

Rośliny transgeniczne a alergia

Prof. dr hab. med.
Cezary Pałczyński

Kierownik Kliniki Alergologii I
Zdrowia Środowiskowego IMP
im prof. J. Nofera, Łódź

Ś R O D O W I S K O – A N T Y G E N Y

Transgenic plants and allergy

S U M M A R Y

GM crops have great potential to increase production of food and improve quality of foodstuffs. Moreover, they can decrease chemical pesticides' using. There are still major concerns about GM food among the public and researchers. With the development of GM crops, there have been a growing interest in appropriate approach to asses their potential allergenicity. Allergenicity assessment of GM plants is one of the key points in the safety assessment process of food products and numerous methods have been developed to asses potential risks of allergy. Most of these methods are not standardized and their results cannot predict safety with 100% level of confidence. GM plants can be also a source of hypoallergic food products. GM crops may create a risk for biodiversity, thus the consequences, also from allergologic point of view, are still unknown.

Uprawa roślin genetycznie modyfikowanych (GM) pozwala na zwiększenie produkcji i poprawę jakości produkowanej żywności oraz spadek zużycia chemicznych pestycydów. Skutki wprowadzenia upraw żywności GM ciągle budzą niepokój opinii publicznej i kontrowersje w środowisku naukowym, w tym także odnośnie potencjalnego działania alergizującego takich roślin i produktów z nich uzyskanych. Ocena działania alergizującego produktów z roślin GM stanowi jeden z podstawowych elementów oceny bezpieczeństwa ich użycia. Jakkolwiek wiele metod znalazło tu zastosowanie, to jednakże w większości nie są one standaryzowane, a wyniki uzyskane z ich użyciem nie dają 100% gwarancji bezpieczeństwa testowanego produktu pod względem alergologicznym. Rośliny GM mogą być również źródłem żywności hipoaergiczej. Uprawy GM stanowią zagrożenie dla bioróżnorodności, a konsekwencje takiego oddziaływania, również z punktu widzenia alergologii, są trudne do przewidzenia.

Pałczyński C.: Rośliny transgeniczne a alergia. *Alergia*, 2014, 4: 13-16

Międzynarodowa Organizacja Zdrowia zdefiniowała organizmy modyfikowane genetycznie (ang. Genetically Modified Organisms – GMO) jako organizmy, których materiał genetyczny został zmieniony w sposób nienaturalny (1). Organizmy podlegające modyfikacji genetycznej stanowią jednak w rzeczywistości składnik środowiska naturalnego, pojawiając się w wyniku spontanicznych zmian genetycznych (mutacji). Użycie tradycyjnych metod hodowli w przeciągu ostatnich tysiącleci spowodowało przyspieszenie tych zmian.

Następstwem szybkiego rozwoju genetyki, a w szczególności opracowania metod modyfikacji garnituru genetycznego (zastosowanie enzymów restrykcyjnych wycinających geny i ligaz łączących je w plazmidy oraz metod wprowadzania i uaktywniania w komórce docelowej nowego rekombinowanego DNA z użyciem wektora – bakterii, metody balistycznej - tzw. strzelby genowej lub mikroiniekcji), technologie genetyczne są najbardziej dynamicznie rozwijającym się sektorem biotechnologii osiągając coraz większy wpływ na produkcję żywności w skali globalnej, techniki środowiskowe i ochronę zdrowia. Dotyczy to takich dziedzin jak hodowla, fermentacja żywności i kultury starterowe, technologia enzymów, produkcja składników i dodatków do żywności z wykorzystaniem żywych organizmów, biosensory i metody analityczne, biologiczne przetwarzanie odpadów i produktów ubocznych (2).

- W procesie uzyskiwania pierwszej generacji roślin genetycznie modyfikowanych (GM) zwrócono uwagę na cechy umożliwiające zwiększenie opłacalności produkcji rolnej tj. wzrost tolerancji na herbicydy i odporności na szkodniki – owady oraz infekcje wirusowe, planując w przyszłości uzyskanie odmian odpornych na suszę, zasolenie i zmiany temperatury.
- W przypadku drugiej generacji roślin GM poświęca się szczególną uwagę cechom jakościowym uzyskiwanych roślin, istotnych z punktu widzenia m.in. zawartości substancji odżywczych i walorów smakowych.

