowo zarzucano autorom, że ilość pyłku była sztucznie zawyżona (16,17). W badaniach przeprowadzonych w warunkach polowych wykazano, że kukurydza Bt nie wpływa na populację tej grupy motyli (18). Na podstawie wyników uzyskanych z dwuletnich badań, wykonanych na zlecenie Ministerstwa Rolnictwa USA (USDA) i wydanego oświadczenia (<http://www.bio.org/foodag/weekly/20020206.asp> Agricultural Research Magazine, USDA, marzec 2002), nie potwierdzono ich szkodliwego wpływu. Warto dodać, że białko Bt ulega szybkiej degradacji (19,20). Uprawa roślin transgenicznych odpornych na owady pozwoliła na drastyczne obniżenie insektycydów stosowanych na polach (21). Tylko w 1997 r., dzięki bawełnie Bt rosnącej w USA, ograniczono zużycie insektycydów o 900 000 kg (1). Dodatkowo, użycie roślin Bt zamiast insektycydów o szerokim spektrum działania może wpłynąć pozytywnie na bioróżnorodność populacji owadów zasiedlających ekosystemy roślinne. Pozwala również na przeżycie naturalnych drapieżców wspomagających ochronę roślin.

Pierwsza z wcześniej wymienionych obaw opinii publicznej, dotyczących niebezpieczeństwa roślin genetycznie zmodyfikowanych jako źródła pożywienia jest dość łatwa, jak się wydaje, do odrzucenia. Coraz więcej Amerykanów je zmodyfikowaną genetycznie soję od szeregu lat, bez żadnych skutków ubocznych dla ich zdrowia. Na konferencji organizowanej przez OECD w Edynburgu pt. „GM Food Safety: Facts, Uncertainties, and Assessment” w 2000 r. wyrażono podobne stanowisko: “Many consumers eat GM foods. No significant adverse effects have yet been detected on human health” (za 25).

Obawy dotyczące alergienności, jak się wydaje, są również bezpodstawne. Z dotychczasowych badań wynika, że produkty genów, które nie są alergenne nie staną się alergenne w transgenicznych roślinach. I odwrotnie; na przykład albumina orzecha brazylijskiego jest alergenna dla pewnej grupy ludzi. Po wprowadzeniu do soi

genu kodującego to białko, wyizolowanego z orzecha brazylijskiego, nasiona tych roślin stały się również alergenne. Ze względów bezpieczeństwa, uzyskana transgeniczna linia soi nie została skomercjalizowana. Podsumowując, jeżeli znana jest alergenicność danego produktu, to cały proces badawczy jest ułatwiony. W przypadku braku takiej informacji, przeprowadzane są odpowiednie badania (26,27).

Często obawy opinii publicznej wiążą się z tym, że transgeniczne DNA może być przenoszone poprzez system trawienny do komórek organizmu powodując w ten sposób zmiany genetyczne gospodarza. Adwersarzy tych argumentów nie przekonuje fakt, że w każdym pożywieniu zjadamy mnóstwo DNA. Jedną z barier takiego transferu jest inaktywacja i degradacja DNA (deoksyrybonukleaza I, niskie pH). Przetwarzanie i gotowanie pożywienia również częściowo degraduje DNA. Teoretycznie rozważając, możliwe jest, że bardzo mała część tego DNA może pozostać niezdegradowana i transformować bakterie przewodu pokarmowego. Na razie jednak brak jest doniesień na ten temat. Potwierdzono natomiast szybką degradację transgenicznego DNA w badaniach żywieniowych. Na przykład Chambers i in. (28) karmili kurczaki genetycznie zmodyfikowaną, żyjącą w przewodzie pokarmowym bakterią *E. coli* oraz kukurydzą zawierającą gen ampicyliny. Następnie prowadzili testy na obecność transgenów, roślinnego i bakteryjnego w poszczególnych częściach przewodu pokarmowego. Transgen wprowadzony do kukurydzy (gen ampicyliny) był możliwy do wykrycia jedynie w dziobie. Transgen z *E. coli* pozostał wykrywalny w dalszych częściach systemu trawiennego.

Obawy przed zjadaniem „obcego” DNA mogą zostać również częściowo rozwiązane poprzez zdanie sobie sprawy z tego, że geny obecne w określonym organizmie najczęściej nie są dla tego organizmu unikatowe. Około 98% genów genomu ludzkiego ma swoje odpowiedniki w genomie szympanów, w przybliżeniu 95% w genomie świni i bardzo szacunkowo, 30% w genomie pomidorów (<http://www.cropgen.org>).

