Studia Medyczne 2012; 27(3): 73–81

GENETYCZNIE MODYFIKOWANE ROŚLINY – ZAGROŻENIE CZY KORZYŚCI

GENETICALLY MODIFIED PLANTS – RISKS OR BENEFITS

Mirosława Skawińska[1], Joanna Blicharska[2]

[1] Zakład Profilaktyki Społecznej
Instytut Zdrowia Publicznego
Wydział Nauk o Zdrowiu Uniwersytetu Jana Kochanowskiego w Kielcach
Kierownik Zakładu: dr hab. n. hum. Monika Szpringer, prof. UJK

[2] Studentka Wydziału Nauk o Zdrowiu Uniwersytetu Jana Kochanowskiego w Kielcach
Kierunek: Zdrowie Publiczne

STRESZCZENIE

Ludzkość od początku swego istnienia zależna była od roślin, które nie tylko wykorzystywała jako pokarm czy materiały, lecz także stosowała jako główny środek leczniczy. Rozwój nauki wraz z postępem cywilizacji przyczynił się do uzyskania u roślin nowych zestawień genów, które nie miałyby możliwości krzyżowania się ze sobą w przyrodzie [1]. Powstała tzw. nowa żywność zwana obecnie żywnością modyfikowaną genetycznie lub transgeniczną. Prowadzone są liczne badania na temat wpływu roślin GM na organizm człowieka, a także podejmowane próby określenia, jak poważne konsekwencje w przyszłości mogą wynikać z ich produkcji i jak wielu sfer będą dotyczyć. Niektórzy widzą w nich szansę na poprawę wielu aspektów jakości życia człowieka, przeciwnicy natomiast wielkie niebezpieczeństwo. Temat ten niewątpliwie budzi wiele kontrowersji, gdyż prócz najważniejszego wpływu na człowieka, dotyka również płaszczyzny politycznej, ekonomicznej, moralnej, a nawet religijnej.

Słowa kluczowe: GMO (Genetically Modified Organism), genetyczne modyfikacje, rośliny, żywność transgeniczna.

SUMMARY

Mankind, since the beginning of its existence has depended on plants, which were exploited not only as food, or fabrics but also used as the main source of remedies. Scientific advancement together with the progress of civilization have contributed to a new collation of plant genes, which would not have the possibility of cross-breed in nature. The resulting, so-called, novel food, presently known as genetically modified or transgenic food, has emerged. Numerous studies are conducted on the impact of genetically modified plants on the human body and there are attempts to determine the seriousness of consequences in the future that may result from their production, and how many areas they will affect. Some see in them the potential to improve many aspects of human life. Opponents, on the other hand, see great danger. This subject can certainly be very controversial, because apart from the most important influence on man, it also touches upon political, economic, moral and even religious background.

Key words: GMO (Genetically Modified Organism), genetic modification, plants, transgenic food.

Zagadnienia teoretyczne dotyczące GMO

Inżynieria genetyczna jest szerokim działem obejmującym wiele zagadnień. Posiada ona swój własny fachowy język i zrozumienie jej definicji wymaga często znajomości znaczenia poszczególnych jej składowych oraz podstawowych pojęć z zakresu genetyki. Z przeglądu piśmiennictwa wynika, że istnieje wiele różnych prób definiowania żywności transgenicznej. Jedną z najczęściej stosowanych, przywoływanych w piśmiennictwie, jest ta określająca żywność modyfikowaną genetycznie jako powstałą ze zmienionych genetycznie roślin lub zwierząt. Składają się na nią nie tylko same organizmy, lecz także produkty zawierające fragment lub kombinację organizmu transgenicznego [2]. Według podziału Katarzyny Błoniarczyk i Sławomira Pietrzyka, do tej grupy zaliczamy również:

- składniki lub produkty spożywcze wytwarzane z surowców transgenicznych bądź spożywane bezpośrednio, np. pomidory modyfikowane, przetwory z pomidorów modyfikowanych;
- żywność oraz jej składniki pochodzące z GMO, lecz nie zawierające ich – przykładem może być olej rzepakowy z rzepaku, który jest odporny na herbicydy oraz produkty, które zawierają taki olej, np. majonezy;

- żywność i jej składniki, które zawierają nową podstawową lub celowo zmodyfikowaną strukturę molekularną – zaliczyć tu można pszenicę, która została wzbogacona w aminokwasy deficytowe, egzogenne;
- żywność i jej składniki mające w składzie rośliny i zwierzęta hodowlane rozmnażane nietradycyjnymi metodami lub izolowane z nich, które nie posiadają historii ich bezpiecznego stosowania w celach spożywczych [3].

Żywność GM od tradycyjnej różni posiadanie nowych cech, tj. zmienionych walorów odżywczych, użytkowych, technologicznych, zdrowotnych czy sensorycznych [4]. Składają się na nią produkty roślinne oraz zwierzęce, jednak tematem niniejszego opracowania są jedynie składniki pochodzenia roślinnego.

Sposoby powstawania żywności transgenicznej

Osiągnięcie nowatorskich cech żywności transgenicznej możliwe jest dzięki zmianie materiału genetycznego roślin w warunkach niezachodzących w naturalnym środowisku, przy użyciu technik inżynierii genetycznej. Do rośliny wprowadzany jest gen lub jego fragment pochodzący z tego samego lub innego gatunku. Produkuje on odpowiednie białko, a cecha ta dziedziczona jest przez potomstwo. Proces ten nosi nazwę transformacji genetycznej [1]. Rośliny modyfikowane zachowują więc zdolność rozmnażania się, tworząc następne pokolenia, jak również do samoczynnego rozpowszechniania się i krzyżowania z roślinami naturalnie występującymi [5].

