

Wpływ modyfikacji genetycznych na jakość i bezpieczeństwo żywności

Impact of genetic modifications on food quality and safety

MARTA LUCIŃSKA, HALINA GRAJETA

Katedra i Zakład Bromatologii i Dietetyki, Uniwersytet Medyczny we Wrocławiu

Ocena potencjalnych zagrożeń płynących z przeprowadzania modyfikacji genetycznych na potrzeby rynku artykułów spożywczych jest obowiązkowym etapem rejestracji organizmu zmodyfikowanego genetycznie (GMO). Badania naukowe nie potwierdzają powszechnej opinii, iż spożywanie żywności modyfikowanej genetycznie (GMF) niesie za sobą niekorzystne skutki zdrowotne. Zdecydowana większość produktów transgenicznych wykazuje zbliżoną do ich odpowiedników konwencjonalnych wartość odżywczą. Różne organizacje międzynarodowe, europejskie i krajowe, wydały w kwestii bezpieczeństwa żywności modyfikowanej spójne komunikaty, określając obawy konsumentów jako bezpodstawne. Modyfikacje drugiej generacji zapewniają nawet wzrost zawartości w żywności podstawowych składników odżywczych lub eliminują z niej substancje niepożądane dla organizmu człowieka.

Słowa kluczowe: inżynieria genetyczna, GMO, bezpieczeństwo żywności

The assessment of potential risks arising from genetic modifications, created in response to foods market needs, is an obligatory stage in the registration of genetically modified organisms (GMO). Scientific research does not support popular belief that consumption of genetically modified food (GMF) creates adverse health effects. The vast majority of transgenic products demonstrate nutritional value similar to their conventional equivalents. Various international, European and national organizations have made coherent declarations regarding the genetically modified food safety, determining the consumers' concerns as unfounded. The second generation modifications provide an increased amount of the key nutrients in the diet or eliminate unfavorable substances from food.

Key words: genetic engineering, GMO, foods safety

© *Probl Hig Epidemiol* 2015, 96(4): 705-712

www.phie.pl

Nadesłano: 18.08.2015

Zakwalifikowano do druku: 04.12.2015

Adres do korespondencji / Address for correspondence

prof. dr hab. Halina Grajeta

Katedra i Zakład Bromatologii i Dietetyki

Uniwersytet Medyczny we Wrocławiu

ul. Borowska 211, 50-556 Wrocław

tel. 71 784 02 05, fax 71 784 02 06, halina.grajeta@umed.wroc.pl

Wstęp

Definicja żywności modyfikowanej genetycznie (*Genetically Modified Food* – GMF) jest zawarta w Rozporządzeniu (WE) nr 1829/2003 Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 22 września 2003 r. Wedle tego aktu prawnego jest to „żywność zawierająca, składająca się lub wyprodukowana z organizmów modyfikowanych genetycznie” [1]. Po raz pierwszy na rynku pojawiła się w 1994 r., rozpoczynając debatę na temat skutków zdrowotnych jej spożywania [2]. Pomimo nieustannie toczącego się sporu o bezpieczeństwo stosowania genetycznie modyfikowanych organizmów (*Genetically Modified Organisms* – GMO), zainteresowanie tą gałęzią biotechnologii ciągle rośnie. Najlepiej widoczne jest to w kolebce i zarazem największym rynku zbytu organizmów transgenicznych. Jakim są Stany Zjednoczone. Jak informuje Departament Rolnictwa USA, ok. 75% artykułów spożywczych zawiera jakiś organizm modyfikowany genetycznie, najczęściej soję [3]. W Europie, gdzie

obowiązują restrykcyjne procedury komercjalizacji osiągnięć inżynierii genetycznej, zatwierdzono do tej pory blisko 60 odmian transgenicznych [4]. Istotą rozpowszechniania tej grupy produktów spożywczych są z pewnością względy ekonomiczne. Projekty biotechnologów przynoszą bowiem znacznie większe zyski rolnikom czy producentom żywności. Jednak w obliczu prognoz demograficznych, które przewidują zwiększenie się liczby ludności świata do końca XXI w. o blisko połowę oraz wciąż alarmującego poziomu głodu i niedożywienia w krajach rozwijających się, należy uznać żywność transgeniczną jako jedno z ogniw walki z niedostatkiem pożywienia i rozwojem chorób związanych z niedoborem podstawowych składników odżywczych [5].

Akty prawne dotyczące bezpieczeństwa GMO

Wykrycie mechanizmów umożliwiających nieograniczoną ingerencję naukowców w genom organizmu, wymusiło wprowadzenie aktów prawnych

regulujących to zagadnienie. Kwestię bezpieczeństwa GMO podejmują zarówno zalecenia o zasięgu międzynarodowym, jak i przepisy europejskie czy krajowe. Pierwszy istotny dokument – Konwencję o różnorodności biologicznej uchwalono w 1992 r. podczas Szczytu Ziemi, zorganizowanego przez ONZ w Rio de Janeiro [6]. Postanowienia te zostały uszczegółowione w 2000 r. w Protokole Kartageńskim o bezpieczeństwie biologicznym do Konwencji o różnorodności biologicznej. Na mocy tego dokumentu określono procedury oceny ryzyka wprowadzenia GMO do obrotu oraz utworzono m.in. Międzynarodowy System Wymiany Informacji o Bezpieczeństwie Biologicznym, a także Krajowe Punkty Kontaktowe (w Polsce jest to Zespół ds. Organizmów Genetycznie Zmodyfikowanych Departamentu Ochrony Przyrody w Ministerstwie Środowiska) [7]. Kolejną aktualizacją tego dokumentu ONZ jest podpisany w 2010 r. w Nagoya protokół uzupełniający [8].