O ile obawy dotyczące genetycznie zmodyfikowanej żywności są dość łatwe do omówienia, znacznie trudniej rozważyć wpływ roślin transgenicznych na środowisko. To zagadnienie dotyczy głównie możliwości przedostania się transgeny do środowiska w niekontrolowany sposób i jego rozprzestrzeniania. Rozprzestrzenianie może zachodzić poprzez przekazywanie (transfer) genów pomiędzy gatunkami spokrewnionymi (przekazywanie pionowe) i niespokrewnionymi (poziome lub horyzontalne). Obawy społeczeństwa oraz ewentualne zagrożenia dotyczą na przykład powstania „superchwastu”, nowej choroby lub podatności na chorobę, nasilenia reakcji alergicznej oraz zniszczenia istniejącego ekosystemu.

## 6. Potencjalne zagrożenie zmodyfikowanych roślin dla środowiska

Każda innowacja w produkcji żywności może nieść ze sobą potencjalne ryzyko dla środowiska. Jest ono związane na przykład z dużym użyciem środków ochrony roślin w tradycyjnym rolnictwie lub silnym narażeniem roślin uprawnych na patoge-

ny w rolnictwie organicznym. Ryzyko w przypadku genetycznie zmodyfikowanych roślin może być w większości przypadków mniejsze niż w hodowli tradycyjnej, ze względu na możliwość przewidywania wyniku dokonywanych zmian. Na przykład krzyżowanie roślin prowadzi do otrzymania nowych mieszańców, zawierających setki lub tysiące nowo wprowadzonych genów lub ich kombinacji. Rośliny genetycznie zmodyfikowane posiadają wprowadzony tylko jeden do kilku genów, często roślinnego pochodzenia, a wynik takiej modyfikacji jest w większości przypadków możliwy do przewidzenia. Zastanawiając się nad potencjalnymi zagrożeniami, należy wyważyć pomiędzy ryzykiem a ewentualnymi korzyściami wynikającymi z tej zmiany.

Wspomniano już, że do dnia dzisiejszego nie stwierdzono żadnego zagrożenia dla zdrowia czy też środowiska ze strony roślin genetycznie zmodyfikowanych, znajdujących się w uprawie. Dlatego rozważania dotyczą raczej potencjalnych niebezpieczeństw, jakie może nieść ze sobą biotechnologia, a konkretnie modyfikacja genetyczna roślin. Główne obawy związane są z niekontrolowanym przedostaniem się transgenów do środowiska. Rozprzestrzenianie transgenów w naturalnym środowisku może przebiegać w różny sposób:

- a) „pionowe” (wertykalne) przemieszczanie transgenów – krzyżowanie się z innymi gatunkami,
- b) zasiedlanie nowych terytoriów,
- c) poziome (horyzontalne) przemieszczanie transgenów – pomiędzy różnymi grupami organizmów, mikroorganizmami.

Jest ono zależne od gatunku, rodzaju wprowadzonego transgenów oraz metody transformacji. Pionowe przemieszczanie u roślin dotyczy wewnątrzgatunkowego krzyżowania i przemieszczania poprzez nasiona. Do tej pory nie ma danych literaturowych potwierdzających, że to niebezpieczeństwo jest rzeczywiste (29). Może ono dotyczyć głównie roślin obcopolnych, jeżeli są one zdolne do niekontrolowanego krzyżowania z formami dzikimi, zasiedlającymi to samo stanowisko. Do takich zaliczane są: alfalfa (*Medicago sativa* L.), rzepak (*Brassica napus* L.), słonecznik (*Helianthus annuus* L.), ryż (*Oryza sativa* L.), owies (*Avena sativa* L.), sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench), kukurydza (*Zea mays* L.) (30,31). Jednak wiele gatunków jest silnie udomowionych i nie ma swoich dzikich odpowiedników w środowisku, gdzie są uprawiane, jak soja i kukurydza w USA. Wiatropylna kukurydza może się ewentualnie krzyżować z innymi odmianami uprawnymi. Po to jednak, żeby gatunki, pomiędzy którymi nie istnieją bariery mogły się krzyżować, muszą dojrzewać w tym samym czasie i rosnąć na tyle blisko, żeby przenoszony pyłek był żywotny. Istotnym ograniczeniem dla pionowego przemieszczania transgenów jest samopylność wielu gatunków roślin. Należy również podkreślić, że krzyżowanie genetycznie zmodyfikowanych gatunków uprawnych z gatunkami dzikimi nie będzie zachodziło częściej niż odbywało się to do tej pory lub ma miejsce w warunkach naturalnych. Istnieją różne możliwości przeprowadzenia takich modyfikacji genetycznych, które wykluczą ewentualne ryzyko pionowego przemieszczania transgenów. Wśród nich można wymienić tech-



niki takie jak technologia terminatora (modyfikacja genetyczna mająca na celu zahamowanie wytwarzania nasion w roślinie transgenicznej) lub transformacja chloroplastów.

