

Genetyczne modyfikacje organizmów – biotechnologiczny eksperyment na organizmach żywych

Anna Jurkiewicz

Zakład Zdrowia Publicznego, Instytut Medycyny Wsi w Lublinie

Jurkiewicz A. Genetyczne modyfikacje organizmów – biotechnologiczny eksperyment na organizmach żywych. Med Og Nauk Zdr. 2012; 18(3): 236-242.

Streszczenie

Modyfikacje genetyczne organizmów żywych wydają się największym eksperymentem w dziejach nauki, którego efekty są trudne do przewidzenia, a którego skutki poznamy za wiele lat. Dynamiczny rozwój biotechnologii w ostatnich latach jest wynikiem odkryć genetycznych i rozwoju nanotechniki, które przyczyniły się do powstania tak zwanej „współczesnej biotechnologii”. Wykorzystuje ona metody inżynierii genetycznej pozwalające na uzyskiwanie genetycznie zmodyfikowanych organizmów (GMO), roślin i zwierząt.

Obecnie największe znaczenie ma żywność zawierająca genetycznie zmodyfikowane składniki lub będąca organizmem modyfikowanym genetycznie oraz żywność i jej składniki produkowane przez GMO, lecz niezawierające GMO (np. inwentarz karmiony paszami GMO).

Kontrowersje wokół GMO dotyczą: wpływu spożywania żywności produkowanej na bazie organizmów roślinnych lub zwierzęcych zmodyfikowanych genetycznie na zdrowie ludzi, wpływu GMO na środowisko naturalne, ważnych dla producentów i konsumentów żywności ekonomicznych konsekwencji prowadzenia upraw roślin genetycznie zmodyfikowanych lub hodowli zwierząt genetycznie zmodyfikowanych, prawnych aspektów „własności intelektualnej” firm biotechnologicznych wytwarzających w swych laboratoriach organizmy modyfikowane genetycznie, etycznych aspektów ingerencji człowieka w ukształtowany przez miliony lat ewolucji świat przyrody, bez możliwości nawet przybliżonego przewidywania skutków tego gigantycznego eksperymentu.

W artykule przedstawiona została ogólna problematyka genetycznych modyfikacji organizmów, kwestia żywności modyfikowanej genetycznie, wpływu genetycznych modyfikacji na zdrowie, bioróżnorodności oraz kontrowersji prawnych i etycznych dotyczących genetycznych modyfikacji.

Słowa kluczowe

genetyczne modyfikacje, zdrowie, środowisko, biotechnologia

Jedną z najważniejszych technologii XXI wieku, która od zawsze towarzyszyła człowiekowi i jest wpisana w naszą codzienność, jest biotechnologia.

Według konwencji ONZ biotechnologia jest to „zastosowanie technologiczne, które używa systemów biologicznych, organizmów żywych lub ich składników, żeby wytwarzać lub modyfikować produkty lub procesy w określonym zastosowaniu”. Termin „biotechnologia” wywodzi się od trzech greckich słów *bios* – życie, *technos* – technika, *logos* – myślenie.

Dynamiczny rozwój biotechnologii w ostatnich latach jest wynikiem odkryć genetycznych i rozwoju nanotechniki, które przyczyniły się do powstania tak zwanej „współczesnej biotechnologii”. Wykorzystuje ona metody inżynierii genetycznej pozwalające na uzyskiwanie genetycznie zmodyfikowanych organizmów (GMO), roślin i zwierząt [1, 2].

Modyfikacje genetyczne organizmów żywych wydają się największym eksperymentem w dziejach nauki, którego efekty są trudne do przewidzenia, a którego skutki poznamy za wiele lat [3].