Istnieje wiele metod, sposobów modyfikowania genetycznego roślin, które zmieniały się wraz z postępem nauki i rozwojem technologii. Zależne są m.in. od wyznaczonego celu czy nakładu finansowego. Dzielimy je na wektorowe, z wykorzystaniem organizmu będącego nośnikiem obcych genów, które są wprowadzane do genomu gospodarza, i bezwektorowe (bezpośrednie wprowadzenie) [2]. W celu przybliżenia czytelnikowi tego procesu, w sposób uproszczony i przystępny przedstawiono wybrane sposoby transformacji genetycznej roślin.

Metoda wektorowa. *Agrobacterium tumefaciens* jest bakterią występującą w przyrodzie stanowiącą naturalne narzędzie inżynierii genetycznej. Żyje w glebie i przyłącza się do rośliny, gdy dojdzie do jej uszkodzenia, infekując ją. Przekształca ona komórki roślinne, zapoczątkowując cykl reakcji chemicznych zachodzących w komórce bakterii [6]. Komórki zdolne do pobierania wielocząsteczkowego DNA nazwano kompetentnymi [7]. Proces ten zachodzący w przyrodzie został wykorzystany przez człowieka. Przez *Agrobacterium* wprowadzano DNA do jądra komórkowego komórek zainfekowanych przez tę bakterię [1]. Proces konstruowania roślin transgenicznych z jej udziałem przebiega w 4 etapach. Po wprowadzeniu obcego genu do szczepu bakterii dochodzi do kultywacji bakterii z tkankami roślinnymi lub komórkami. Kolejnym etapem jest usunięcie bakterii, selekcja tkanek, które nie uległy transformacji, oraz regeneracja struktur transformowanych. Proces kończy weryfikacja i analiza ekspresji genów w transformowanych roślinach [8].

Metoda ta ma skuteczne zastosowanie w transformacji roślin uprawnych, m.in. ryżu i zbóż [7].

Mikrowstrzeliwanie – metoda bezwektorowa. Zwana jest również metodą biolistyczną. Jej twórcami są Theodore M. Klein i John C. Stanford. Polega ona na wstrzeleniu mikropocisków zawierających obce DNA do komórek. Specjalne mikroskopijne „pociski" są opłaszczane plazmidowym DNA i wstrzeliwane z naddźwiękową szybkością za pomocą tzw. strzelby genowej. Początkowo autorzy wykorzystywali wolfram, metal o dużej gęstości jako nośnik DNA, a odpowiednią prędkość mikrocząsteczce nadawał wybuch ładunku prochu. Obecnie częściej używa się złota, gdyż jest bardziej bierne chemicznie niż wolfram, a mechanizm działania strzelby genowej opiera się na fali uderzeniowej helu z butli zawierającej sprężony gaz. Opłaszczanie natomiast polega na pokryciu mikrocząsteczek złota lub wolframu cienką warstwą DNA. Początkowo mikrocząsteczki są krótkotrwale wytrząsane w roztworze DNA, a następnie odwirowywane i w ten sposób powstaje gotowy „pocisk". Jako pierwszy procedurę tę opracował Stanford wraz ze współpracownikami [7]. Kuleczki wolframowe bądź mikroskopijnego złota z przyczepionymi cząsteczkami DNA umieszczane są na linii podmuchu helu, mierząc tak, aby dostały się do środka komórki. Po przedostaniu się obce DNA dołącza się do DNA komórki. W wyniku tego procesu komórka uzyskuje cechy przekazywane od obcych genów. Po pobudzeniu komórki do regeneracji oraz odtworzenia, roślina oraz jej potomstwo może posiadać oraz ujawniać nową informację genetyczną [6].

Metoda PEG – metoda bezwektorowa. Polega na stosowaniu glikolu polietylenowego PEG, który rozluźnia strukturę błon komórkowych i pozwala na bierne pobieranie obcego DNA. Jest on czynnikiem ułatwiającym penetrację komórki przez obce DNA [7].

Elektroporacja – metoda bezwektorowa. Polega na stosowaniu energii elektrycznej, również jako czynnika ułatwiającego penetrację komórki. Mechanizm elektroporacji polega na odwracalnym wytwarzaniu miniotworów w błonach komórkowych przez impuls elektryczny [7].

Metoda PEG i elektroporacji były początkowo stosowane do transformacji komórek zwierzęcych. W przypadku komórki roślinnej posiadającej zwartą

ścianę komórkową metody te zawodziły. Dopiero po uprzednim pozbawieniu komórki roślinnej ściany komórkowej na drodze preparatyki protoplastów (komórki roślinne podobne do zwierzęcych, gdyż pozbawione są ścian komórkowych) dokonano tymi metodami transformacji roślin [7].

Korzyści wynikające ze stosowania modyfikacji genetycznych roślin

Działania podejmowane przez bioinżynierię genetyczną mają za zadanie ułatwić życie ludziom. W przypadku roślin genetycznie modyfikowanych dotyczy to zarówno rolników, jak i konsumentów. Za największe osiągnięcia bioinżynierów w tej dziedzinie uznano uzyskanie odporności na szkodniki, choroby, a także polepszenie cech jakościowych. Szczególną rolę przywiązuje się jest również do wykorzystania roślin GM w medycynie jako szansę dla krajów biednych. Zwolennicy genetycznych modyfikacji podkreślają korzyści ekonomiczne płynące z tego typu innowacji.

