

nia, tj. atrybutem jakości, który, podobnie jak wartość odżywcza, praktycznie nie może być dostrzeżony przez konsumenta. Wspecyfikowanie na etykiecie produktu informacji dotyczącej jego składu, w tym np. zawartości tłuszczu, kwasów tłuszczowych nasyconych, cholesterolu, umożliwi lepszy wybór produktów i właściwsze zestawianie posiłków. Należy jed-

nak szczególnie podkreślić, że nawet mięso o najwyższej jakości może stać się źródłem związków o działaniu mutagennym czy kancerogennym, jeżeli będzie nieprawidłowo przygotowane do spożycia, np. przypalone w czasie smażenia czy opiekania na ruszcie.

J. Przytucka

Modyfikacje genetyczne w produkcji roślinnej i zwierzęcej

Cz. III. Natura zmian dokonywanych w genomie roślin uprawnych oraz opinie na temat bezpieczeństwa żywności zmodyfikowanej genetycznie (gen-food)

Grzegorz Grzybowski

IGiHZ, PAN

W krajach, w których rynek artykułów konsumpcyjnych z kategorii gen-food szybko się powiększa (USA, Japonia), występują najsilniejsze obawy przed zagrożeniami środowiska stwarzanymi przez rośliny transgeniczne. Amerykańska Agencja Ochrony Środowiska (Environmental Protection Agency), międzynarodowa Unia Zaangażowanych Naukowców (Union of Concerned Scientist) oraz wiele lokalnych organizacji ekologicznych domagają się zawieszenia procedur rejestracji odmian transgenicznych do czasu uzyskania pełnych gwarancji bezpieczeństwa takich upraw. Także w Polsce zawiązana niedawno Międzynarodowa Koalicja dla Ochrony Polskiej Wsi uważa, że nie powinno się dopuszczać do produkcji i sprzedaży genetycznie zmodyfikowanych produktów spożywczych. W Polsce głównym aktem prawnym w sprawie organizmów genetycznie zmodyfikowanych jest **Rozporządzenie Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z 8 października 1999 r.** (Dz.U. Nr 86, poz. 962). Określa ono m.in.

– wymagania, jakim powinny odpowiadać wnioski o wydanie zezwoleń na zamierzone uwolnienie genetycznie zmodyfikowanych organizmów do środowiska w celach eksperymentalnych lub wprowadzenie do obrotu produktu zawierającego organizmy genetycznie zmodyfikowane lub składające się z takich organizmów albo ich części;

– wymagania, jakim powinna odpowiadać ocena zagrożenia dla środowiska i zdrowia ludzi załączona do wniosku

o wydanie zezwolenia na zamierzone uwolnienie genetycznie zmodyfikowanych organizmów do środowiska w celach eksperymentalnych lub wprowadzenie do obrotu produktu zawierającego organizmy genetycznie zmodyfikowane lub składające się z takich organizmów albo ich części oraz zakres badań i analiz niezbędnych do jej sporządzenia;

– wymagania, jakim powinny odpowiadać oznakowanie i opakowanie produktu wprowadzonego do obrotu zawierającego organizmy genetycznie zmodyfikowane lub składające się z takich organizmów albo ich części.

Treść podstawowych sformułowań zarządzenia (przytoczono je w dosłownym brzmieniu) jest, jak widać, ogólnikowa, a samo zarządzenie nie zawiera żadnej informacji o istocie zagrożeń stwarzanych przez genetycznie zmodyfikowane organizmy (GMOs – genetic modified organisms). Od 22 kwietnia 2000 r. wprowadzono w Polsce obowiązek znakowania takiej żywności. Chociaż termin „genetycznie zmodyfikowana żywność – gen-food” nie jest precyzyjny i można go różnie interpretować, jest jasne, że w tej kategorii mieszczą się m.in. produkty konsumpcyjne wytworzone w całości lub z komponentów roślin transgenicznych.