Zgodnie z ustawą z dnia 22.06.2001 r. o organizmach genetycznie zmodyfikowanych (Dz. U. z 2001r. Nr 76 poz. 811) organizm zmodyfikowany genetycznie to „organizm,

inny niż organizm człowieka, w którym materiał genetyczny został zmieniony w sposób niezachodzący w warunkach naturalnych wskutek krzyżowania lub naturalnej rekombinacji, w szczególności przy zastosowaniu:

1. technik rekombinacji DNA z użyciem wektorów, w tym tworzeniu materiału genetycznego poprzez włączenie do wirusa, plazmidu lub każdego innego wektora cząsteczek DNA wytworzonych poza organizmem biorcy, w którym w warunkach naturalnych nie występują, ale w którym są zdolne do ciągłego powielania;
2. technik stosujących bezpośrednio włączenie materiału dziedzicznego przygotowanego poza organizmem, a w szczególności: mikroiniekcji, makroiniekcji i mikro-kapsułkowania;
3. metod niewystępujących w przyrodzie dla połączenia materiału genetycznego co najmniej dwóch różnych komórek, gdzie w wyniku zastosowanej procedury powstaje nowa komórka zdolna do przekazywania swego materiału genetycznego odmiennego od materiału wyjściowego komórkom potomnym” [4, 5, 6].

Genetyczne modyfikacje zasadniczo różnią się od wielowiekowych zabiegów stosowanych przez rolników i hodowców zwierząt, aby wyselekcjonować odpowiednie ich gatunki, odmiany, rodzaje. Również takie zabiegi jak krzyżowanie, hybrydyzacja, indukowana mutacja czy nawet manipulacja na zarodkach nie ingerują w sposób sztuczny w genom zmie-



nionego organizmu [7, 8, 9, 10]. Dopiero około 30 lat temu osiągnięcia inżynierii genetycznej pozwoliły na przenoszenie genów lub ich grup między niespokrewnionymi gatunkami celem osiągnięcia organizmów o określonych cechach [11, 12, 13, 14, 15].

W inżynierii genetycznej wypracowane zostały trzy podstawowe rodzaje metod modyfikacji genetycznej:

1. Zmiana aktywności genów występujących w danym organizmie – np. pomidor o zmniejszonej aktywności genów odpowiedzialnych za dojrzewanie i mięknięcie.
2. Wprowadzenie do organizmu dodatkowego genu (jego własnego genu) w celu zwielokrotnienia pożądanej cechy, np. genu przyspieszającego wzrost zwierząt, genu zwiększającego mleczność krów, genu zwiększającego zawartość glutenu w pszenicy, oleju w rzepaku, cukru w burakach itp.
3. Tworzenie organizmów o cechach nieistniejących dotąd w naturze (transgenicznym) przez łączenie genów roślinnych z roślinnymi, lecz innych gatunków (np. do genomu ziemniaka wprowadza się gen przebiśniegu, otrzymując mrozoodporne ziemniaki), genów zwierzęcych ze zwierzęcymi (np. do genomu kozy wprowadzono gen pająka, uzyskując mleko kozy z białkiem w postaci mocnych nici nadających się do produkcji kamizelek kuloodpornych) oraz genów roślinnych ze zwierzęcymi lub ludzkimi (np. gen ludzkiej albuminy wprowadzony do ziemniaka powoduje, że roślina ta zaczyna produkować ludzkie białko z osocza krwi) [16, 17, 18].

Z kolei żywność modyfikowana genetycznie (GMF, ang. Genetically Modified Foods), oznacza żywność zawierającą, składającą się lub produkowaną z organizmów modyfikowanych genetycznie. Należy ona do kategorii tzw. nowej żywności (Novel Food) i obejmuje następujące grupy:

1. Żywność będącą organizmem zmodyfikowanym genetycznie (GMO) lub zawierającą genetycznie zmodyfikowane składniki. Zalicza się do niej całe produkty spożywcze lub ich składniki otrzymane w oparciu o surowce transgeniczne, np. modyfikowane pomidory, przetwory z modyfikowanych pomidorów, modyfikowane owoce, czy lody z soków z transgenicznych owoców itp.
2. Żywność i jej składniki produkowane przez organizmy zmodyfikowane genetycznie, lecz niezawierające GMO. Przykładem tej grupy produktów mogą być: olej rzepakowy uzyskany z transgenicznego rzepaku, cukier wyprodukowany z transgenicznych buraków cukrowych.
3. Żywność i jej składniki zawierające nową lub celowo zmodyfikowaną podstawową strukturę molekularną. Do tej grupy produktów można zaliczyć pszenicę wzbogaconą w deficytowe, egzogenne aminokwasy (gluten).
4. Żywność i jej składniki zbudowane bądź izolowane z roślin lub zwierząt hodowlanych rozmnażanych nietradycyjnymi metodami, a jednocześnie nieposiadające własnej historii ich bezpiecznego stosowania dla celów spożywczych. Przedstawicielami tej grupy mogą być klonowane zwierzęta, mleko od krów GM i jego przetwory [17, 18].