Regulacje europejskie odnoszące się do GMO istnieją od wczesnych lat 90. XX w. i mają charakter kompleksowy. Wśród norm europejskich na uwagę zasługują: Dyrektywa 2009/41/WE z dnia 6 maja 2009 r., dotycząca stosowania mikroorganizmów zmodyfikowanych genetycznie [9], Dyrektywa 2001/18/WE z dnia 12 marca 2001 r., określająca zasady uwalniania do środowiska organizmów zmodyfikowanych genetycznie [10], Rozporządzenie 1829/2003 z dnia 22 września 2003 r., opisujące procedury wprowadzania do obrotu na terenie całej UE żywności lub pasz genetycznie zmodyfikowanych [1], Rozporządzenie 1830/2003 z dnia 22 września 2003 r., podejmujące aspekty etykietowania i śledzenia obiegu organizmów genetycznie zmodyfikowanych, żywności oraz pasz transgenicznych [11].

W Polsce zagadnienia dotyczące GMO regulują zasadniczo trzy ustawy. Podstawowym aktem prawnym jest Ustawa z dnia 22 czerwca 2001 r. o mikroorganizmach i organizmach genetycznie zmodyfikowanych [12]. Kolejny ważny dokument to Ustawa z dnia 22 lipca 2006 r. o paszach [13]. Znajduje się w niej kontrowersyjny zapis zakazujący stosowania w żywieniu zwierząt paszy zmodyfikowanej genetycznie, jednak czas wdrożenia tego przepisu odroczonego do stycznia 2017 r. Akt ten stanie się wówczas niezgodny z obowiązującym prawem unijnym. Najnowszą ustawą jest Ustawa z dnia 9 listopada 2012 r. o nasiennictwie [14]. Konieczność implementacji obowiązujących wówczas postanowień europejskich sprawiła, iż Ustawa ta nie wprowadza generalnego zakazu uprawy GMO na terenie Polski. W odpowiedzi na obawy społeczeństwa, na drodze aktów wykonawczych do Ustawy, zakazano wysiewu konkretnych odmian transgenicznych – kukurydzy MON810 i ziemniaka Amflora. Od kwietnia 2015 r.,

po wejściu w życie nowelizacji Dyrektywy 2001/18, umożliwiającej państwom członkowskim wprowadzenie ograniczeń lub zakazów upraw organizmów zmodyfikowanych genetycznie na swoim terytorium, stan taki będzie można uzyskać występując do Komisji Europejskiej z właściwym wnioskiem [10]. Zapis ten jest szczególnie istotny, ponieważ niechęć konsumentów europejskich do GMO sprawia, że skala upraw roślin transgenicznych w Europie już jest stosunkowo niewielka i ogranicza się do Hiszpanii, Portugalii, Czech, Słowacji oraz Rumunii [15].

Przegląd dotychczasowych osiągnięć w zakresie transgenetyki

Największy udział w produkcji modyfikowanej żywności ma transformacja genetyczna roślin. W 2014 r. uprawy biotechnologiczne były prowadzone w 28 krajach i zajęły łączną powierzchnię 181,5 mln hektarów. Wśród państw stosujących technologię modyfikacji genetycznych wiodącym są Stany Zjednoczone z 73,1 mln hektarów. Znaczny wpływ na globalny poziom zmodyfikowanych plonów wywierają także kolejno Brazylia, Argentyna, Indie oraz Kanada. Wśród upraw roślin genetycznie modyfikowanych zdecydowanie dominują soja i kukurydza, stanowiąc aż 80% ogółu upraw. Duże znaczenie gospodarcze mają również bawełna i rzepak. Rośliny uprawiane na mniejszą skalę, to burak cukrowy, lucerna, papaja, dynia, pomidor, ziemniak, bakłażan [15]. Wśród wiodących kierunków modyfikacji ww. roślin należy wymienić zwiększenie tolerancji na środki chwastobójcze, uodpornienie na choroby, ataki szkodników czy stresi środowiskowe. Największy sukces komercyjny odniosły odmiany o obniżonej wrażliwości na herbicydy [16].

Szerokie zastosowanie w przemyśle spożywczym mają również transgeniczne drobnoustroje. Mogą być one stosowane w produkcji fermentowanych środków spożywczych, głównie piekarskich i alkoholowych oraz częściej – do produkcji dodatków do żywności i substancji pomocniczych: enzymów, aminokwasów czy kwasów organicznych. Poprawa bakteryjnych szczepów produkcyjnych dotyczy zasadniczo ukierunkowania bakterii na wytwarzanie określonego związku chemicznego, a także zwiększenia wydajności procesu. Obowiązujące prawo europejskie nie dopuszcza, aby w wyrobie pozostawały żywe komórki genetycznie modyfikowanych mikroorganizmów [17].