Celem niniejszego artykułu jest omówienie istoty i głównych kierunków genetycznej modyfikacji roślin uprawnych oraz zaprezentowanie poglądów i opinii na temat bezpieczeństwa gen-food. Możliwość wystąpienia niezamierzonych efektów transgenezy roślin uprawnych i związanych z nimi zagrożeń dla zdrowia publicznego najobszerniej udokumentowano na przykładzie transgenicznej soi (*Glycine max*). Genetycznie zmodyfikowana soja zawierała białko zapożyczone z orzesznicy wyniosłej (potocznie zwanej brazylijskim orzechem), które okazało się silnie alergenne dla ludzi (zagadnienie to omówiono w „Przeglądzie Hodowlanym”, nr 4/2001).

Przypadek orzech brazylijski → soja, należy jednak uznać za wyjątkowy, ponieważ orzech brazylijski jest jadalny. Cel i natura modyfikacji roślin uprawnych dokonywanych metodami inżynierii genetycznej są z reguły zupełnie inne. W większości wypadków transgeneza roślin nie ma na celu polepszenie wartości odżywczej produktów, lecz jest ukierunkowana na nadawanie roślinom takich cech, jak: odporność na herbicydy, odporność na wirusy, insekty itd. Chodzi zatem o właściwości nie mające bezpośredniego związku z dietą człowieka, lecz ze zwiększeniem „uprzemysłowienia” rolnictwa i osiąganiem większego zysku z produkcji. W tabelach 1 i 2 przedstawiono cechy roślin poddawane modyfikacjom genetycznym oraz źródła, z których zapożyczono transgeny.

Istotę genetycznych modyfikacji można zilustrować na przykładzie transgenicznych roślin uprawnych odpornych na herbicydy. Mianowicie uważa się, że chemiczne zwalczanie chwastów jest ekonomicznie uzasadnione, jeśli prognozy wskazują, że zajmą one 10% powierzchni uprawnej. Wprowadzanie transgenicznych odmian roślin odpornych na herbicydy podyktowane jest zatem wyłącznie rachunkiem ekono-

Tabela 1

Nowe cechy wprowadzone do roślin uprawnych technikami inżynierii genetycznej

Cecha	Roślina uprawna
Odporność na środki chwastobójcze (glyphosate, glufosinate)	rośliny oleiste, soja, buraki cukrowe, kukurydza
Sterylnosc męska	kukurydza, cykoria, rośliny oleiste
Odporność na szkodniki (insekty)	ziemniaki
Odporność na wirusy	buraki cukrowe, ziemniaki, pomidory
Opóźnienie dojrzewania	buraki cukrowe, melony
Podniesiona jakość substancji zapasowych	ziemniaki

micznym. Jeśli koszty wprowadzenia i uprawy odmiany transgenicznej okażą się niższe niż środki konieczne na bezpośrednią (chemiczną) ochronę roślin przed chwastami, nadawanie poprzez transgenezę cech odporności na herbicydy nie jest ekonomicznie uzasadnione. Sposób eksperymentalnego podejścia do takich manipulacji zilustrować można na przykładzie transgenicznych buraków cukrowych. Preferowane są dwa sposoby nadawania burakom cech odporności na środki ochrony roślin, najczęściej na herbicydy fosforoorganiczne (związki te uznaje się za „przyjazne” dla środowiska, ponieważ zachowują stabilność w roślinie, a są szybko degradowane przez bakterie glebowe).

Środek chwastobójczy nie działa jednak w sposób wybiórczo „przyjazny” dla rośliny uprawnej, niszcząc wyłącznie chwasty. Na przykład glyphosate (znany w handlu jako roundup) działa zabójczo w ten sposób, że unieczynnia w roślinie enzym EPSP (5-enolpyruwylshikimate-3-phosphate synthase) potrzebny do syntezy tryptofanu, tyrozyny i fenyloalaniny – najważniejszych aminokwasów, umożliwiających roślinie wegetację. Środek ten (oraz herbicydy w ogóle) musi być zatem stosowany w takiej koncentracji, aby zniszczyć chwasty i nie zaszkodzić zbyt roślinie uprawnej. Należy przy tym pamiętać, że roundup działa zabójczo na większość traw; zidentyfikowano co najmniej 74 gatunki roślin zagrożonych stosowaniem herbicydów z tej grupy.