Obecnie największe znaczenie ma żywność zawierająca genetycznie zmodyfikowane składniki lub będąca organizmem modyfikowanym genetycznie oraz żywność i jej składniki produkowane przez GMO, lecz niezawierające GMO.

Żywność genetycznie zmodyfikowana może być, w porównaniu z żywnością tradycyjną, bogatym źródłem substancji odżywczych, m.in. nutraceutyków, składników żywności oraz substancji dodatkowych, których spożycie przynosi większe korzyści zdrowotne i terapeutyczne niż te, które

wynikają z normalnej diety. Należą do nich m.in. probiotyki, prebiotyki, błonnik pokarmowy, barwniki roślinne, witaminy A, C i E, wielonienasycone kwasy tłuszczowe, a także niektóre zamienniki tłuszczów i sacharozy. Ponadto żywność zmodyfikowana genetycznie może zawierać szczepy bakterii probiotycznych, które zostały poddane modyfikacji, przez co korzystniej wpływają na przewód pokarmowy człowieka przeciwdziałając szkodliwym infekcjom i zaburzeniom przewodu pokarmowego [19, 20].

GENETYCZNE MODYFIKACJE ROŚLIN

Człowiek od zawsze był zależny od roślin, które wykorzystywał nie tylko jako pokarm, ale także jako źródło leków, energii, materiałów budulcowych i innych materiałów przemysłowych.

Dzisiejszy rozwój cywilizacji był możliwy dzięki eksploatacji zasobów roślinnych oraz kierunkowym zmianom, jakich człowiek dokonał w świecie roślin. Można powiedzieć, że wszystkie uprawiane dziś rośliny są „genetycznie zmodyfikowane”, ponieważ ich cechy zmieniane były przez tysiące lat w celu polepszenia ich właściwości użytkowych.

Historia hodowli roślin rozpoczęła się od udomowienia dzikich gatunków, krzyżowania pokrewnych i oddalonych taksonów, selekcji najbardziej wartościowych osobników, a także indukowania mutacji. W wyniku tych działań powstały istniejące obecnie odmiany roślin uprawnych. Dawne metody były jednak mało doskonałe. Wszystkie techniki bazowały na zmianach, które przebiegały w genomach roślin w sposób spontaniczny czy celowo indukowany. Krzyżując rośliny uprawne z dzikimi gatunkami, obok pożądanych genów wprowadzono tysiące genów niekorzystnych, które musiały zostać wyeliminowane na drodze długotrwałej selekcji. Obecna technika transformacji – inżynieria genetyczna – jest bardzo precyzyjna, polega na dodaniu do danego genotypu pojedynczych genów kodujących pożądane cechy, np. odporność na choroby i szkodniki, bez zmiany innych posiadanych właściwości [21, 22].

Rośliny genetycznie zmodyfikowane mogą rozprzestrzeniać się w czasie zbiorów, jak również podczas przechowywania. Mogą być również przenoszone przez zwierzęta. Dlatego dokłada się wszelkich starań, aby ten proces ograniczyć, choć obecnie tworzone gatunki roślin GM, na ogół nie posiadają cech, które mogłyby wyprzeć uprawy niezawierające genetycznej modyfikacji, gdyż ich następne pokolenia są bezpłodne.

Najczęściej modyfikowane są rośliny, które mają duże znaczenie gospodarcze i są uprawiane na dużą skalę. Transgeniczne rośliny uprawne powstają w laboratoriach uniwersytetów i firm biotechnologicznych od połowy lat osiemdziesiątych ubiegłego stulecia.