Odporność na szkodniki i choroby. Jednym z głównych celów hodowli roślin było i jest uzyskanie odmian odpornych na szkodniki i choroby, które powodują ogromne zniszczenia w plonach. Według szacunkowych danych FAO straty te wynoszą średnio ok. 20–30% rocznie, a ich wielkość zależna jest m.in. od rodzaju uprawy i rejonu geograficznego. Z tego względu poszukiwanie sposobów ochrony roślin stało się jednym z priorytetowych zastosowań w biotechnologii roślin uprawnych [9].

Źródłem odporności na owady stały się geny pochodzące od bakterii o nazwie *Bacillus thuringiensis*. Bakterie te występują w glebie oraz na powierzchni roślin, a ich kultury wykorzystywane są jako biologiczny insektycyd. Podczas wytwarzania przez nie przetrwalników powstają krystaliczne białkowe inkluzje, zawierające od jednej do kilku δ-endotoksyn kodowanych przez geny Cry. Toksyczność genów Cry ujawnia się po połknięciu przez szkodnika. W jego przewodzie pokarmowym pod wpływem zasadowego środowiska oraz aktywacji działania owadzich proteaz białkowe kryształy ulegają rozpuszczeniu. Podczas procesu ich trawienia dochodzi do uwolnienia fragmentów o właściwościach trujących. W efekcie mechanizm ten prowadzi do śmierci owada [9]. Upraszczając, *Bacillus thuringiensis* produkuje szkodliwe dla niektórych owadów toksyny (białka Cry), które są wykorzystywane do oprysków. Dzięki temu można zrezygnować z chemicznych metod zwalczania szkodników [1].

Choroby roślin wywoływane są przez bakterie, wirusy i grzyby. Stanowią one niebezpieczeństwo nie tylko dla plonów, lecz także dla zdrowia człowieka. Przykładem mogą być grzyby odmiany Fusarium atakujące zboża, które wytwarzają mykotoksyny, powodujące przewlekłe zatrucia u ludzi. Uznano je również za rakotwórcze [1].

Do najgroźniejszych patogenów prócz grzybów zalicza się również wirusy. Przeciwdziałanie infekcjom powodowanym przez nie opiera się głównie na wprowadzeniu genów wirusowych do roślin, kodujących białko płaszcza wirusa. Proces ten jednak nie wywołuje choroby w roślinach, a indukuje odporność. Przykładem rośliny uprawnej odpornej na wirusy jest papaja, wrażliwa na „wirusa pierścieniowej plamistości papai (PRSV)", który jest przenoszony przez mszyce [1, 7].

Do uzyskania roślin GM, które wykazują odporność na patogeny grzybowe, stosowane są przeważnie geny kodujące chitazynę. Jest ona enzymem powodującym degradację chityny – głównego budulca ściany komórkowej grzybów. Dzięki wykorzystaniu tego mechanizmu, uzyskano tytoń i truskawkę uodpornione na pleśń *Botitis cinerea* oraz ryż na śnieć zbożową (*Rhizoctonia solani*) [7].

Zapobieganie niektórym infekcjom bakteryjnym odbywa się również poprzez genetyczne modyfikacje polegające na nadprodukcji kwasu salicylowego i ogólnoustrojowym wzmocnieniu odporności na patogeny [7].

Ulepszenie cech jakościowych roślin genetycznie modyfikowanych. Od 2005 roku głównym celem transgenizacji stało się otrzymywanie polepszonych jakościowo plonów. Spośród wszystkich prób otrzymywania roślin GM o komercyjnym znaczeniu aż 51% przypada na ten cel. Najczęstszą modyfikacją jest zwiększenie (lub zmniejszenie) zawartości określonego produktu w roślinie. Wzrost ten związany jest z wartościami odżywczymi, dietetycznymi oraz z wartością technologiczną danego surowca roślinnego.

Modyfikacje genetyczne wpływają na poprawę wartości sensorycznych, odżywczych, zmniejszenie strat podczas transportu i składowania, jak również pozwalają na zwiększenie liczby składników w żywności, makro- i mikroelementów (np. agrofarmaceutyka). Polepszenie cech jakościowych wiąże się również z lepszą odpornością roślin GM na warunki atmosferyczne, szkodniki i choroby [3, 7].

Jednym z bardzo znanych przykładów wpływu modyfikacji genetycznych na poprawę wartości odżywczych jest „złoty ryż". Zawdzięcza on swoją nazwę złocistej barwie występującej dzięki beta-karotenowi, który jest źródłem witaminy A. Znaczenie takiego ryżu wydaje się bardzo duże, gdyż niedobory tej witaminy prowadzą do ślepoty (występującej głównie z Azji). Ryż jest podstawowym surowcem tego kontynentu. Genetyczne modyfikacje dają więc krajom rozwijającym się szansę na zredukowanie niedożywienia i głodu [3].

Kolejnym znanym przykładem jest pomidor FlavrSavr. Charakteryzuje go spowolnione mięknięcie, dłużej zachowuje jędrność oraz posiada ulepszone wartości smakowe. Twardość tego pomidora ułatwia zdecydowanie transport i jest oznaką świeżości, co wpływa na większą atrakcyjność dla konsumenta [10]. W tabeli 1 zamieszczono tylko niektóre przykłady zmian zachodzących w roślinach wykorzystywanych na co dzień pod wpływem genetycznych modyfikacji.

Tolerancja na herbicydy. Herbicydy to syntetyczne lub naturalne związki organiczne wykorzystywane do zwalczania chwastów, ale mające również działanie toksyczne na niektóre grupy roślin uprawnych. Dlatego też odporność na nie stała się powszechnie stosowaną modyfikacją [9].