Od lat 80. XX w. zwierzęta transgeniczne są bezcennym narzędziem wykorzystywanym do badań naukowych o charakterze medycznym. Znaczna część rekombinantów, to gryzonie laboratoryjne i zwierzęta, pełniące funkcje modeli chorób człowieka. Szczególnym wyzwaniem dla badaczy jest wyhodowanie odpowiednio zmodyfikowanych zwierząt do celów

transplantologii [18]. Na rynku artykułów spożywczych zwierzęta poddane manipulacjom genetycznym mają natomiast nieugruntowaną pozycję. Obecnie na rynku światowym nie ma zarejestrowanych zwierząt genetycznie modyfikowanych w celach konsumpcyjnych. W modyfikacji zwierząt, które mogą mieć zastosowanie w produkcji żywności można wyróżnić trzy wiodące kierunki. Podstawowym jest przyspieszenie wzrostu zwierząt gospodarskich i ryb [16]. Najbliższą komercjalizacji jest łosoś, który w USA przeszedł już pozytywnie badania oceniające potencjalne zagrożenia dla zdrowia konsumentów i środowiska [19]. Obiecujące są także prace dotyczące modyfikacji gruczołu mlekowego zwierząt w kontekście zwiększenia wydajności mlecznej oraz zmian struktury poszczególnych składników mleka, głównie białek. Pewne nadzieje można również wiązać z poprawieniem niektórych cech jakościowych mięsa [16].

GMO drugiej generacji

W zależności od tego, jakie cechy organizmu zostały zmienione technikami inżynierii genetycznej możemy mówić o dwóch podstawowych kierunkach modyfikacji. Pierwsza grupa zmian, klasyfikowana jako modyfikacje pierwszej generacji, dotyczy ulepszenia właściwości agrotechnicznych, głównie wzrostu i plonowania roślin. Polepszenie cech żywieniowych, sensorycznych lub przetwórczych surowców roślinnych to GMO drugiej generacji [20]. Wśród osiągnięć w tej dziedzinie należy wyróżnić opracowanie surowców wzbogaconych w składniki podnoszące ich wartość żywieniową, np. w witaminy, składniki mineralne, wielonienasycone kwasy tłuszczowe, aminokwasy. Istotne z punktu widzenia bezpieczeństwa żywności są także prace zmierzające do usunięcia lub obniżenia poziomu substancji szkodliwych lub niepożądanych w produktach spożywczych, m.in. toksyn, alergenów, kofeiny, nasyconych kwasów tłuszczowych [21].

Znanym przykładem modyfikacji drugiej generacji jest projekt Złoty Ryż (*Golden Rice*). Jego celem jest ograniczenie niedoboru witaminy A, występującego w populacji krajów rozwijających się [22]. Spożywanie tej witaminy w niedostatecznej ilości prowadzi do poważnych zaburzeń w odbieraniu bodźców wzrokowych, a w skrajnych przypadkach – nieodwracalnej ślepoty, osłabienia układu odpornościowego czy zaburzeń integralności nabłonka poprzez nadmierne wysuszenie i rogowacenie skóry [21]. Modyfikacja ryżu polegała na wprowadzeniu genów, które kodują enzymy warunkujące przebieg biosyntezy karotenoidów. W wyniku takich zmian w 100 g ryżu uzyskano 3,1 mg β -karotenu, co stanowi 520 μ g aktywnej formy witaminy A – retinolu. Wyliczono, że Złoty Ryż może uratować tylko w Indiach około 40 tys. osób rocznie [22, 23].

Przy użyciu metod inżynierii genetycznej możliwe okazało się także ograniczenie niedoboru żelaza w diecie. Niewystarczające spożywanie żelaza przez człowieka może powodować anemię, a w przypadku kobiet ciężarnych poważnie zagraża zdrowiu dziecka [21]. Oszacowano, iż niedobór tego składnika mineralnego może dotyczyć nawet 30% ludności świata [24]. Podobnie, jak w przypadku witaminy A, największe niedobory żelaza występują wśród mieszkańców krajów rozwijających się. Jest to spowodowane tym, że bogatym źródłem najlepiej przyswajalnego żelaza hemowego są rzadko spożywane w tych częściach świata podroby i mięso. Dla wyrównania niedoboru żelaza w pożywieniu, ponownie posłużono się transgenezą powszechnie spożywanego ryżu. W 100 g suchego ryżu znajduje się ok. 2 μ g żelaza, a jego wchłanianie jest bardzo niska. Otrzymanie ryżu o 3-krotnie zwiększonej zawartości żelaza wymagało zarówno zwiększenia samej zawartości tego pierwiastka, jak i poprawy jego przyswajalności [24].

Ważnym produktem spożywczym w diecie człowieka są oleje roślinne. Ilościowa oraz jakościowa zmiana parametrów olejów cieszy się dużym zainteresowaniem wśród biotechnologów. Metody inżynierii genetycznej wykorzystuje się m.in. do zwiększenia ilości długołańcuchowych wielonienasyconych kwasów tłuszczowych, które wykazują prozdrowotne właściwości. Innym kierunkiem modyfikacji jest zwiększenie ilości kwasu oleinowego, co pozwoliło uzyskać olej o lepszej stabilności cieplnej. Wysokooleinowe odmiany soi i rzepaku są już dostępne na rynku [25].

Intensywne prace trwają również nad modyfikacją mleka przeżuwaczy, dostosowując jego skład do mleka matki. Mleko ludzkie w porównaniu do mleka krowiego jest m.in. znacznie bogatsze w związki o działaniu przeciwbakteryjnym, jak laktoferyna czy lizozym. Związki te zapewniają dziecku, z niedojrzałym jeszcze układem odpornościowym, ochronę przed infekcjami, stymulują prawidłowy rozwój układu pokarmowego i naturalnej mikroflory jelit. Od lat trwają także prace nad opracowaniem mleka o obniżonej alergenicności. Nierzadko obserwowana reakcja alergiczna na białka mleka krowiego, najczęściej kazeiny, jest poważnym problemem w żywieniu niemowląt i małych dzieci [26]. W ostatnim czasie powstały liczne prace wskazujące, iż odpowiednio zmodyfikowane bakterie probiotyczne mogą jeszcze korzystniej wpływać na przewód pokarmowy człowieka. Otrzymane bakterie mlekowe wykazują m.in. zwiększoną zdolność adhezji do nabłonka jelit ssaków [27]. Przykładem udanej próby kształtowania właściwości probiotycznych jest również uzyskanie szczepu *Lactococcus lactis*, który umożliwia w jelicie syntezę interleukiny-10 o działaniu przeciwzapalnym [28].