Omawiane związki chemicznej ochrony roślin ograniczają wiązanie azotu w glebie, a także są toksyczne dla wielu gatunków grzybów niezbędnych do obiegu składników pokarmowych w glebie. Stosowanie na dużą skalę tych wysoko toksycznych i mało wybiórczych środków prowadzi do eliminacji wielu lokalnych gatunków roślin i odmian uprawnych, zagrażając w ten sposób nie tylko żyzności gleby, lecz i ludzkiemu zdrowiu.

Jakiej więc manipulacji genetycznej należy dokonać, aby skutecznie zniszczyć wszystko, oprócz buraków cukrowych? Należy poprzez inżynierię genetyczną zmodyfikować genom buraków tak, aby stały się mało wrażliwe na środek chemiczny i można go było zastosować w dużej koncentracji. Urzeczywistniono to w ten sposób, że zapożyczając szczególną mutację z genomu petunii i przenosząc ją do genomu buraków, wytworzono buraki transgeniczne produkujące bardzo duże ilości wspomnianego enzymu EPSP. W ten sposób ograniczono niszczący wpływ roundupu na buraki transgeniczne, ponieważ środek chemiczny nie był w stanie całkowicie unieczynnić enzym EPSP. Innym podejściem umożliwiającym nabycie przez buraki cech odporności na herbicyd było przeniesienie transgenu zapożyczonego z mikroorganizmów. W wyniku tej manipulacji transgeniczne buraki zyskiwały

Tabela 2

Źródła, z których pozyskiwano informację genetyczną ("dawcy genów") do zmodyfikowania cech roślin uprawnych

Zmodyfikowana cecha	"Dawcy genów"
Odporność na środki chwastobójcze glyphosate (roundup) glufosinate	zmutowana petunia, bakteria glebowa bakteria <i>Streptomyces hygroscopicus</i>
Sterylnosc męska	bakteryjna RNA-aza
Odporność na szkodniki (insekty)	bakteria <i>Bacillus thuringiensis</i>
Odporność na wirusy	białko otoczki wirusa
Późno dojrzewające (długo przechowujące się) pomidory	antysensowy gen pomidora, bakteria, wirus
Soja wzbogacona w aminokwasy obfitujące w siarkę	orzec brazylijski

zdolność skuteczniejszego degradowania środka chwastobójczego wnikać do rośliny. Ogólnie biorąc, wytwarzanie transgenicznych roślin uprawnych odpornych na herbicydy, pestycydy, insekty itd. nie ma na celu ograniczenia chemizacji upraw, lecz stworzenie możliwości stosowania środków chemicznych na dużą skalę.

Z podanych przykładów wynika, że istota modyfikowania roślin przez transgenezę w celu uzyskania przez nie nowych właściwości polega na istotnej przebudowie ich metabolizmu, z zachowaniem cech charakterystycznych dla danej odmiany uprawnej. Należy przy tym jednak podkreślić, że większość transgenów wprowadzonych do roślin uprawnych (tzn. organizmów jadalnych) zapożyczono z genomu organizmów, które nie są źródłem pożywienia dla człowieka.

Powstaje więc problem: Jak określić możliwe zagrożenia dla zdrowia człowieka i zwierząt ze strony takich nowych źródeł pożywienia, skoro nie ma informacji na temat wpływu na organizm białek pochodzących z niejadalnych źródeł? Wydaje się, że występowanie i diagnostyka alergii są najlepszą ilustracją potencjalnych zagrożeń, stwarzanych przez produkty konsumpcyjne z kategorii gen-food. Jeśli transgen (i związany z nim składnik) wprowadzony do rośliny jadalnej pochodzi z organizmu niejadalnego, medycyna nie dysponuje narzędziami obiektywnej diagnostyki alergennego potencjału takich produktów.

Dotychczasowe próby opracowania testów prognostycznych na zwierzętach doświadczalnych nie przyniosły zadowalających rezultatów. Wydaje się, że głównym źródłem kontrowersji na temat (nie)bezpieczeństwa gen-food jest różnie (z)rozumienie zagadnień genetycznych. Z reguły największa polaryzacja stanowisk występuje przy odpowiedzi na pytanie: Czy istnieje znacząca równoważność między roślinami normalnymi a transgenicznymi?