Wprowadzane zmiany można sklasyfikować w następujący sposób:

- 1) modyfikacja oleju np. przez zwiększenie wytwarzania n-3 wielonienasyconych kwasów tłuszczowych o długim łańcuchu lub sprzężonego kwasu linolowego w roślinach,**
- 2) modyfikacja białka np. przez poprawę jego jakości (zwiększenie poziomu określonych aminokwasów),**
- 3) modyfikacja węglowodanów. Przykładami mogą być tutaj zwiększenie zawartości skrobi poprzez regulację jej kompleksu enzymatycznego, czy też zwiększenie poziomu produkcji specyficznych pektyn.**
- 4) modyfikacja cech sensorycznych np. zwiększenie słodkości owoców lub zawartości związków aromatycznych.**
- 5) ulepszenia pod względem właściwości prozdrowotnych oraz składu, w tym również udoskonalenie składników nie spożywczych. Przykładami mogą być tu zwiększenie zawartości fitosterolu w roślinach służących do wytwarzania żywności funkcjonalnej (probiotycznej, nutricentrycznej) tj. żywności, której prócz podstawowej funkcji jakim jest odżywianie przypisuje się psychologiczny lub fizjologiczny wpływ na organizm ludzki (np. obniżenie poziomu cholesterolu czy też przywrócenie równowagi mikrobiologicznej układu pokarmowego); zmniejszenie alergenicności czy też uzyskanie odmiany ryżu o wysokiej zawartości witaminy A i żelaza (3).**

W 2010 r. areał upraw roślin transgenicznych na świecie wynosił 150 mln. ha. W Europie rolnicy uprawiają jedynie kukurydzę Bt (odporna na owadziego szkodnika - omacnicę prosowiankę) oraz ziemniak AMFLORA (odmiana przemysłowa nie nadająca się do konsumpcji), na łącznym obszarze ok. 100 000 ha.

W Polsce obowiązuje zakaz handlu materiałem siewnym GM, natomiast nie ma zakazu produkcji rolnej – uprawa roślin GM jest legalna (4).

Argumenty za i przeciw GMO

Argumenty za

Manipulacje genetyczne znajdujące zastosowanie w skali globalnej, z przyczyn oczywistych, budzą obawy i są przyczyną nieustającej dyskusji zarówno w kręgach nauki, przemysłu, organizacji ochrony środowiska naturalnego jak i konsumentów. Argumentami przytaczanymi za wprowadzaniem GMO są przede wszystkim możliwość zwiększenia produkcji żywności w skali ogólnoswiatowej przy jednoczesnym obniżeniu jej kosztów; zwiększenie wartości odżywczej pokarmów, w tym uzyskanie produktów o szczególnym składzie, przeznaczonych dla celowanych populacji o ustalonych niedoborach żywieniowych; uzyskanie żywności o zmniejszonej alergenicności i żywności funkcjonalnej, szczepionek i innych tego typu produktów o właściwościach prozdrowotnych i leczniczych. Ponadto podnosi się możliwości wydłużenia czasu przechowalności owoców i warzyw oraz stosowania zabiegów uprawowych bardziej przyjaznych dla środowiska naturalnego.

Argumenty przeciw

Argumenty strony przeciwnej to niebezpieczeństwo zdrowotne GMO, zagrożenia dla środowiska naturalnego oraz aspekty etyczne zastosowania technologii genetycznych – te ostatnie dotyczą głównie transferu genów pomiędzy organizmami genetycznie nie spokrewnionymi. Zwraca się uwagę także na możliwy lobbing wielkich korporacji biotechnologicznych i producentów żywności zainteresowanych we wprowadzaniu technologii genetycznych z przyczyn czysto merkantylnych.

Wśród naukowców przeważa pogląd, że obiekcje co do zagrożenia dla zdrowia i środowiska nie mają rzetelnych podstaw (2).

Analizując zagrożenia związane z wprowadzaniem genetycznie modyfikowanych roślin uprawnych i produktów żywnościowych należy brać pod uwagę toksyczność białek kodowanych przez nowy r-DNA i związanych z nim nowych metabolitów; ryzyko uwolnienia nowego genu do środowiska (przepływ pionowy tj. do następnych generacji); wpływ zmodyfikowanych roślin na populację owadów; alergenicność żywności wytworzonej z GMO (właściwości każdego białka muszą zostać określone za pomocą metod immunologicznych w tym in vivo a także pod względem fizykochemicznym); bezpieczeństwo biologiczne; ryzyko stosowania markerów oporności na antybiotyki jako indykatorów skutecznej implantacji genów oraz rozprzestrzenianie się genów na skutek ich przepływu poziomego (do innych, genetycznie nie spokrewnionych organizmów).