Rekombinowanie genomu, to nie tylko wprowadzanie do niego pożądaných genów, ale również wyciszenie naturalnie występujących. Technika ta znajduje zastosowanie m.in. przy ograniczaniu zawartości związków szkodliwych lub niepożądanych w żywności. W 2012 r. przedstawiono wyniki badań nad transgeniczną pszenicą o obniżonej zawartości glutenu. Wykorzystanie interferencji RNA pozwoliło na obniżenie immunogennych białek glutenowych o 76,4% [29]. Stworzenie bezpiecznego zamiennika restrykcyjnej diety jest szansą dla osób nietolerujących tego kompleksu białek. Ciekawym, skomercjalizowanym już osiągnięciem w tej kategorii jest ziemniak *Innate*, w którym podczas smażenia lub pieczenia nie tworzy się toksyczny akrylamid. Dodatkowo ziemniak ten jest odporny na ciemnienie bulwy [30]. Według monografii opracowanej przez Międzynarodową Agencję Badań nad Rakiem – akrylamid został sklasyfikowany jako substancja o prawdopodobnym działaniu rakotwórczym dla człowieka (grupa 2A) [31]. Modyfikacja genetyczna pozwoliła także ograniczyć zawartość innych związków o działaniu kancerogennym, jakimi są produkowane przez grzyby niższe mykotoksyny. Najgroźniejszymi pod tym względem są rozwijające się m.in. na zbożach, grzyby z rodzaju *Fusarium* i *Aspergillus*. Badania wykazały, że modyfikowana kukurydza uodporniona na ataki owadów zawiera mniej mykotoksyn. Efekt ten tłumaczy się tym, że na zmodyfikowanych kolbach występuje mniej uszkodzeń spowodowanych przez szkodniki. Przerwanie ciągłości tkanki sprzyja bowiem rozwojowi grzybów [32].

Procedury oceny bezpieczeństwa żywności modyfikowanej genetycznie

Zapewnienie bezpieczeństwa produktów spożywczych jest we współczesnym świecie sprawą priorytetową. Ograniczenie ryzyka, ochrona interesów konsumentów i budowanie ich zaufania jest przedmiotem wspólnej troski organizacji międzynarodowych, instytucji i agencji europejskich, a także krajowych organów odpowiedzialnych za bezpieczeństwo zdrowotne. Specjalne zalecenia dla żywności genetycznie modyfikowanej zostały przygotowane przez Międzynarodową Grupę Zadaniową Ad Hoc ds. Żywności Otrzymywanej Metodami Biotechnologicznymi, działającą w ramach wspólnej inicjatywy FAO (Organizacja Narodów Zjednoczonych ds. Wyżywienia i Rolnictwa; – *Food and Agriculture Organization of the United Nations*) i WHO. Jest to tzw. *Codex Alimentarius* – Kodeks Żywnościowy. Według tych zaleceń ocena bezpieczeństwa żywności transgenicznej powinna obejmować elementy, takie jak: opis zmodyfikowanego organizmu (biorcy genu) oraz wykorzystanego do modyfikacji (dawcy genu), opis i charakterystykę modyfikacji genetycznej, badanie toksykologiczne, analizę poten-

cjału alergizującego, stabilność wprowadzonego genu, dane na temat zawartości składników odżywczych oraz informacje o skutkach przetwarzania tego typu produktów. Ryzyko wprowadzenia GMO na rynek artykułów spożywczych należy oszacowywać w oparciu o najnowszą wiedzę naukową i przy użyciu najlepszych dostępnych technik analitycznych, uwzględniając zarówno efekty zamierzone, jak i niezamierzone. W myśl tzw. zasady równoważności składnikowej punktem wyjściowym w ocenie bezpieczeństwa zdrowotnego GMO powinno być porównanie składu produktu modyfikowanego genetycznie z jego tradycyjnym odpowiednikiem. Kodeks Żywnościowy zwraca również uwagę na ocenianie ryzyka wedle zasady *case by case*, nakazującej traktować każdy organizm transgeniczny indywidualnie, bez wyciągania ogólnych wniosków co do bezpieczeństwa wszystkich produktów inżynierii genetycznej. Za konieczne uznaje się także monitorowanie wprowadzonej do obrotu żywności transgenicznej w celu wczesnego wykrywania nieprzewidzianych skutków [33].

Zalecenia UE są wzorowane na tych, zawartych w Kodeksie Żywnościowym. Na straży ich przestrzegania stoi Europejski Urząd ds. Bezpieczeństwa Żywności (*European Food Safety Authority* – EFSA), odpowiedzialny za niezależne doradztwo naukowe. Zarządzanie ryzykiem żywnościowym oraz podejmowanie decyzji leży natomiast w kompetencjach Komisji Europejskiej, Rady i Parlamentu Europejskiego. Od 2003 r. w ramach EFSA działa panel naukowy, dotyczący bezpieczeństwa GMO. Eksperti pracujący w ramach tego panelu opracowali dokument ustalający jednolite procedury, których należy przestrzegać przy ocenie ryzyka dopuszczenia do obrotu danego produktu modyfikowanego genetycznie. Badania dostarczane do EFSA muszą być zgodne z wytycznymi wydanymi przez ekspertów i przeprowadzane w ramach konkretnego systemu zapewniania jakości, np. ISO (*International Organization for Standardization*) czy Dobrej Praktyki Laboratoryjnej (*Good Laboratory Practice* – GLP) [34]. Aktualne wymagania naukowe reguluje uchwalone w 2013 r. Rozporządzenie Wykonawcze Komisji (UE) nr 503/2013 [35]. Standaryzacja metodyki badań nad bezpieczeństwem GMO zdecydowanie ograniczyła możliwość manipulacji i przyczyniła się do poprawy przejrzystości tego rynku.