Zakładając istnienie **znaczącej równoważności** między organizmem normalnym a transgenicznym przyjmuje się założenie, że organizm zależy wyłącznie od sumy posiadanych genów. Bo skoro geny decydują o charakterze organizmu, to identyfikując gen możemy przewidzieć pożądaną lub niepożądaną cechę, a poprzez transfer genu przenosimy związaną z nim cechę. Funkcja genu może być zatem zdefiniowana jako coś niezależnego od wszystkich pozostałych, natura genów jest stała i może być oddzielona od wpływu otoczenia. Wobec tego należałoby uznać, że zasady konstruowania oraz materia tworzenia roślin transgenicznych są jak najbardziej naturalne, jedyna różnica to warunki, w jakich proces ten się odbywa – określony ogólnie jako *in vitro*.

Natomiast stanowisko i argumentację środowisk związanych z ochroną zdrowia publicznego i ochroną naturalnego środowiska zreasumować można następująco: nie istnieje znacząca równoważność między organizmami normalnymi a transgenicznymi. Jedną z podstawowych funkcji genów jest kodowanie tysięcy enzymów katalizujących tysiące reakcji metabolicznych w organizmie, które dostarczają energii dla wszystkich funkcji życiowych. Te metaboliczne reakcje tworzą skomplikowaną sieć, w której produkt jednego genu jest substratem dla innych. Żaden enzym ani gen nigdy nie działają w izolacji, tylko w określonym „genetycznym tle”. W konsekwencji ten sam gen daje różne efekty w genomach różnych osobników. Podczas gdy konwencjonalne metody hodowlane doprowadzają do przetasowania różnych naturalnych wersji tych samych genów (alleli), to inżynieria genetyczna umożliwia wprowadzanie zupełnie nowych (egzotycznych) genów z **nieprzewidywanym efektem** na fizjologię i biochemię otrzymanych organizmów transgenicznych.

Z punktu widzenia oceny potencjalnych zagrożeń dla zdrowia ludzi i zwierząt przez gen-food najistotniejszy wydaje się wspomniany nieprzewidywany efekt na fizjologię i biochemię otrzymanych organizmów transgenicznych (co przenosi się na nieprzewidywany efekt u człowieka spożywającego takie pożywienie). Zgromadzono wiele obserwacji na temat interakcji genotyp x środowisko u organizmów normalnych i wydaje się, że kwestia ta ma podstawowe znaczenie dla przewidywania efektów transgenezy. Nauka nie dysponuje dotychczas narzędziami odpowiedniej kontroli nad czasem, ilością ani miejscem integrowania się obcego DNA w genomie, co sprawia, że o ile procesy te w ogóle zachodzą, przebiegają bez świadomego udziału eksperymentatora. Przypadek zatem decyduje czy transgen zintegrowany zostanie w genetycznie aktywnym rejonie genomu, czy i jakemu oddziaływaniu innych przypadkowych elementów genetycznych zacznie następnie podlegać, jakie będą czynnościowe następstwa takiego stanu rzeczy itd. W jednym z referatów prezentowanych na I Krajowym Kongresie Biotechnologii (Wrocław, 20-25 września 1999 r.) stwierdzono: „z wykonanych dotychczas eksperymentów, z których tylko część zweryfikowano w uprawach polowych wynika, że jest możliwa korzystna modyfikacja metabolizmu węglowodanów w roślinach za pomocą manipulacji genetycznych, jednak uzyskiwane **rośliny transgeniczne wielokrotnie zaskakują nieoczekiwanymi zmianami w innych niż modyfikowane etapach metabolizmu oraz fenotypem**”.

Występowanie nieoczekiwanych efektów transgenezy – to zjawiska dobrze znane także w dziedzinie badań nad zwierzętami. U genetycznie zmienionych osobników często występują poważne zaburzenia zdrowotne, co powoduje, że transgeniczne zwierzęta często nie nadają się do chowu ani tym bardziej do hodowli. Ryzyko wystąpienia nieoczekiwanych efektów transgenezy jest więc związane z samą techniką i wprowadzaniem nowej informacji do genomu, a nie z rodzajem obiektu biologicznego (roślina, zwierzę) poddawane go takim genetycznym modyfikacjom.