Odporność na herbicydy uzyskuje się poprzez wprowadzenie do rośliny genu, który produkuje enzymy rozkładające herbicydy, przez co stają się na nie odporne. W rolnictwie najczęściej stosowanymi herbicydami są fosfinotricyna (PPT) oraz glifosat. Pierwszy z nich wykorzystywany jest do niszczenia chwastów jednoliściennych, m.in. do likwidacji perzu w uprawach buraka cukrowego i ziemniaka. Nie ma on jednak zastosowania w przypadku zboża. Zaistniała więc potrzeba wyhodowania takich zbóż, które przeżyją w kontakcie z fosfinotrycyną jako składnikiem czynnym. Cechę tę uzyskano poprzez wprowadzenie do rośliny bakteryjnego genu bar, który koduje enzym inaktywujący PPT. Glikosat natomiast niszczy chwasty zarówno jednoliścienne, jak i dwuliścienne. Odporność na niego zapewnia roślinom gen epsps [7].

Jedną z najczęściej uprawianych roślin na świecie jest soja GM odporna na herbicyd – Roundup, zawierający glifosat. Koncerny biotechnologiczne oferują zarówno herbicyd, jak i nasiona zmodyfikowane genetycznie, które posiadają cechę odporności na niego. Ponadto dzięki zastosowaniu modyfikacji genetycznej uzyskano m.in. pomidory charakteryzujące się odpornością na glifosat (Roundup) oraz glufosiat (Basta). Tolerancje na pierwszy z nich uzyskano dzięki wprowadzeniu genu, który koduje syntezę 5-endopirogrono-szikimo-3-fosforanu, natomiast na herbicyd Basta poprzez wprowadzenie genu kodującego acetylotransferazę fosinotricyny [1, 8].

Rośliny genetycznie modyfikowane w medycynie i farmacji. Modyfikacje genetyczne roślin przyczyniły się do powstania agrofarmaceutyki, polegającej na wykorzystaniu transgenicznych roślin jako bioreaktorów do produkcji białek. Znajdują one zastosowanie w terapii i diagnostyce medycznej [11]. Genetyczne modyfikacje pozwalają na zwiększenie spektrum produktów pozyskiwanych z tych roślin, które mogą wytwarzać przeciwciała, szczepionki i różnego rodzaju leki [1]. Rośliny GM mogą więc służyć jako bioreaktor wytwarzający jadalną szczepionkę. Wykazano, że spożycie takiej rośliny działa podobnie, jak zażycie tradycyjnej szczepionki doustnej. Mechanizm ten polega na wywołaniu odpowiedzi immunologicznej, która uodparnia konsumenta na konkretny patogen. Ponadto antygen znajdujący się wewnątrz komórki roślinnej jest chroniony przez zbyt wczesnym strawieniem w układzie pokarmowym, a zastosowanie liofilizatów sprawia, że szczepionka może być przechowywana długo, nawet w temperaturze pokojowej. Mimo konieczności stałego monitorowania zawartości antygenu w komórce, koszty wyprodukowania szczepionki w roślinie są niższe od tradycyjnej jej produkcji [11]. Przykładem może być szczepionka przeciw WZW typu B. W USA prace nad nią są już na etapie testów klinicznych. Wirusowe zapalenie wątroby typu B jest wirusem przenoszonym m.in. przez krew oraz kontakty seksualne. Z danych wynika, że liczba nosicieli tego wirusa na świecie wynosi ok. 350 mln, zrozumiała więc staje się kwestia szczepień profilaktycznych. Niestety masowa produkcja jest bardzo kosztowna, a dodatkowo

Tabela 1. Przykłady roślin transgenicznych o zmienionych właściwościach [3]

Roślina	Efekt genetycznej modyfikacji
Truskawka	• podwyższona słodkość owoców • spowolniony proces dojrzewania • mrozoodporność
Winogrona	• odmiany bezpestkowe
Kawa	• lepszy aromat • wyższa wydajność • obniżenie zawartości kofeiny
Rzepak	• olej o niskiej zawartości nienasyconych kwasów tłuszczowych
Pomidor	• wyższa zawartość suchej substancji • opóźnione dojrzewanie i mięknięcie (FlavrSavr) • poprawiony smak • cieńsza skórka

Źródło: Opracowanie własne.

szczepienie wiąże się z bolesnym zastrzykiem. Poza tym szczepionka ta wymaga niskich temperatur przy transporcie. Alternatywą stała się więc produkcja szczepionki w roślinach, w formie jadalnej [12].

Genetyczne modyfikacje roślin pozwalają również zwiększyć liczbę składników w żywności. Jest to bardzo praktyczne rozwiązanie, gdyż niedobory niektórych z nich przyczyniają się do poważnych schorzeń. Jednym z przykładów jest wcześniej wspomniany „złoty ryż" [3].

Modyfikacje genetyczne mogą powodować zmianę kompozycji aminokwasów. W USA uzyskano w ten sposób kukurydzę LY038, która posiada zwiększoną zawartość lizyny niezbędną w okresie rozwoju przy budowie białek. Wpływa także na poprawę koncentracji umysłowej oraz łagodzi m.in. objawy przeziębienia. Dużym sukcesem było również wyprodukowanie tytoniu Vector 21–30. Charakteryzuje się on 20-krotnie zmniejszoną zawartością nikotyny oraz 15 razy zredukowaną ilością substancji rakotwórczych w porównaniu do odmian tradycyjnych [1].