Wyniki badań nad bezpieczeństwem żywności modyfikowanej genetycznie

Badanie potencjału alergizującego

W przypadku GMO szczególne ryzyko wystąpienia alergii związane jest z reakcją organizmu na nowe białka, które mogą pojawić się w jadalnych częściach zmodyfikowanych roślin lub w pyłku uwolnionym

do atmosfery. Ingerencja w genom rośliny może także wiązać się z niezamierzonymi zmianami w ekspresji naturalnych alergenów endogennych. Konieczne jest również określenie roli adiuwancyjnej nowych białek, czyli zdolności do zwiększania reakcji immunologicznej na konkretny antygen [36]. Do oceny alergenicności GMO wykorzystuje się m.in. porównanie sekwencji aminokwasów nowych białek i znanych alergenów, charakterystyczną właściwość białek alergicznych, jaką jest odporność na trawienie przez enzymy proteolityczne, czy testy oparte na wiązaniu przeciwciał IgE [35]. Ze względów bezpieczeństwa postuluje się, aby przy konstruowaniu GMO przeznaczonych do celów spożywczych dawcą genu nie był organizm uznany za źródło alergenów pokarmowych. Szczególną uwagę zwraca się na modyfikację soi, która należy to tzw. wielkiej ósemki alergenów pokarmowych. Nowe jej odmiany nie mogą wykazywać nadekspresji białek alergicznych. Celowość przeprowadzania tego typu analiz potwierdza fakt, iż w historii produktów inżynierii genetycznej pojawiły się przypadki projektów niebezpiecznych w kontekście wzmożonej odpowiedzi układu immunologicznego. Wśród nich wymienić należy soję wzbogaconą o gen albuminy, pochodzący od orzecha brazylijskiego oraz modyfikację grochu, polegającą na wprowadzeniu genu inhibitora α -amylazy wyizolowanego z fasoli. Oba te projekty nie zostały sfinalizowane [37]. Na chwilę obecną nie ma jednak żadnych badań naukowych ani informacji, uzyskanych na podstawie monitorowania już dostępnych na rynku produktów transgenicznych, które wskazywałyby, że skomercjalizowane modyfikacje genetyczne organizmów są powodem wzmożonych reakcji alergicznych [38].

Badanie toksyczności

W badaniu toksyczności wybranych białek należy uwzględnić ich molekularną i biochemiczną charakterystykę, m.in. strukturę, masę cząsteczkową, homologię z białkami toksycznymi, stabilność, podatność na trawienie enzymami proteolitycznymi, a w przypadku enzymu – specyficzność substratową. Badanie pokarmowej toksyczności obejmuje wyznaczenie toksyczności ostrej, podprzewlekłej, przewlekłej, genotoksyczności, toksykokinetyki, działania rakotwórczego oraz toksyczności reprodukcyjnej i rozwojowej [35]. W tym celu ocenia się funkcjonalne lub histologiczne zmiany organów czy wskaźniki hematologiczne. Badania nad transgenicznymi odmianami dowiodły, iż spożywanie ich nie skutkuje pogorszeniem się parametrów fizjologicznych zwierząt laboratoryjnych. Niektóre z tych badań zdecydowanie przekraczały wymagany okres 90 dni. Niewątpliwie, długoterminowe monitorowanie wpływu GMO pozwala na znacznie dokładniejszą analizę skutków. Poza badaniami koncernów bio-

technologicznych czy indywidualnych naukowców realizowane są projekty na większą skalę. Wśród nich wymienić należy europejski projekt zakończony w 2012 r. o nazwie GMSAFOOD [39]. W badaniach tych zwierzętom (świniom, szcziom i myszom) podawano modyfikowany groch i kukurydzę MON810. Wyniki 110-dniowych badań na świniami, najbardziej użytecznych ze względu na podobieństwa w anatomii i fizjologii przewodu pokarmowego do człowieka, wskazują na brak zagrożeń zdrowotnych. W 2012 r. ruszył kolejny program finansowany ze środków unijnych – GRACE [40]. Działania badawcze GRACE są skupione zarówno na przeprowadzaniu prób karmienia zwierząt w celu oceny wpływu GMO na zdrowie człowieka, jak i przeglądu danych i badań naukowych na temat korzystnych i niekorzystnych skutków spożywania niekonwencjonalnej żywności. Pierwsze wyniki testowania kukurydzy MON810 na szczurach nie wykazały statystycznie istotnych różnic [41]. Jednym z wniosków z realizacji programu GRACE jest konieczność poprawienia dostępności do informacji naukowych na temat GMO. W tym celu utworzono bazę danych CADIMA, która będzie zawierać rzetelne informacje odnośnie szans i zagrożeń tego działu biotechnologii [40]. W 2014 r. rozpoczął się następny, czteroletni projekt UE podejmujący tematykę oceny ryzyka modyfikacji genetycznych o nazwie G-TwYST. W ramach tego projektu będą przeprowadzone 90-dniowe testy toksyczności podprzewlekłej, roczne testy toksyczności przewlekłej i 2-letnie testy badające właściwości nowotworowe kukurydzy NK603 [42].