Innym istotnym elementem, który należy wziąć pod uwagę przy rozpatrywaniu ewentualnych zagrożeń jest natura transgeny i środowiska (31). Przedostanie się cechy odporności na herbicydy do chwastów będzie miało znikomy efekt ze względu na brak presji selekcyjnej tzn. niestosowanie herbicydów w naturalnym środowisku. W przeciwieństwie, gen *Bt*, którego produkt ma właściwości insektycydu, może dać przewagę chwastowi z powodu występowania naturalnej presji selekcyjnej, jaką wywierają owady.

Zasiedlanie nowych terytoriów (*transgene persistence*) będzie zależne od funkcjonalności transgeny. Wprowadzenie organizmu zmodyfikowanego, charakteryzującego się lepszą adaptacją do środowiska może spowodować niekontrolowany wzrost transgenicznej populacji, wpływając lub nawet wypierając populację miejscową. Taki scenariusz powstania „superchwastu” jest jednak mało prawdopodobny. Zdecydowana większość modyfikacji genetycznych polega na ulepszeniu odmiany o jakąś określoną cechę, która będzie korzystna jedynie dla danej odmiany uprawianej w określonych warunkach. Zdolność przetrwania odmian roślin genetycznie zmodyfikowanych w naturalnych warunkach badano w Wielkiej Brytanii. Genetycznie zmodyfikowane: rzepak, kukurydzę, buraki cukrowe i ziemniaki pozostawiono w trzech różnych miejscach i monitorowano środowisko przez 10 kolejnych lat. Wszystkie odmiany wyginęły po 3-5 latach z wyjątkiem jednego miejsca, w którym posadzono tradycyjnego ziemniaka (32).

Poziome rozprzestrzenianie jest określeniem używanym do opisu wymiany DNA pomiędzy różnymi grupami organizmów na przykład roślinami i bakteriami, wirusami itp. Coraz więcej badań prowadzonych w tym kierunku dostarcza informacji na temat występowania/niewystępowania takiego transferu. Poziome przekazywanie informacji genetycznej istnieje pomiędzy wirusami i bakteriami, czy też wirusami i zwierzętami. Jednak ten naturalny sposób przemieszczania poprzez wirusy (czy transpozony) występuje z tak niską częstotliwością, że nie stanowi praktycznie żadnego zagrożenia. Nie ma natomiast przykładów na transfer DNA z roślin do innych roślin nie krzyżujących się czy też mikroorganizmów (29). Z opublikowanych do tej pory bardzo niewielu prac na temat przemieszczania DNA z genetycznie zmodyfikowanych roślin do mikroorganizmów (33) potwierdzono jedynie, że takie zdarzenie mogłoby teoretycznie zaistnieć, ale niezwykle rzadko. W badaniach horyzontalnego przekazywania transgenów z transgenicznego ziemniaka do patogenu *Erwinia* (34) nie stwierdzono takiego przypadku. W innych badaniach nad przemieszczaniem transgenów z różnych gatunków roślin do bakterii glebowej *Acinetobacter calcoaceticus* stwierdzono, że uzupełnienie transgeny o sekwencje homologiczne dla odbiorcy ułatwia jego transfer poprzez naturalną transformację (35). W przypadku braku takich homologii przekazywanie transgeny nie było możliwe do wykrycia. Jedynym dobrze znanym przykładem horyzontalnego przekazywania informacji genetycznej

w odwrotnym kierunku, czyli z bakterii do roślin, jest *Agrobacterium*. To umożliwiło wykorzystanie tej bakterii glebowej do modyfikacji genetycznych roślin (oraz innych organizmów).

Teoretycznie rozważając, nawet jeżeli nastąpi przemieszczenie transgeny z rośliny do mikroorganizmu lub spokrewnionej rośliny, nie powinno ono mieć istotnego wpływu na środowisko. Powodem jest natura transgeny, który kodując określone białko korzystne dla organizmu transformowanego, nie będzie w większości przypadków korzystny dla innego organizmu. Dlatego rozważania i badania bezpieczeństwa wprowadzanego transgeny powinny być skoncentrowane na jego naturze i funkcji. Należy pamiętać, że w warunkach naturalnych zachodziło i cały czas dochodzi do wymiany materiału genetycznego pomiędzy różnymi organizmami, zwłaszcza mikroorganizmami. Większość z nich prawdopodobnie nie była korzystna dla odbiorców i przez to została wykluczona w trakcie ewolucji.