Wydaje się, że biorąc pod uwagę przedstawione problemy związane z efektami transgenezy zasadny jest postulat, aby przy ocenie bezpieczeństwa produktu transgenicznego brano pod uwagę całkowity profil produkowanych białek oraz produkowanych metabolitów, a nie tylko ten wycinek metabolizmu, który jest bezpośrednio związany z wprowadzonym tran-

sgenem. Nie można wykluczyć, że odmienne podejście do sposobu i zakresu zabezpieczeń przed wprowadzaniem na rynek produktów z kategorii gen-food może wynikać z przesłanek o zupełnie niegenetycznym charakterze. Konieczność rozszerzenia profilu badań przed dopuszczeniem na rynek takich produktów wiązałaby się z koniecznością poniesienia przez producentów dodatkowych kosztów badań, opóźniłaby procedurę komercjalizacji produktu itd. W tej sytuacji albo finansowe zyski firm musiałyby być uszczuplone, albo koszty produktów musiałyby być odpowiednio droższe, co obniżałoby rynkową konkurencyjność gen-food z produktami normalnymi.

Organizacje zachodnich ekologów przestrzegają przed niekontrolowanym napływem ze Stanów Zjednoczonych do Europy Środkowej nasion i zbóż poddanych genetycznym zmianom. Mutanty z importu dostają się do łańcucha żywnościowego w postaci materiału nasiennego, składników pasz i artykułów żywnościowych, co może mieć bezpośredni wpływ na zdrowie i życie ludzi. Raport sporządzony przez zachodnie organizacje ekologiczne skrytykował Polskę, Bułgarię i Czechy za to, że za wydawanie zezwoleń o dopuszczeniu na rynek odpowiedzialne są w tych krajach te same osoby, które prowadzą doświadczenia nad GMOs.

Możliwości dokonywania zmian w genomie roślin metodami inżynierii genetycznej daleko przewyższają możliwości trafnego przewidywania zagrożeń zdrowia publicznego mogących zaistnieć w wyniku transgenezy odmian roślin uprawnych. Za punkt wyjścia do rozważań nad zagrożeniami zdrowia publicznego należy przyjąć fakt, że liczba nowych przypadków tzw. chorób cywilizacyjnych (alergie, choroby nowotworowe itd.) jest coraz większa, co przypisuje się wzrastającej chemizacji środowiska. Dotychczas nie rozpoznano przyczyn takiego stanu rzeczy. W wyniku transgenezy może dojść do przeniesienia do organizmów będących źródłem pożywienia człowieka właściwości mających wpływ na zdrowie (np. przeniesienie alergenów). Nawet gdyby skala takich manipulacji była niewielka, z uwagi na fakt, iż problem dotyka kluczowej kwestii egzystencjalnej (zdrowie), powinien być traktowany i rozwiązywany poprzez intensyfikację wszechstronnych badań naukowych.

Obecnie nie ma skutecznego sposobu prognozowania zagrożeń stwarzanych przez gen-food, w której obecna jest informacja genetyczna (transgen) zapożyczona ze źródeł niejadalnych. W wykładzie, wygłoszonym w Sejmie RP 29 marca 2001 r., sir Julian Rose, ekspert Brytyjskiej Agencji Rozwoju Wsi powiedział m.in. „Wspólna Polityka Rolna/Unia Europejska promująca **dotacje do agrochemicznej produkcji żywności** jest również w odwrocie. UE przez ostatnie 35 lat forsowała strategię, w wyniku której wyrugowano 1,2 mln brytyjskich rolników z ziemi, zniszczono 90 000 km zalesień międzypolnych. W konsekwencji doprowadziło to do wyginięcia 90% łąkowych gatunków roślin i zwierząt. Strategia ta również zniszczyła regionalną, wiejską żywność, która jest podstawą kulinarnych tradycji Europy. Polityka ta doprowadziła do kryzysu BSE i pryszczycy, które zniszczyły brytyjskie rolnictwo i zastraszyły resztę Europy”. ... „Jestem w Polsce po to, aby ostrzec Was Polaków, byście nie powtórzyli naszych błędów i nie zniszczyli swojej wsi w taki sposób, w jaki my doświadczyliśmy tego w Anglii. Jestem w Polsce by nakłonić Was do podjęcia zdecydowanych kroków w kierunku ochrony swych pięknych, zróżnicowanych i małych gospodarstw, a co za tym idzie swych wspaniałych produktów żywnościowych”.