Badanie oporności na antybiotyki

Wydajność modyfikacji genetycznych jest różna, więc w celu sprawdzenia przebiegu transformacji komórek i ich selekcji, w wektorze umieszcza się m.in. znacznikowy gen *nptII*, kodujący fosfotransferazę II neomycyny – enzym dezaktywujący niektóre antybiotyki aminoglikozydowe. Z tego względu istnieje konieczność oceny potencjalnego ryzyka poziomego transferu wprowadzanego genu do mikroorganizmów chorobotwórczych. Aby mogło dojść do przeniesienia genu do genomu bakterii musi jednocześnie zaistnieć kilka okoliczności. Po pierwsze, zagrożenie jest realne tylko wtedy, gdy kwasy nukleinowe pozostaną nienaruszone przez enzymy trawienne przewodu pokarmowego [43]. Szacuje się, że człowiek pobiera z pożywieniem ok. 1 g obcego DNA, które podlega procesowi rozkładu, nie stanowiąc zagrożenia [44]. Następnie wybrane fragmenty muszą związać się z powierzchnią komórki bakteryjnej i zostać przetransportowane do jej wnętrza. Kolejną kluczową fazą jest wbudowanie danego fragmentu do genomu bakterii w sposób umożliwiający jego ekspresję. W przypadku pozytywnego

efektu na tym etapie, wymagane jest jeszcze przekazanie tej informacji potomnym komórkom i selekcja nowego szczepu bakterii. Model transformacji według przedstawionego szlaku, chociaż teoretycznie możliwy, jest bardzo mało prawdopodobny [43]. W 2009 r. EFSA opublikowało opinię na ten temat stwierdzając w niej, że szkodliwe skutki dla zdrowia ludzkiego i środowiska naturalnego związane z wykorzystywaniem tej techniki są mało realne [44].

Stanowisko środowiska naukowego

Postawy uczonych względem modyfikacji genetycznych zbadano w 2014 r. wśród członków Amerykańskiego Stowarzyszenia na Rzecz Rozwoju Nauki. Sondaż przeprowadzono wśród 3748 naukowców, reprezentujących różne dziedziny wiedzy. Na podstawie wyników ankiety stwierdzono, że znaczna większość, bo 88% działaczy na rzecz nauki jest zdania, że żywność genetycznie modyfikowana jest bezpieczna [46]. W odpowiedzi na niepokoje społeczne swój głos w tej sprawie przedstawiło również Prezydium Polskiej Akademii Nauk. Organ naczelny tej instytucji naukowej w 2012 r. przyjął uchwałę popierającą stanowisko Wydziału Nauk Biologicznych i Rolniczych PAN w sprawie organizmów modyfikowanych genetycznie, który od dawna za bezpodstawne uważa ograniczanie dostępu do tej bezpiecznej, a nawet korzystnej dla zdrowia człowieka technologii. Profesorowie Prezydium w uzasadnieniu zaznaczyli, że nie ma sprawdzonych i potwierdzonych dowodów, które świadczyłyby o negatywnym wpływie żywności transgenicznej, jak i modyfikowanych pasz [47]. Dużą moc oddziaływania na społeczeństwo ma WHO, będąc światowym autorytetem w dziedzinie zdrowia. Odnosząc się do kwestii bezpieczeństwa żywności transgenicznej organizacja ta stwierdza, że produkty modyfikowane genetycznie dostępne na rynku przeszły ocenę ryzyka i nie mogą stanowić zagrożenia dla zdrowia ludzi. Ponadto podkreśla, że skutków ubocznych nie wykazano również podczas monitorowania zatwierdzonych odmian, które od lat są spożywane przez ogół populacji [38]. Stojąca na straży bezpieczeństwa żywności w Europie EFSA również potwierdza brak dowodów naukowych na negatywne oddziaływanie wszystkich zatwierdzonych w UE GMO [48]. Pomimo tak jednoznacznego przekazu instytucji odpowiedzialnych za bezpieczeństwo zdrowotne, w 2010 r. swoje poparcie dla dostępnych na rynku produktów modyfikowanych genetycznie pochodzenia roślinnego deklarowało

jedynie 23% pytanym mieszkańców Europy, a 18% wyrażało swoją aprobatę wobec modyfikacji zwierząt w celach konsumpcyjnych. Również w Polsce badania statystyczne wskazują, iż ok. 70% Polaków obawia się zdrowotnych konsekwencji spożywania produktów transgenicznych [49].

Podsumowanie

Bezpieczeństwo żywności wyprodukowanej z użyciem mikroorganizmów, organizmów roślinnych lub zwierzęcych zmodyfikowanych genetycznie regulują szczegółowe procedury oceny ryzyka. W ramach obowiązkowej oceny analizowane są m.in. takie zagrożenia dla zdrowia człowieka, jak wzrost potencjału alergennego czy toksycznego zmodyfikowanych białek lub uodpornienie bakterii na wybrane antybiotyki. W świetle uzyskanych wyników obawy konsumentów, co do niebezpiecznych skutków spożywania żywności transgenicznej można uznać za nieuzasadnione.