Niektóre produkty spożywcze otrzymywane poprzez modyfikacje genetyczną są źródłem substancji odżywczych, np. nutaceutyków. Do grupy tej należą m.in: probiotyki, fitozwiązki, błonnik pokarmowy, wielonienasycone kwasy tłuszczowe oraz witaminy (przeważnie A, C i E). Żywność GM może zawierać także szczepy bakterii probiotycznych. Mają one pozytywny wpływ na funkcjonowanie przewodu pokarmowego człowieka, utrzymują także wśród mikroflory jelitowej równowagę mikrobiologiczną oraz zapobiegają infekcjom przewodu pokarmowego.

Żywność wzbogaca się uzyskiwanymi z transgenicznych roślin fitoestrogenami. Ich podstawowym źródłem są: orzeszki ziemne, len, soja oraz winogrona. Przykładem rośliny GM, która syntezuje fitoestrogeny jest rzodkiewnik pospolity. Dieta zawierająca te związki obniża ryzyko chorób serca, osteoporozy, nowotworów piersi. Jej działanie jest szczególnie korzystne dla kobiet w okresie menopauzy [3].

Genetyczne modyfikacje a środowisko naturalne. Środowisko naturalne jest bardzo szerokim pojęciem, obejmującym wszelką florę i faunę występującą w przyrodzie. Rośliny genetycznie zmodyfikowane również stanowią jego część. Dodatkowo mają one korzystne oddziaływanie wspomagające niektóre procesy naturalne. Mogą przyczyniać się do usuwania zanieczyszczeń środowiska, ochrony drzew, a także wpływać na zmniejszenie zużycia jego naturalnych zasobów. Obecnie w tym kierunku nie są podejmowane działania na szeroką skalę, jednak biotechnologia rozszerza obszar oddziaływań, starając się je wdrożyć.

Fitoremediacja jest to proces wykorzystywania roślin do usuwania zanieczyszczeń wody oraz gleby. Zazwyczaj do tego celu używane są mikroorganizmy potrafiące rozkładać organiczne zanieczyszczenia lub akumulować metale ciężkie. Bioinżynieria dąży do przystosowania roślin do pełnienia tej funkcji. Proces ten polega na przeniesieniu genów od bakterii z wyżej wymienionymi cechami do roślin występujących w szerokim zakresie. W ten sposób udało się już uzyskać tobołki polne usuwające cynk i nikiel oraz gorczycę sarepską wykorzystywaną do usuwania ołowiu [1].

Kolejne istotne zastosowanie rośliny GM znalazły w leśnictwie. Podczas uzyskiwania papieru z drzew oddziela się w procesach chemicznych celulozę od ligniny. Nie dość, że niesie to ze sobą duże koszty, to również wpływa szkodliwie na środowisko. Genetycznie zmodyfikowane topole zawierają o połowę mniej ligniny i rosną zdecydowanie szybciej. Minie jednak sporo czasu zanim transgeniczne drzewa pojawią się w lasach [1].

Bardzo ważną kwestią mającą wpływ na środowisko, a także na gospodarkę krajową są biopaliwa, które w przeciwieństwie do paliw kopalnianych, czyli węgla, ropy naftowej oraz gazu ziemnego, uzyskuje się z odnawialnych źródeł energii. Należy dodać, że Unia Europejska nakłada obowiązek na kraje członkowskie zwiększenia do 5,75% w 2010 roku udziału biopaliw w paliwach. Do ich produkcji używany jest olej rzepakowy oraz bioetanol. W Polsce stosowany jest jedynie drugi z produktów, natomiast w państwach takich jak np. Kanada, gdzie genetycznie modyfikowany rzepak uprawia się na dużą skalę, to właśnie jego wykorzystanie jest bardziej opłacalne. Zaletą biopaliw jest ograniczona emisja dwutlenku węgla, który wpływa na efekt cieplarniany. Paliwa kopalniane są natomiast droższe, a ich zasoby stale się zmniejszają. Do produkcji biopaliw można wykorzystać rzepak, zboża czy buraki cukrowe, co nie tylko wpływa korzystnie na środowisko, aspekt ekonomiczny, lecz także pozwala na uniezależnienie się państw od dostawców paliw [1, 13].

Zagrożenia wynikające z użytkowania roślin genetycznie modyfikowanych

Inżynieria genetyczna z powodu ingerencji w geny budzi wiele kontrowersji. Jej przeciwnicy negują i podważają podawane korzyści płynące z jej stosowania, wskazując na wiele zagrożeń jakie może nieść, dotyczących nie tylko środowiska, flory i fauny, lecz także – co wzbudza największy niepokój – organizmu ludzkiego.

Od czasu wprowadzenia do produkcji żywności roślin GM coraz większą uwagę przywiązuje się do jej bezpieczeństwa, analizując przy tym potencjalne zagrożenia związane z jej rozpowszechnianiem. Przeciwnicy genetycznych modyfikacji uważają je za szkodliwe dla zdrowia ludzi, środowiska oraz

wykraczające poza zasady etyki. Mniejszy sprzeciw, a nawet poparcie społeczeństwa, obserwuje się wobec zastosowania GMO w medycynie czy przemyśle, jednak użycie ich w rolnictwie wzbudza wiele kontrowersji [5].

Negatywny wpływ na zdrowie człowieka. Największą wagę przywiązuje się do oceny wpływu GMO na organizm człowieka. Wprowadzenie nowych genów wiąże się z procesem tworzenia się nowych białek, w tym również toksyn i alergenów, które są zagrożeniem dla zdrowia oraz środowiska.