Programy badawcze

W ramach programów badawczych UE (realizowanych przez ponad 500 grup badawczych kosztem 500 mln. euro) nie stwierdzono, że korzystanie z GMO prowadzi do większego zagrożenia dla człowieka i środowiska naturalnego niż organizmy nietransgeniczne. Rutynowe prace kontrolne realizowane przez EFSA (European Food Safety Authority, Europejski Urząd Bezpieczeństwa Żywności) oraz badawcze JRC (Joint Research Center, Połączone Ośrodki Badawcze) potwierdzają powyższy wynik stanowiąc podstawę merytoryczną dla stanowiska Komisji Europejskiej (2).

Stanowisko Komitetu Biotechnologii Polskiej Akademii Nauk „Nowe technologie szansą polskiej gospodarki: GMO dla przemysłu i rolnictwa” jest także jednoznaczne. W raporcie tym podkreślono, że genetycznie zmodyfikowana żywność od 20 lat spożywają miliony ludzi, głównie w krajach Ameryki Północnej i Południowej a paszami karmione są miliardy sztuk bydła i drobiu.

Z leków, szczepionek i preparatów diagnostycznych pozyskiwanych z genetycznie modyfikowanych organizmów korzystają miliony ludzi na całym świecie, w tym także w Polsce. Nigdy i nigdzie nie doprowadziło to do przypadku zagrożenia ludzkiego zdrowia czy też zdrowia zwierząt. Wszelkie, bardzo rygorystyczne badania, oceniane przez takie organizacje jak FDA i EFSA, odpowiedzialne za bezpieczeństwo żywności i leków, wykazały, że produkty otrzymywane z GMO są bezpieczne.

Przeciwnicy GMO publikują głównie na stronach internetowych posługując się bardzo nielicznymi, przeważnie niezweryfikowanymi przez innych badaczy publikacjami naukowymi. Aktualnie obserwujemy proces wycofywania się z twierdzeń o bezpośrednim zagrożeniu zdrowia ludzkiego przez GMO, natomiast podnosi się kwestie negatywnego oddziaływania na przyszłe pokolenia i środowisko naturalne (6).

Konsekwencje społeczne

Nie można pominąć także istotnych potencjalnych konsekwencji społecznych uprawy GMO w Polsce, w tym głównie zdeterminowania kierunku rozwoju polskiej wsi i rolnictwa. W wyniku wprowadzenia GMO może wystąpić mechanizm ekonomiczny tzw. „zależności od ścieżki”, skutkiem czego alternatywne drogi rozwoju obszarów wiejskich (np. rolnictwo ekologiczne) staną się niedostępne. Podnosi się także możliwość zdominowania rynku rolnego w Polsce przez globalne korporacje. Biotechnologia rolnicza została opanowana przez światowe koncerny nasienne sprzedające nie tylko materiał siewny ale także produkty chemiczne – nawozy i środki ochrony roślin. Tylko na korporację Monsanto (USA) przypada 20% światowej sprzedaży nasion i jest ona jednocześnie największym na świecie sprzedawcą herbicydów. Otwarcie rynku rolnego w Polsce na GMO może jeszcze bardziej wzmocnić silną pozycję koncernów rolnych w naszym kraju.

Istotnym problemem jest także ryzyko konfliktu interesów i nielegalnego lobbingu. Naukowcy (często należący do elity badaczy i będący kluczowymi liderami opinii społecznej ang. key opinion leaders – KOLs), prowadzący badania dla firm biotechnologicznych, mogą znajdować się w konflikcie interesów między interesem publicznym a interesem własnym i prywatnych firm. Może wystąpić także negatywne zjawisko „ekspertyzacji” decyzji z pominięciem głosu opinii publicznej, prowadząc do redukcji zaufania do polityków i świata nauki (4)

Reasumując – nie ma możliwości sformułowania 100% gwarancji bezpieczeństwa co do technologii GMO, a najczęściej podnoszone kwestie to niekontrolowane przekrzyżowania międzygatunkowe, wbudowanie genów funkcjonalnych z pożywienia do genomu konsumenta, nabycie oporności na antybiotyki i wywołanie alergii.