Nie ulega wątpliwości, że do każdej nowej konstrukcji genetycznej należy podchodzić z należytą uwagą i ostrożnością. Organy decyzyjne w Europie słusznie stosują zasadę przezorności przy wydawaniu zezwoleń na komercjalizację produktów transgenezy. Trzeba jednak uwzględniać i doceniać szereg badań nad bezpieczeństwem GMO. Tylko od 2006 r. ukazało się ponad 30 tys. artykułów na temat produktów transgenicznych, a wśród nich 237 oryginalnych prac badawczych [50]. Żywność genetycznie modyfikowana jest więc prawdopodobnie najlepiej przebadaną żywnością na rynku.

Produktów inżynierii genetycznej nie należy postrzegać jedynie w kontekście zagrożenia bezpieczeństwa, ale również szansy na jego polepszenie. Otrzymano już bowiem odmiany charakteryzujące się obniżoną zawartością szkodliwych dla człowieka substancji. Dzisiaj, kiedy zdecydowanie zwiększa się popyt na żywność wykazującą korzystny wpływ na zdrowie konsumenta, koncepcja GMO drugiej generacji ma szansę na skuteczniejszą realizację i aprobatę.

Największym wyzwaniem, przed którym staną w najbliższej przyszłości firmy biotechnologiczne i organizacje międzynarodowe będzie przekonanie społeczeństwa, że organizmy genetycznie modyfikowane, czy pochodzące od nich produkty, mogą również stanowić element bezpiecznego rynku spożywczego, przynajmniej w wymiarze, który reprezentują ich konwencjonalne odpowiedniki.

Piśmiennictwo / References

1. Rozporządzenie (WE) nr 1829/2003 Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 22 września 2003 r. w sprawie genetycznie zmodyfikowanej żywności i paszy (Dz. Urz. WE L 268 z 18.10.2003 z późn. zm.).
2. Jurkiewicz A. Genetyczne modyfikacje organizmów – biotechnologiczny eksperyment na organizmach żywych. *Med Og Nauk Zdr* 2012, 3: 236-242.
3. Boyle M. Metkować czy nie metkować – dylematy oznakowania żywności modyfikowanej genetycznie. *Bloomberg Businessweek Polska* 2014, 34(111): 16-18.
4. Komisja Europejska. Pytania i odpowiedzi dotyczące polityki UE w zakresie GMO. http://europa.eu/rapid/press-release_MEMO-15-4778_pl.htm (19.05.2015).
5. International Food Policy Research Institute (IFPRI). 2014 Global Hunger Index. Bonn, Washington, DC, Dublin 2014: 5-11.
6. Convention on Biological Diversity. <http://www.cbd.int/convention/text/> (15.12.2014).
7. The Cartagena Protocol on Biosafety to the Convention on Biological Diversity. <http://bch.cbd.int/protocol/text> (15.12.2014).
8. The Nagoya Protocol on Access to Genetic Resources and the Fair and Equitable Sharing of Benefits Arising from their Utilization to the Convention on Biological Diversity. <http://www.cbd.int/abs/text/default.shtml> (15.12.2014).
9. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/41/WE z dnia 6 maja 2009 r. w sprawie ograniczonego stosowania mikroorganizmów zmodyfikowanych genetycznie (Dz. Urz. UE L 125 z 21.05.2009 r.).
10. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2001/18/WE z dnia 12 marca 2001 r. w sprawie zamierzonego uwalniania do środowiska organizmów zmodyfikowanych genetycznie i uchylająca dyrektywę Rady 90/220/EEG (Dz. Urz. WE L 106 z 17.04.2001 r. z późn. zm.).
11. Rozporządzenie (WE) nr 1830/2003 Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 22 września 2003 r. dotyczące możliwości śledzenia i etykietowania organizmów zmodyfikowanych genetycznie oraz możliwości śledzenia żywności i produktów paszowych wyprodukowanych z organizmów zmodyfikowanych genetycznie, zmieniające dyrektywę 2001/18/WE (Dz. Urz. UE L 268 z 18.10.2003 r. z późn. zm.).
12. Ustawa z dnia 22 czerwca 2001 r. o organizmach i mikroorganizmach genetycznie zmodyfikowanych (Dz. U. z 2007 r. Nr 36, poz. 233 z późn. zm.).
13. Ustawa z dnia 22 lipca 2006 r. o paszach (Dz. U. z 2014 r., poz. 398).
14. Ustawa z dnia 9 listopada 2012 r. o nasiennictwie (Dz. U. z 2012 r., poz. 1512 z późn. zm.).
15. James C. Brief 49: Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops: 2014. <http://www.isaaa.org/resources/publications/briefs/49/default.asp> (20.01.2015).
16. Kudelka W. Inżynieria genetyczna w produkcji i kształtowaniu jakości żywności. *Z Nauk UR: Nierówności społeczne a wzrost gospodarczy*, Kraków 2009.
17. Gniewosz M. Nowe właściwości genetycznie modyfikowanych mikroorganizmów. [w:] *GMO w świetle najnowszych badań*. Niemirowicz-Szczytt K (red). SGGW, Warszawa 2012: 48-62.
18. Świtoński M, Malepszy S. Postęp biologiczny w rolnictwie w erze genomiki i modyfikacji genetycznych. *Nauka* 2012, 1: 25-35.
19. FDA – Center for Veterinary Medicine. Briefing Packet for AquAdvantage Salmon 2010: 10-17; 116-118.
20. Zimny J. Żywność zmodyfikowana genetycznie i bezpieczeństwo jej stosowania. *Post Nauk Rol* 2007, 1: 31-48.
21. Gawęcki J, Mosso-Pietraszewska T. Kompendium wiedzy o żywności, żywieniu i zdrowiu. PWN, Warszawa 2004: 134-153.
22. Golden Rice Project. <http://www.goldenrice.org/> (20.03.2015).
23. Potrykus I. Golden Rice, a GMO-product for public good, and the consequences of GE – regulation. *J Plant Biochem Biotechnol* 2012, 21(suppl 1): 68-75.
24. Bhullar NK, Gouissem W. Nutritional enhancement of rice for human health: The contribution of biotechnology. *Biotechnol Adv* 2013, 31: 50-57.
25. Borek S, Galor A. Rośliny transgeniczne źródłem wysokiej jakości olejów. *Kosmos Probl Nauk Biol* 2012, 3(296): 477-491.
26. Zwierzchowski L. Nowe właściwości zwierząt modyfikowanych genetycznie. [w:] *GMO w świetle najnowszych badań*. Niemirowicz-Szczytt K (red). SGGW, Warszawa 2012: 94-103.
27. Piasecka-Jóźwiak K, Chabowska B. Mikroorganizmy zmodyfikowane genetycznie w przemyśle fermentacyjnym i spożywczym – stan aktualny i perspektywy. *Przem Ferm Owoc-Warz* 2011, 10: 39-41.
28. Pietrzyk S, Błoniarczyk K. Żywność genetycznie modyfikowana. *Lab Przem* 2007, 9: 34-38.
29. Wen S, Wen N, Pang J, et al. Structural genes of wheat and barley 5-methylcytosine DNA glycosylases and their potential applications for human health. *Proc Natl Acad Sci* 2012, 50: 20543-20548.
30. Zalewski W. Zdrowsze (trochę) frytki i chipsy dzięki GMO. <http://gmo.blog.polityka.pl/2013/10/08/zdrowsze-troche-frytki-i-chipsy-dzieki-gmo/> (19.04.2015).
31. IARC. Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans: Acrylamide. <http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol60/mono60-16.pdf> (18.04.2015).
32. Folcher L, Delos M, Marengue E, et al. Lower mycotoxin levels in Bt maize grain. *Agron Sustain Dev* 2010, 4: 711-719.
33. FAO/WHO. Codex Alimentarius Commission: Foods Derived From Modern Biotechnology. Rome 2009: 1-76.
34. Komisja Europejska. MEMO/12/869 Najczęściej zadawane pytania: 10 lat Europejskiego Urzędu ds. Bezpieczeństwa Żywności (EFSA). http://europa.eu/rapid/press-release_MEMO-12-869_pl.htm (28.04.2015).
35. Rozporządzenie Wykonawcze Komisji (UE) nr 503/2013 z dnia 3 kwietnia 2013 r. w sprawie wniosków o zatwierdzenie genetycznie zmodyfikowanej żywności i paszy zgodnie z rozporządzeniem (WE) nr 1829/2003 Parlamentu Europejskiego i Rady oraz zmieniające rozporządzenia (WE) nr 641/2004 i (WE) nr 1981/2006 (Dz. Urz. UE L 157/1 z 08.06.2013 r.).