Istnieje ryzyko, iż nowe alergeny, występujące w żywności oraz pyłkach, uwolnią się poprzez nie do środowiska. Przeciwnicy genetycznych modyfikacji uważają, że w pokarmach pojawią się nieistniejące dotąd toksyny, na które ludzie będą eksponowani, spożywając takie rośliny. Ponadto związki te potrafią przyjmować wyższe stężenia oraz będą obecne w jadalnych częściach roślin. Wprowadzenie do nich nowych genów spowoduje również, że będą one wytwarzać białka wcześniej nieznane i wywołujące dotychczas niepoznane i nieprzewidywalne efekty. Wadą genetycznych modyfikacji roślin jest również możliwość utraty przez nie wartości odżywczych [2, 3].

Przykładem rośliny GM wywołującej reakcje alergiczne jest soja, która posiada gen pochodzący od orzecha brazylijskiego kodującego białko zawierające metioninę. Badania pokazały, że osoby z alergią na orzechy mają ją także na genetycznie zmodyfikowaną soję [2, 3].

Kolejną rośliną GM wywołująca reakcję alergiczną jest kukurydza Star Link zawierająca gen Bt. W 2000 roku ujawniono, że kukurydza GM przeznaczona na pasze zanieczyściła ok. 10% zbiorów kukurydzy amerykańskiej i trafiła do przemysłu spożywczego. Odnotowano wtedy 90-krotny wzrost występowania alergii [14]. Kukurydza ta wykazywała także działanie toksyczne na takie narządy jak wątroba, nerki, jelita, trzustka. Istnieją też podejrzenia co do niekorzystnego wpływu na płodność oraz zdrowie przyszłych pokoleń.

Przeciwnicy uważają również, że badania oddziaływania roślin GM na organizm człowieka, wskazujące na pozytywny wpływ ich stosowania, nie są prowadzone przez niezależne laboratoria, tylko przez ich producentów [15].

Niebezpieczny dla zdrowia okazał się także herbicyd Roundup. Blokuje on rozwój łożyska oraz wykazuje działanie niszczące dla układu endokrynologicznego. Stwierdzono także, że powodował przedwczesne porody, urodzenia dzieci o małej masie oraz poronienia. Ponadto może on zaburzać rozwój gruczołu piersiowego i prowadzić do rozwoju raka. Rośliny tolerujące herbicydy mogą je w sobie akumulować, działając silnie toksycznie na ludzi, zwierzęta i rośliny [14].

Odmiana pomidorów GM Flor Savr wywołała z kolei wrzody przewodu pokarmowego u szczurów, a ziemniak posiadający gen przebiśniegu zaburzenia tego układu. Soja z genem Bt również wpłynęła niekorzystnie na organizm gryzoni, powodując zmiany w wątrobie, zaburzenia trzustki oraz redukcję enzymów trawiennych [1].

Ważnym problemem dotyczącym genetycznych modyfikacji roślin jest możliwość pojawienia się bądź wzrostu zawartości w nich substancji nieodżywczych oraz toksycznych [3].

Toksykolodzy wykazują niebezpieczeństwo żywności GM, które widoczne jest poprzez m.in. wzrost stężeń znanych już toksyn w przyrodzie, a także wprowadzenie nowych. Rośliny transgeniczne mają również zdolność do wchłaniania toksyn ze środowiska, tj. metali ciężkich czy pestycydów. Wszystko to wpływa na powstanie niekorzystnych zmian w składnikach odżywczych żywności, co pociąga za sobą możliwość wystąpienia szkodliwych zmian w roślinach GM [14].

Środowisko modyfikowane zamiast naturalnego. Jednym z największych skarbów dla ludzkości jest niewątpliwie przyroda oraz jej biologiczna różnorodność, na którą składają się wielorakie gatunki roślin oraz zwierząt bez których życie na ziemi nie byłoby możliwe. W dzisiejszych czasach dobra te mogą być zagrożone przez zanieczyszczenia genetyczne środowiska.

Do niedawna największe niebezpieczeństwo stanowiły masowo stosowane trucizny m.in. w rolnictwie, medycynie, przez wojsko. Posiadają one jednak ograniczone rozprzestrzenianie oraz czas oddziaływania. Genetyczne zanieczyszczenie środowiska stwarza więc o wiele poważniejsze zagrożenie, gdyż mamy do czynienia z organizmami żywymi. Mają one zdolność do rozmnażania i rozprzestrzeniania oraz mutowania czy migrowania. Raz uwolnione nie podlegają kontroli oraz nie mogą zostać zatrzymane. Są to więc zagrożenia nieodwracalne [1].

Rośliny GM prócz wpływu na faunę, oddziałują również na florę środowiska. W 1999 roku John Losey i jego współpracownicy udowodnili, że kukurydza GM odmiany N4640-Bt może być śmiertelna dla motyla – monarchy wędrownego. Kukurydza jest rośliną wiatropylną, co może spowodować, że wiatr przeniesie pyłek kukurydzy GM na dziko rosnące rośliny, które są miejscem żerowania tego motyla.

Rośliny genetycznie modyfikowane obarczane są również winą za zmniejszenie populacji innych organizmów. Przykładowo, badania prowadzone na Węgrzech wykazały szkodliwość silnie toksycznego

pyłku kukurydzy Bt również na inne motyle. Natomiast w krajach uprawiających rośliny GM oceniono, że populacja pszczół zmniejszyła się o 50%–90% [14].

Głośniejszym echem odbiły się doniesienia Davida Quista i Ignacia H. Chapela z 2001 roku o obecności w genomie upraw konwencjonalnych (które mieściły się w górskich odległych rejonach Meksyku) transgenu cry/Bt. Alarmująca szczególnie dla ekologów okazała się możliwość ucieczki transgenu na tak duże odległości w tak krótkim czasie [7].