Rośliny GM a alergia

Wprowadzenie pożądanego genu lub genów do genomu modyfikowanego organizmu związane jest z użyciem odpowiedniego wektora zawierającego inne geny – przynajmniej promotory wirusowe, terminatory transkrypcji, markery oporności na antybiotyki i geny reporterowe.

DNA nie zawsze jest całkowicie rozkładane w przewodzie pokarmowym, a bakterie jelitowe mogą wychwytywać geny i zmodyfikowane genetycznie plazmidy, co potencjalnie umożliwia rozprzestrzenianie się zjawiska antybiotykooporności.

Wprowadzenie nowych genów może także wyrzucić wpływ na czynność genomu gospodarza prowadząc do pojawienia się nowych składników o nieznanym własnościach toksycznych czy też alergizujących (7). Tym samym ocena alergogeniczności roślin GM stanowi bardzo istotny problem dla przemysłu spożywczego (8).

Proces wytworzenie nowej rośliny uprawnej modyfikowanej genetycznie zajmuje od 8 do 12 lat, z czego 4 lata przypadają na badania bezpieczeństwa i badania środowiskowe. W chwili obecnej brak jest powszechnie akceptowanego i obowiązującego światowego standardu postępowania w odniesieniu do produktów żywnościowych wytworzonych z organizmów genetycznie modyfikowanych (9). Codex Alimentarius Commission (Codex), organizacja działająca pod auspicjami WHO (ang. World Health Organization) i FAO (ang. Food and Agriculture Organization) próbuje zharmonizować badania bezpieczeństwa żywności GMO w skali światowej. Wytyczne dotyczące bezpieczeństwa żywności Codex, opublikowane w 2009 roku, zawierają wymagania w zakresie wyczerpującej oceny potencjalnej alergenicności (10).

Ocena potencjału alergizującego roślin GM

Międzynarodowe organizacje, takie jak International Food Biotechnology Council i International Life Science Institute, pierwsze zaproponowały schemat postępowania, który miał pozwolić określić, czy nowy gen wprowadzony do rośliny może się przyczynić do pojawienia się w komórkach roślin białek mogących mieć własności alergenów. Przed wprowadzeniem na rynek żywnościowy produktów z roślin GM zalecono wykonanie następujących badań białek kodowanych przez geny implantowane do genomu roślinnego. Są to:

- Zbadanie, czy nowe białko nie wykazuje identyczności serologicznej z białkiem o znanym potencjale alergizującym
- Określenie, czy nowe białko nie wykazuje podobieństwa w strukturze chemicznej lub sekwencji aminokwasowej ze znanymi alergenami białkowymi
- Dokonanie oceny, czy nowe białko jest odporne na trawienie przez enzymy przewodu pokarmowego.

Wymienione badania jednak tylko prawdopodobnie mogą w znaczącym stopniu przyczynić się do poznania potencjalnych własności alergizujących nowego białka (wg. 11).

Przewidywanie potencjału alergizującego roślin genetycznie modyfikowanych bazuje głównie na ocenie źródła pochodzenia nowo wprowadzanego genu (sprawdzenie, czy istnieją informacje dotyczące wytwarzania alergenów przez roślinę będącą donatorem genu) oraz ocenie charakterystyki białka przezeń kodowanego. Jeżeli to białko jest scharakteryzowane słabo – rodzi to istotny problem dla wykonania prawidłowej oceny. Proces ewaluacji obejmuje źródło genu, porównanie homologii sekwencji aminokwasów w porównaniu ze znanymi alergenami, ocenę reaktywności surowiczej IgE od uczulonych chorych i stabilności białka w obecności enzymów (12, 13). Przyjęcie takiej strategii umożliwiło identyfikację bogatej w metioninę albuminy 2S z orzecha brazylijskiego, jako głównego alergenu orzecha tego gatunku (Ber e 1). Gen orzecha został transfekowany do genomu soi celem wzbogacenia białka sojowego w metioninę. Dalszy rozwój badań nad uzyskaniem tak zmodyfikowanej soi przerwano, a materiał badawczy zniszczono (14).

Analiza podobieństwa sekwencji aminokwasowej do znanych alergenów pozwala określić, czy białko należy do tej grupy lub też, jeżeli homologia sekwencji przekracza 50%, może wywołać reakcje krzyżowe. Wartość predykcyjna takiej analizy nie jest jednak w obecnej chwili możliwa do wyznaczenia (13).