36. Devos Y, Aguilera J, Diveki Z, et al. EFSA's scientific activities and achievements on the risk assessment of genetically modified organisms (GMOs) during its first decade of existence: looking back and ahead. *Transgenic Res* 2014, 23: 1-25.
37. Goodman RE, Hefl SL, Taylor SE, et al. Assessing genetically modified crops to minimize the risk of increased food allergy: A review. *Int Arch Allergy Immunol* 2005, 137: 153-166.
38. WHO. Frequently asked questions on genetically modified foods. http://www.who.int/foodsafety/areas_work/food-technology/faq-genetically-modified-food/en/ (05.05.2015).
39. GMSAFOOD. Report of GMSAFOOD Conference about GM post-market monitoring. <http://www.gmsafoodproject.eu/Sections.aspx?section=463.529> (08.05.2015).
40. GRACE. <http://www.grace-fp7.eu/> (08.05.2015).
41. Zeljenková D, Ambrušová K, Bartušová M, et al. Ninety-day oral toxicity studies on two genetically modified maize MON810 varieties in Wistar Han RCC rats (EU 7th Framework Programme project GRACE). *Arch Toxicol* 2014, 88(12): 2289-2314.
42. G-TWYST. <http://www.g-twyst.eu/> (08.05.2015).
43. Gay PB, Gillespie SH. Antibiotic resistance markers in genetically modified plants: a risk to human health? *Lancet Infect Dis* 2005, 5: 637-646.
44. Wrześniewska-Wal I. Żywność GMO aspekty prawne i środowiskowe. *Przem Spoż* 2015, 69: 48-50.
45. EFSA. FAQ on genetically modified organisms. <http://www.efsa.europa.eu/en/faqs/faqgmo.htm> (10.05.2015).
46. Funk C, Raine L. Public and scientists' views on science and society. <http://www.pewinternet.org/2015/01/29/public-and-scientists-views-on-science-and-society/> (18.05.2015).
47. Uchwała Nr 50/2012 Prezydium PAN z dnia 18 września 2012 r. w sprawie poparcia stanowiska Wydziału Nauk Biologicznych i Rolniczych Polskiej Akademii Nauk w sprawie organizmów zmodyfikowanych genetycznie (GMO) w rolnictwie.
48. Komisja Europejska. Pytania i odpowiedzi dotyczące polityki UE w zakresie GMO. http://europa.eu/rapid/press-release_MEMO-15-4778_pl.htm (19.05.2015).
49. European Commission. Eurobarometer 73.1 – Biotechnology Report 2010. Bruxelles 2010: 9-32; 52-57; 206-208.
50. Sanchez MA. Conflict of interests and evidence base for GM crops food/feed safety research. *Nat Biotechnol* 2015, 33: 135-137.