Współistnienie, czyli koegzystencja konwencjonalnych upraw z uprawami GMO stanowi bardzo ważny problem, ponieważ dotyczy on aspektów zarówno prawnych, środowiskowych, ekonomicznych, społecznych, jak i etycznych. Ponadto wiele z nich stanowi obszar nie do końca zbadany. Przeciwnicy twierdzą, że sąsiedztwo konwencjonalnych upraw z uprawami GM nie jest możliwe. Uprawy roślin GM stanowią zagrożenie dla wszelakich form rolnictwa, gdyż dochodzi między nimi do krzyżowania się. Przenoszenie odbywa się poprzez zarodniki, nasiona czy pyłki za pomocą deszczu, wiatru oraz przez zwierzęta zapylające tj. pszczoły czy ptaki. Następuje to także poprzez „przepylenie" podczas składowania czy transportu. Badania wykazały, że pyłki roślin transgenicznych mogą przenosić się na bardzo duże odległości. Z raportów wynika, że w ok. 40 krajach doszło do uwolnienia się roślin GM do środowiska naturalnego [14, 15].

Problem koegzystencji roślin GM z naturalnymi jest poważny, dlatego Unia Europejska starając się walczyć z tym zjawiskiem, wydała dyrektywę na mocy której winą za nieprzestrzeganie zasad współistnienia tych dwóch grup roślin obarcza się firmy biotechnologiczne oraz producentów roślin GM. Zasady koegzystencji powstały na podstawie licznych badań naukowych i ściśle określają odległości pomiędzy plantacjami upraw GM i nie-GM [16].

Superchwasty i superpatogeny. Nadużywanie konkretnego herbicydu powoduje powstawanie oporności chwastów; dzieje się to poprzez różne mechanizmy adaptacyjne. Innym niekorzystnym zjawiskiem jest przenoszenie modyfikacji genetycznej przez zapylenie krzyżowe: zboża transgeniczne w czasie zapylenia mogą przenosić nowy gen na zboża tradycyjne oraz na chwasty pokrewne. Plaga superchwastów dotknęła szczególnie Argentynę i USA. Zmusza to rolników do zwiększania dawek herbicydów oraz do używania tych bardziej toksycznych, a co gorsza – do usuwania ręcznego chwastów, czy nawet do porzucania upraw. Na obszarach upraw GM, odpornych na herbicydy, ze względu na konieczność stosowania coraz większych ich dawek, dochodzi do chemizacji gleby. Jest ona również wynikiem gromadzenia się toksyn owadobójczych wydzielanych przez korzenie roślin transgenicznych. Ten niekorzystny proces chemizacji prowadzi do ginięcia pożytecznych gatunków fauny w uprawach i redukcji różnorodności biologicznej [15].

Do 2006 roku odnotowano pojawienie się ok. 37 gatunków superchwastów. W USA występuje ich co najmniej 20, np. *A. rudis*, *Amaranthus palmeri*, *Erigeron canadensis*, czy *Ambrosia artemisifolia*. Jeden z nich – *Erigon canadenisis* w ciągu 5 lat rozprzestrzenił się na obszarze 13 stanów. Gatunki te przyczyniły się do powstania poważnych strat gospodarczych. Superchwasty rosną bardzo szybko, mogą osiągać nawet 3 metry wysokości, a pojedyncza roślina jest zdolna wytwarzać ok. 200 tysięcy nasion, które z łatwością mogą być rozsiewane przez wiatr [14].

Naruszenie zasad etyki. Stosowanie nowoczesnych biotechnologii do produkcji żywności wywołuje wiele zastrzeżeń etycznych. Przeciwnicy podnoszą nawet ten problem do rangi najpoważniejszego problemu etyki w historii nauki. Uważają, że manipulowanie genami pomiędzy różnymi organizmami może powodować poważne, nieznane dotąd skutki. Ponieważ nie ma obecnie dokładnej wiedzy na temat oddziaływania długoterminowego genetycznych modyfikacji, nie powinno się ich w ogóle stosować. Geny stanowią ściśle związany ze sobą kompleks, wszelkie próby wprowadzenia zmian w ich budowie, funkcjonowaniu, może doprowadzić do nieodwracalnych skutków, nad którymi trudno będzie zapanować, gdyż będą czymś nowym i nieprzewidzianym [14].

W tradycyjnej selekcji roślin czy zwierząt wymiana materiału genetycznego odbywa się w obrębie tego samego gatunku. Z kolei otrzymywanie roślin GM prowadzi do naruszenia naturalnej bariery międzygatunkowej. Istnieją więc obawy, że organizmy transgeniczne naruszają pojęcie gatunku poprzez tworzenie form nierozpoznawalnych oraz niekontrolowanych. Wprowadzanie do komórek roślin genów zwierzęcych ma znaczenie religijne oraz filozoficzne, np. dla wegetarian. Problem stanowią również nowego typu eksperymenty na zwierzętach, które nie znajdują akceptacji wśród wielu ludzi. Istnieje także ryzyko uzależnienia się rolnictwa i przemysłu spożywczego od wielkich koncernów chemicznych, które będą sprawować kontrolę nad składem i produkcją żywności.

Przeciwnicy GMO cenią małe, wiejskie gospodarstwa, które uprawiają żywność naturalnymi metodami. Przeciwnicy twierdzą, że biotechnologia kieruje się jedynie zyskiem, nie mając szczególnych względów na potrzeby oraz organizmy ludzkie, gdyż

mimo braku odpowiednich badań, rozwijają genetyczne modyfikacje [3, 14].