Większość alergenów pokarmowych jest ciepłostabilna i odporna na działanie enzymów żołądkowych. Tym samym stwierdzenie odporności białka na trawienie przez ww. enzymy może wskazywać na możliwość jego przedostania się do dalszych odcinków przewodu pokarmowego (co będzie sprzyjało wywołaniu potencjalnej reakcji alergicznej), a także na stabilność linearnych epitopów antygenowych (epitopy konformacyjne ulegają łatwo

zniszczeniu pod wpływem enzymów). Taka stabilność może być też wskaźnikiem odporności epitopów alergenowych na procesy enzymatyczne zachodzące w komórkach prezentujących antygen. Jednakże wyniki badań porównujących pod względem odporności na trawienie enzymatyczne alergeny z białkami nie wykazującymi własności alergenowych, nie zawsze pozwalały na odróżnienie alergenów od białek nie będących alergenami, czy też białek o nieznanym potencjale alergizującym. Tym samym wykonanie testu stabilności enzymatycznej celem uzyskania właściwej oceny alergizującego działania białka, podobnie jak i analiza porównawcza sekwencji aminokwasowej, nie jest wystarczające.

Ograniczenia pełnej wartości oceny potencjału alergizującego płyną także z oceny wiązania IgE z surowic osób uczulonych. Jest to uwarunkowane m.in. dostępnością surowic wzorcowych – szczególnie w przypadku rzadko spotykanych alergenów i wiąże się także z niemożliwością precyzyjnego zdefiniowania wzorca. (12, 13). Ponadto większość transferowanych genów pochodzi ze źródeł o nieznanym potencjale alergizującym.

Zaleca się wykonanie oznaczeń serologicznych więcej niż jedną metodą (np. ELISA i SDS-PAGE). Należy pamiętać, że wiązanie IgE może występować jedynie np. przez pojedynczy epitop, a zatem bez możliwości wywołania degranulacji komórki tucznej czyli zaobserwowane zjawisko nie ma istotnego znaczenia (13).

Badania nad bezpieczeństwem

Badania *in vivo* u ludzi (wykonanie testów punktowych u potencjalnie uczulonych osób) budzą wątpliwości natury etycznej – przecież nie są one w tym przypadku przeprowadzane ze wskazań medycznych .

Istotnym uzupełnieniem zaproponowanego wcześniej zestawu badań jest wykorzystanie zwierząt doświadczalnych do ewaluacji potencjału alergizującego białek poprzez ocenę odpowiedzi immunologicznej na podane białko, na podstawie pomiaru zmian w stężeniu immunoglobulin IgE. Przykładowo myszy szczepu BALB/c płci żeńskiej są eksponowane na wybrane stężenia testowanego białka. Białko wprowadzane jest na drodze dwukrotnej iniekcji dootrzewnowej w odstępach siedmiodniowym. W kolejnych odstępach czasu pobierana jest krew, w surowicy której oznacza się asIgE oraz stężenie IgG.

Takie postępowanie umożliwia określenie potencjału alergizującego białka w oparciu o zdolność do wywoływania produkcji przeciwciał IgE oraz odróżnienia go od białek nie będących alergenami, które posiadają określone epitopy (i które mogą stymulować syntezę IgG), ale nie są zdolne do wywołania odpowiedzi typu IgE, lub wywołują taką odpowiedź charakteryzującą się bardzo niskim stężeniem IgE, lub/i wzrost tego stężenia bardzo szybko ulega normalizacji (11).

Jakkolwiek szereg opublikowanych wytycznych zaleca stosowanie modeli zwierzęcych oceny działania alergizującego, to jednak nie zostało udowodnione, że obecnie stosowane modele pozwalają przewidzieć wystąpienie reakcje alergicznej u człowieka. Konieczny jest dalszy rozwój modeli zwierzęcych alergii (w przypadku oceny działania toksycznego istniejące modele uznaje się tu za wystarczające), które mogą być wykorzystane do badania potencjału alergizującego roślin transgenicznych (15).

Wiadomo, że informacja zawarta w genie nie ogranicza się do prostego przełożenia na RNA i następnie na białko i jedną funkcję (cechę). Liczbę genów człowieka szacuje się na 25-30 000 a liczba białek kodowanych przekracza 100 000. A zatem gen/zespół genów koduje kilka – kilkadziesiąt białek i przyporządkowanych im funkcji/ cech organizmu. Genom należy rozumieć i traktować jak ekosystem, a nie jako niewspółzależny zbiór przypadkowych elementów. Dla tego też według wytycznych EFSA 2011 ocena własności

alergenowych roślin GM obejmuje dwa podstawowe elementy: ocenę nowych białek, których ekspresję stwierdzono oraz ocenę proteomiczną pod względem takich własności całej rośliny transgenicznej (16).