Pierwsze rośliny GMO uzyskano w latach osiemdziesiątych XX wieku. Był to tytoń i petunie. Kolejną datą w historii roślin transgenicznych był rok 1994, kiedy to na rynek w USA wprowadzono genetycznie zmodyfikowane pomidory FlavrSavr®, charakteryzujące się wolniejszym dojrzewaniem i mięknięciem owoców, przez co dłużej zachowywały świeżość oraz łatwiej można było je transportować. Osiągnięto to poprzez zmniejszenie aktywności genu poligalaktouronazy, odpowiedzialnego za rozkładanie ściany komórkowej. Ponieważ odmiana użyta do transformacji pomidora FlavrSavr® nie była najlepsza, pomidor ten nie przyniósł spodziewanego sukcesu finansowego i po kilku latach został wycofany ze sprzedaży [23].



Obecnie rośliny modyfikowane genetycznie uprawiane są na masową skalę w wielu krajach, m.in. w USA, Kanadzie, Argentynie, Chinach, Brazylii, Chile, Meksyku. Pomimo, że badaniami nad transgenezą objęte są prawie wszystkie gatunki roślin uprawnych, a także niektóre dziko rosnące, w uprawie dominują: transgeniczna soja (odporna na środki ochrony roślin – herbicydy, wirusy i szkodniki, z obniżoną zawartością kwasu palmitynowego), transgeniczna kukurydza (odporna na owady, wytwarzająca substancje używane do wyrobu leków lub szczepionek), rzepak (odporny na herbicydy, ze zmniejszoną zawartością nienasyconych kwasów tłuszczowych, z większą zawartością kwasu lauronowego), bawełna (odporna na herbicydy i szkodniki), ziemniak (ze zwiększoną zawartością skrobi, odporny na herbicydy, stonkę ziemniaczaną, wirusy, ciemnienie poudzerzeniowe, co oznacza większą trwałość połączoną z małą zawartością glikoalkaloidów, tj. substancji szkodliwych dla człowieka występujących w surowych ziemniakach), pomidor (z cieńszą skórką, odporny na herbicydy, odporny na szkodniki, ze spowolnionym dojrzewaniem) oraz dynia, tytoń, ogórki, śliwy (odporne na grzyby) [24, 25].

Powierzchnia uprawy roślin genetycznie zmodyfikowanych stale wzrasta. Według lobby biotechnologicznego z organizacji ISAAA (International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications – Międzynarodowej Organizacji ds. Zastosowań Biotechnologii w Rolnictwie) w 2010 r. nastąpił, w porównaniu z 2009 rokiem, 10% wzrost powierzchni uprawy roślin GMO (do 148 mln ha). Również liczba rolników na świecie uprawiających modyfikowane genetycznie rośliny wzrosła do 15,4 mln wobec 11 mln w 2009 roku. W 2010 roku liczba państw uprawiających GMO wzrosła do 29 (25 państw w 2009 roku). Według ISAAA rośliny genetycznie zmodyfikowane odgrywają istotną rolę w zapobieganiu niedożywieniu oraz poprawie globalnego bezpieczeństwa żywnościowego [15, 19, 26, 27, 28].

Większość uprawianych w Polsce roślin pochodzi z innych krajów (np. zboża z Azji Zachodniej) i nie mają one w przyrodzie naturalnie występujących pokrewnych gatunków. Wiele roślin uprawnych jest samopylnych, co w dużym stopniu ogranicza możliwość przeniesienia nowych genów nawet na inne odmiany uprawne. Problem dotyczyć może rzepaku (*Brassica napus*), który jest rośliną obcą i owadopylną, mającą w przyrodzie Polski naturalnie występujące pokrewne gatunki (*B. campestris* i *B. oleracea*), istnieje więc prawdopodobieństwo przekrzyżowania się z nimi rzepaku GM. Rzekap produkuje bardzo dużo małych nasion, które pozostałe na polu łatwo zimują i mogą kiełkować jeszcze wiele lat po zbiorze. Pyłki rzepaku, znacznie drobniejsze i jeszcze bardziej lotne, pozostają w powietrzu 3 – 6 godzin, w tym czasie mogą pokonać bardzo duże odległości. Analizy DNA potwierdziły obecność GM rzepaku w odległościach 465 i 475 m od brzegu uprawy. Także pobrane próby pyłku zebranego przez pszczoły w odległości 4,5 km od upraw potwierdziły obecność pyłku GM rzepaku.