Obliczono, że w ostatnich dwunastu latach w USA rosło około  $3,5 \times 10^{12}$  transgenicznych roślin, a w latach 1999 i 2000 ponad dwa tryliony (36). Od 1992 r. Ministerstwo Rolnictwa USA (USDA) wprowadziło 60 transgenicznych odmian do komercyjnej uprawy polowej (<http://www.isb.vt.edu/>), a farmerzy amerykańscy doceniając zalety tych odmian, wprowadzają je na pola w bardzo szybkim tempie. Brak jest jakichkolwiek doniesień naukowych o negatywnym wpływie tych roślin na środowisko.

## 7. Zalety GM roślin uprawnych dla środowiska

Znaczenie genetycznie zmodyfikowanych odmian roślin w uprawie będzie wzrastało ze względu na dwa istotne elementy. Po pierwsze, przyczyniają się one pośrednio do wzrostu plonowania, co będzie miało coraz większe znaczenie w wyżywieniu ludności na świecie, zwłaszcza w krajach trzeciego świata. Po drugie, umożliwiają znaczne ograniczenie zanieczyszczenia środowiska oraz ochronę bioróżnorodności. Według ONZ w 1900 r. na świecie żyło około 1,6 miliarda ludzi. Obecnie liczba ta wzrosła do 6 miliardów. Szacuje się, że w 2030 r. wyniesie ona 10 miliardów. Żeby sprostać zapotrzebowaniu na żywność, wydajność produkcji na uprawianym obszarze powinna do tego czasu wzrosnąć dwukrotnie. Wiele krajów nie jest w stanie wyżywić swojego społeczeństwa, ze względu na klimat lub inne ograniczenia warunków środowiska. Biotechnologia stwarza możliwość adaptacji roślin do niekorzystnych warunków (klimat suchy, mokry, zimny lub gorący, zasolenie). Dzięki podniesieniu plonowania, lepszej adaptacji do warunków środowiska, niższemu zużyciu środków ochrony roślin i lepszym właściwościom odżywczym znacznie łatwiej będzie uzyskać produkcję żywności na odpowiednim poziomie.

Istotną korzyścią dla środowiska jest i będzie zmniejszanie w coraz większym stopniu zanieczyszczenia środowiska poprzez obniżenie stosowania środków ochrony roślin, nawozów mineralnych itp. Na przykład wykorzystanie masy celulozowej do produkcji papieru z GM drzew pozwala na oszczędność wody i innych natural-

nych składników, zmniejszając przez to ilość odpadów poprodukcyjnych. Geny *Bt* kodują określone produkty toksyczne tylko dla pewnych owadów i obojętne dla ludzi i zwierząt. Umieszczenie ich w roślinach powoduje, że stają się one nietoksyczne dla innych grup owadów nie żerujących na nich. Ponadto technologie pozwalające na podniesienie produktywności na istniejącym obszarze uprawnym umożliwiają zachowanie naturalnych środowisk przy jednoczesnym zachowaniu wzrastającego zapotrzebowania na żywność.

## 8. Podsumowanie

Z uprawianych w 2001 r. 52,6 mln hektarów roślin transgenicznych, aż 35,7 mln hektarów przypadało na USA. Następnym krajem była Argentyna (11,8 mln ha) i Kanada (3,2 mln ha) (2). Od 1987 r. na polach rosły tryliony transgenicznych roślin. Mimo uprawy tak dużej liczby roślin na ogromnych przestrzeniach nie ma dziś danych, wskazujących na to, że mogą one zagrażać środowisku lub zdrowiu ludzi. Wręcz odwrotnie, biotechnologia roślin daje szansę wyżywienia rosnącej populacji ludzi na świecie jak i ulepszenia diety ludzi oraz zwierząt.

Negatywne opinie społeczeństwa na temat biotechnologii roślin opierają się głównie na obawach przed nieznanym. Z analizy tej wynika, że nie są one proporcjonalne do rzeczywistego ryzyka. W dużej części wynikają z niedoinformowania społeczeństwa o możliwościach, korzyściach i dotychczasowym funkcjonowaniu GM roślin w środowisku oraz rzeczywistych potencjalnych zagrożeniach.