Gwałtowny rozwój technologii badawczej i bioinformatyki w ostatnich latach stworzył nowe szerokie możliwości oceny potencjału alergizującego roślin GM (np. profilowanie molekularne) oraz wprowadzenie jej standaryzacji (17, 18). Obecnie wszystkim stosowanym wymienionym powyżej metodom zarzuca się brak standaryzacji (9, 12).

Interakcje biologiczne roślin GM a alergia

Obok własności alergizujących roślin GM podnoszono także efekt adjuwantowy produkowanych przez nie substancji. Naturalny pestycyd – toksyna Bt, białko kodowane przez gen Cry1Ac z *Bacillus thuringiensis* transfekowany do kukurydzy transgenicznej podejrzany jest zarówno o działanie alergizujące jak i adjuwantowe, co nadal jest przedmiotem badań i kontrowersji (19, 20, 21).

Rośliny GM z pewnością wywierają wpływ na środowisko naturalne. Podnosi się tutaj szczególnie negatywny wpływ na bioróżnorodność. W chwili obecnej z punktu widzenia alergologa skutki zmniejszenia liczby gatunków, jak też występowania ich przedstawicieli oprócz przypuszczalnej redukcji liczebności populacji owadów błonkoskrzydłych (wprowadzenie upraw roślin GM jest oskarżane m.in. o spowodowanie wymierania rojów pszczelich) są trudne do przewidzenia. Zmiany w ekosystemie mogą wywołać znaczące różnice zarówno ilościowe jak i jakościowe w ekspozycji na aeroalergeny (np. poprzez powstawanie „superchwastów” odpornych na herbicydy) (4, 22).

Rośliny GM, białka zależne od patogenezы a alergia

Potencjalne dodatkowe korzyści płynące z wprowadzaniem roślin GM to zmniejszenie stosowania pestycydów syntetycznych, co zwiększy bezpieczeństwo żywności m.in. poprzez redukcję zawartości w roślinach tzw. białek zależnych od patogenezы (ang. pathogenesis – related proteins). Białka te są wytwarzane przez rośliny w odpowiedzi na stres chemiczny, a niektóre z tych białek są alergenami.

Jednym z kierunków rozwoju technologii GMO jest uzyskanie roślin hypoalergicznych. Przykładem może być stworzenie marchwi o takich cechach. Wyizolowano dwa podobne geny kodujące izoformy białka zależnego od patogenezы PR10 oznaczone jako alergeny Dau c 1.01 i Dau c 1.02. Udało się uzyskać transgeniczną hypoalergiczną marchew poprzez wyciszenie tych genów za pomocą interferencji RNA. Wyciszenie genów zostało udokumentowane za pomocą immunoblottingu i ilościowej reakcji polimerazy łańcuchowej w czasie rzeczywistym (rtPCR), a poddanie roślin stresowi chemicznemu (ekspozycja na kwas salicylowy) nie spowodowało wzrostu zawartości izoform PR10 - alergenów w marchwi GM w przeciwieństwie do marchwi nie modyfikowanej. Znalazło to także potwierdzenie in vivo w wynikach punktowych testów skórnych wykonanych z komercyjnie dostępnym alergenem marchwi i substancją natywną (test prick to prick) u osób uczulonych na marchew (23).

Uwagi końcowe

Wprowadzenie do środowiska organizmów transgenicznych lub fragmentów ich materiału genetycznego może wywołać nieprzewidywalne i nieodwracalne zmiany, które przypuszczalnie wystąpią za wiele lat. Naukowcy naszego czasu są tutaj szczególnie zobowiązani zachować zasadę przezorności (22). Nie można w chwili obecnej wykluczyć wpływu żywności GM na zwiększenie częstości występowania alergii i zjawiska

nietolerancji pokarmowej w eksponowanych populacjach. Warto zauważyć, że z punktu widzenia socjologii nauki i techniki, technologia GMO określana jest mianem technologii ryzykownej, cechującej się nieredukowalną niepewnością odnośnie jej skutków (4). □

Pracę nadesłano 2014.12.09
Zaakceptowano do druku 2014.12.11

Konflikt interesów nie występuje.

Piśmiennictwo dostępne w redakcji

[Zamknij](#)

[Drukuj](#)