Aby zapobiec rozprzestrzenianiu eksperymentalnych gatunków w naturalnym środowisku stosuje się bariery fizyczne – nasajskuteczniejsze są szklarnie, a w warunkach polowych gęste obsadzenie pola uprawnego wysokimi drzewami. Pola uprawne z eksperymentalnymi GMO oddalone są od upraw standardowych i obsadzone z kilkutygodniowym wyprzedzeniem lub opóźnieniem w stosunku do niemodyfikowanych.

Do głównych celów genetycznej modyfikacji roślin uprawnych należy:

1. Uodpornienie roślin na herbicydy, czyli środki chwastobójcze. Jest to najpowszechniejsza modyfikacja. Stosuje

się tutaj różne techniki, m.in. zwielokrotnienie genu kodującego enzym rozkładany przez herbicydy. Można też wprowadzać gen bakterii produkujący zmienione białko enzymatyczne, odporne na działanie herbicydu. Najbardziej radykalnym sposobem uzyskania uodpornienia na herbicydy jest wprowadzenie genu bakterii produkującego toksyczne białko, które niszczy herbicyd. Dzięki temu można stosować herbicydy – środki chwastobójcze bez obawy o zniszczenie uprawianych roślin. Uzyskano już wiele roślin odpornych na herbicydy, m.in. soję, rzepak, kukurydzę, pomidor, burak cukrowy i pastewny, tytoń.

- Zwiększenie cech użytkowych roślin, np. zawartości glutenu w zbożach, oleju w rzepaku, cukru w burakach; zwiększenie plenności i wydajności, poprawienie wyglądu, smaku, trwałości owoców.
- Uodpornienie roślin na działanie niekorzystnych warunków środowiska, np. na mróz, suszę, zasoloną glebę. Dzięki modyfikacjom są one bardziej odporne na niekorzystne warunki glebowe i klimatyczne czy też zanieczyszczenia metalami ciężkimi. Rośliny mające zdolność akumulacji metali ciężkich mogą oczyszczać glebę z tych zanieczyszczeń.
- Uodpornienie roślin na choroby wirusowe, bakteryjne, grzybicze przez wprowadzenie łagodnego osłabionego wirusa, np. tytoń odporny na wirus mozaiki tytoniowej, ogórek odporny na wirus mozaiki ogórka, kalafior odporny na wirus mozaiki kalafiora.
- Uodpornienie roślin na owady żerujące na roślinie uprawnej, najczęściej na liściach, zarówno w stadium dorosłym, jak i larwalnym. Jednym z naturalnych biopestycydów, który jest stosowany od lat trzydziestych XX wieku, także przez rolników ekologicznych, jest bakteria *Bacillus thuringiensis* (*Bt*) występująca w glebie, która produkuje szkodliwe dla określonych owadów toksyny (białka Cry), wykorzystywane do opryskiwania roślin, co pozwala zrezygnować z chemicznego zwalczania niektórych szkodników. Rośliny uprawne z wprowadzoną do genotypu bakterią Bt to m.in. kukurydza, ziemniak, pomidor, słonecznik oraz kapusta [6, 12, 29].

GENETYCZNE MODYFIKACJE ZWIERZĄT

Postęp, jaki się dokonał w biotechnologii molekularnej i technikach rekombinacji DNA na przestrzeni ostatnich kilkudziesięciu lat, umożliwił rozwinięcie prac, które doprowadziły do otrzymania transgenicznych zwierząt.

Modyfikacje zwierząt nie są tak popularne jak roślin, głównie ze względu na trudności w samym procesie modyfikacji, ponieważ proces jest bardziej skomplikowany, długotrwały, często zawodny, a jego koszty są znacznie większe. Występują często trudności w uzyskaniu materiału do transgenezy. Jedną z podstawowych przeszkód jest niewielka liczba zarodków dostępnych do mikroiniekcji DNA, szczególnie w przypadku zwierząt, które rodzą zazwyczaj tylko jednego potomka (np. bydło) [3, 7].