## Literatura

1. Gianessi L. P., Carpenter J. E., (1999), *Natl. Center for Food and Agri. Policy*, Washington, DC.
2. James C., (2002), ISAAA Briefs No. 24, International Service for Acquisition of Agri-biotech Applications, ([www.isaaa.org](http://www.isaaa.org)).
3. Rommens C. M., Kishore G.M., (2000), *Cur. Opin. Biotech.*, 11, 120-125.
4. Tanksley S. D., Young N. D., Paterson A. H., Bonierbale M. W., (1989), *Biotechnology*, 7, 257-264.
5. Vega M., Bontoux L., Llobell A., (1999), *In Vitro Cell. Dev. Biol.-Plant*, 35, 432-435.
6. Skot L., Timms E., Mytton L. R., (1994), *Plant and Soil*, 163, 141-150.
7. Kearney B., Staskawicz B. J., (1990), *Nature*, 346, 385.
8. Diehn S. H., de Rocher E. J., Green P. J., (1996), in: *Genetic Engineering*, Ed. J. K. Setlow, 18, 83-99, Plenum Press, New York.
9. Nadolska-Orczyk A., (2001), *Biotechnologia*, 55, 100-107.
10. Daniell H., Khan M. S., Allison L., (2002), *Trends Plant Sci.*, 7, 84-91.
11. Joersbo M., Patersen S. G., Okkels F. T., (2000), *Physiol. Plant.*, 105, 109-115.
12. Puchta H., (2000), *Trends Plant Sci.*, 5, 273-274.
13. Ye X., Al-Babili A., Klott A., Zhang J., Lucca P., Beyer P., Potrykus I., (2000), *Science*, 287, 303-305.
14. Ewen S. W. B., Pusztai A., (1999), *Lancet*, 354, 1353-1355.
15. Losey J. E., Rayor L. S., Carter M. E., (1999), *Nature*, 399, 214.
16. Beringer J. E., (1999), *Nature*, 399, 405.
17. Hodgson J., (1999), *Nat. Biotechnol.*, 17, 627.

18. Wraight C. L., Zangerl A. R., Carroll M. J., Berenbaum M. R., (2000), *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 97, 7700-7703.
19. Palm C. J., Donegan K., Harris D., Seidler R. J., (1994), *Mol. Ecol.*, 3, 141-151.
20. Sims S. R., Holden L. R., (1996), *Environ. Entomol.*, 25, 659-664.
21. Shelton A. M., Tang J. D., Roush R. T., Metz T. D., Earle E. D., (2000), *Nat. Biotechnol.*, 18, 339-342.
22. Kuiper H. A., Noteborn P. J. M., Peinenburg A. C. M., (1999), *Lancet*, 354, 553-564.
23. Harrison L. A., Bailey M. R., Naylor M. W., Ream J. E., Hammond B. G., Nida D. B., Burnette B. L., Nickson T. E., et al., (1996), *J. Nutr.*, 126, 728-740.
24. Hashimoto W., Momma K., Yoon H. J., Ozawa S., Ohkawa Y., Ishige T., Kito M., Utsumi S., Murata K., (1999), *Biosci. Biotech. Biochem.*, 63, 1942-1946.
25. Gasson M., Burke D., (2001), *Nature Rev.*, 2, 217-222.
26. Gendel S. M., (1998), *Adv. Food Nutr. Res.*, 42, 63-92.
27. Mendieta N. L. R., Nagy A. M., Lints E. A., (1997), *J. Food Sci. Agric.*, 75, 405-411.
28. Chambers P. A., Duggan P. S., Heritage J., Forbes J. M., (2000/2001), *Nature Biotechnol.*
29. Prinks T. W., Zadoks J. C., (1994), *Euphytica*, 76, 133-138.
30. Raybould A. F., Gray A. J., (1993), *J. Appl. Ecol.*, 30, 199-219.
31. Ellstrand N. C., Hand S. C., Hancock J. F., (1999), *Ann. Rev. Ecol. Syst.*, 30, 539-563.
32. Crawley M. J., Brown S. L., Hails R. S., Kohrs D. D., Rees M., (2001), *Nature*, 409, 682-683.
33. Gasson M. J., (2000), *Curr. Opin. Biotechnol.*, 11, 505-508.
34. Schluter K., Futterer J., Potrykus I., (1995), *Biotechnology*, 13, 1094-1098.
35. Gebhard F., Smalla K., (1998), *Appl. Environ. Microbiol.*, 64, 1550-1554.
36. Stewart C. N. Jr., Richards IV, H. A., Halfhill M. D., (2000), *BioTechniques*, 29, 832-843.