PODSUMOWANIE

Żywność transgeniczna to zagadnienie wzbudzające wiele emocji i kontrowersji. Dla przeciwników jest to niedopuszczalna ingerencja w prawa natury, a dla zwolenników dobrodziejstwo nauki. Sprzeczności te wynikają z braku jednoznacznych dowodów na jej szkodliwość, a także neutralność. Trudno jest też przewidzieć skutki jej długoterminowego stosowania. Społeczeństwo posiada niski poziom wiedzy z zakresu żywności transgenicznej, a spożywanie jej powinno być świadomym wyborem jednostki. Jedynie znajomość podstawowych zagadnień związanych z żywnością GM oraz z procesem jej powstawania pozwoli na zajęcie stanowiska „za" lub „przeciw". Dlatego też na podstawie różnorodnej literatury przybliżyłam te zagadnienia oraz przedstawiłam jej ewentualne pozytywy i negatywy.

W tabeli 2 zebrano i uporządkowano najważniejsze argumenty podawane przez zwolenników i przeciwników modyfikacji roślin.

Problem dotyczący genetycznych modyfikacji ma bardzo szeroki zakres. Odnosi się do wielu aspektów życia człowieka jako jednostki, a także całego społeczeństwa. Wpływa na gospodarkę państwową i ma oddźwięk na całym świecie, co wskazuje na jego ogromną skalę i rangę. W tym wszystkim jednak najważniejsze jest życie i zdrowie człowieka, który powinien mieć możliwość wyboru pomiędzy produktami modyfikowanymi a konwencjonalnymi. Podejmowanie takiej decyzji należy opierać na odpowiedniej wiedzy związanej z korzyściami, a także konsekwencjami spożywania transgenicznej żywności.

PIŚMIENNICTWO

[1] Sowa S, Linkiewicz A, Rośliny genetycznie zmodyfikowane. W: A Anioł, H Bujak, A Dalbiak (i wsp.) Organizmy genetycznie zmodyfikowane. Polskie Zrzeszenie Inżynierów i Techników Sanitarnych Oddział Wielkopolski, Poznań 2007; 35–56.
[2] Hałat Z. Alergeny organizmów genetycznie zmodyfikowanych. Alergia 2004; 3/21: 19–26.
[3] Pietrzyk S, Błoniarczyk K. Żywność genetycznie modyfikowana. Laboratorium 2007; 9: 34–38.
[4] Kosicka-Gębska M, Gębski J. Żywność modyfikowana genetycznie – bariery i możliwości w opinii respondentów. Stowarzyszenie Ekonomistów Rolnictwa i Agrobiznesu 2010; 10(1): 182–185.
[5] Zyśk A. GMO wciąż budzi obawy. Środowisko 2009; 13/14: 24–25.
[6] McHughen A. Żywność modyfikowana genetycznie. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 2004.
[7] Buchowicz J. Biotechnologia molekularna. Modyfikacje genetyczne, postępy, problemy. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2009.
[8] Biotechnologia żywności. Red. W Bednarski, A Repsa. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 2003.
[9] Biotechnologia roślin. Red. S Malepszy. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2001; 362–368.
[10] Rozwój biotechnologii. Projekt rozwiązań prawnych dotyczących stosowania genetycznie modyfi-

Tabela 2. Zestawienie korzyści i zagrożeń wynikających z genetycznej modyfikacji roślin

Korzyści	Zagrożenia
• odporność roślin na choroby	• pojawienie się toksyn w żywności mogących wywołać u człowieka alergie
• odporność na szkodniki	• zmniejszenie populacji wielu gatunków owadów nieszkodliwych • rozprzestrzenianie się transgenu na rośliny naturalne • naruszenie różnorodności biologicznej
• odporność na herbicydy	• uodpornienie szkodników na pestycydy • pojawienie się superchwastów i superpatogenów • skumulowane w roślinie herbicydy mogą uszkadzać wiele narządów człowieka
• ulepszenie cech jakościowych	• odporność na antybiotyki • nieprzewidziane skutki, często odwrotne do zamierzonych • negatywny wpływ na organizmy zwierząt laboratoryjnych
• lepszy, tańszy dostęp do szczepionek, leków	• możliwość negatywnego oddziaływania w przyszłości
• korzyści materialne	• naruszenie zasad etyki

Źródło: Opracowanie własne.

kowanych organizmów. Red. T Twardowski. Poznań 1997.
[11] Mickiewicz A, Twardowski T, Figlerowicz M. GMO – zyski i straty. Biotechnologia 2006; 3(74): 145–153.
[12] Twardowski T, Michalska A. Dylematy współczesnej biotechnologii z perspektywy biotechnologa i prawnika. Dom Organizatora. Toruń 2000.
[13] Tyczewska A., Twardowski T. Organizmy genetycznie zmodyfikowane, za i przeciw. Bromatologia i Chemia Toksykologiczna 2008; 3: 197–201.
[14] Wiąckowski S. Organizmy modyfikowane genetycznie – obietnice i fakty. Wydawnictwo Ekonomia i Środowisko 2008; 24–32.
[15] Lisowska K, Chorąży M. Genetycznie zmodyfikowane uprawy i żywność – przegląd zagrożeń. Nauka 2010; 4: 127–136.
[16] Maciejczak M. Ekonomiczne i rynkowe aspekty współistnienia produktów modyfikowanych genetycznie i niezmienionych w łańcuchach dystrybucji żywności i pasz. Zagadnienia Ekonomiki Rolnej 2006; nr 3: 16–28.

Adres do korespondencji:

Wydział Nauk o Zdrowiu UJK
25-317 Kielce, al. IX Wieków Kielc 19
e-mail: studiamedyczne@ujk.edu.pl
tel. 41 349 69 09