Zwierzęta, które udało się zmodyfikować genetycznie to: króliki, świny, owce, kozy, bydło, ptaki, ryby, owady.

Tworzenie transgenicznych gatunków zwierząt ma na celu nie tylko przyspieszenie klasycznych programów hodowlanych, ale przede wszystkim stanowi podstawę dla produkcji biofarmaceutyków ratujących ludzkie życie.

Od udomowienia pierwszych gatunków zwierząt rozpoczęła się świadoma i kierunkowa działalność człowieka mająca na celu uzyskanie pożądanych cech. Dzięki temu dysponujemy



obecnie różnymi rasami zwierząt, a produkowana żywność pochodzenia zwierzęcego jest odpowiedniej jakości i ilości.

Przyszłość medycyny w znacznym stopniu zależy od postępu zwierzęcej transgenetyki. Na drodze transgenetyki można zmienić cechy produkcyjne zwierząt, spowodować, że będą wytwarzały białka potrzebne człowiekowi, a dotychczas niedostępne.

Pierwszymi transgenicznymi zwierzętami były myszy z genem hormonu wzrostu szczura; wyhodowane w 1980 roku, które służą w medycynie jako modele chorób człowieka (takich jak: otyłość, karłowatość, przyspieszone starzenie, choroby układu krążenia, cukrzyca i inne) oraz jako obiekty do testowania nowych, obiecujących metod leczenia. Myszy z wprowadzonymi dodatkowymi genami i myszy pozbawione konkretnego genu (z tzw. nokautem genu) wniosły i wnoszą wiele danych o podstawowym znaczeniu dla zrozumienia mechanizmów powstawania nowotworów, podziałów komórek i rozwoju organizmów.

Transgeniczne zwierzęta dostarczają bardzo ważnych informacji dotyczących ekspresji genów. Podstawowym sposobem sprawdzenia wielu hipotez jest wprowadzenie do komórek wybranego genu, często w zmodyfikowanej postaci, i badanie jego ekspresji.

Prace nad zwierzętami prowadzone są w dwóch celach: naukowym i praktycznym. Badania naukowe dotyczą kwestii genetycznej kontroli funkcjonowania systemów fizjologicznych u zwierząt i człowieka oraz opracowania modeli genetycznych uwarunkowań niektórych chorób. Cele praktyczne natomiast obejmują zmiany jakościowe produktów zwierzęcych, np. mleczności krów i jakości mleka, a co za tym idzie poprawę właściwości produktów nabiałowych; zwiększenie ilości tkanki mięsnej, a obniżenie ilości tkanki tłuszczowej; zmiany w odporności zwierząt na choroby i pasożyty (np. kury odporne na wirus ptasiej grypy, krowy odporne na choroby powodowane przez priony), polepszenie trawienia i metabolizmu; szybsze lub kontrolowane rozmnażanie, wykorzystanie zwierząt do celów biomedycznych (w szczególności uzyskiwanie białek o znaczeniu farmaceutycznym, wykorzystanie ksenogenicznych komórek i tkanek oraz ksenotransplantacja organów). Prowadzone są prace nad stworzeniem genetycznie zmodyfikowanych zwierząt w ten sposób, aby ich organy nadawały się na przeszczepy dla ludzi. Od dawna myśli się o przeszczepach narządów wewnętrznych od świni z racji dużego podobieństwa anatomicznego i fizjologicznego do organów ludzkich. Brak dawcy organu jest częstym problemem uniemożliwiającym pomoc i leczenie. Przeszczepione od świni narządy, takie jak serce, wątroba czy nerka, często mogłyby uratować życie chorym ludziom [28, 30, 31, 32, 33, 34, 35].

KONTROWERSJE WOKÓŁ GENETYCZNYCH MODYFIKACJI

Szybki rozwój biotechnologii spowodowany jest postępowaniem naukowym osiągniętym w zakresie rozpoznania struktury genetycznej organizmów oraz zainteresowaniem ze strony przemysłu tańszymi, szybszymi i ekologicznymi technologiami opartymi na wykorzystaniu organizmów żywych w procesie produkcji. Jednak od samego początku genetyczne modyfikacje organizmów budzą wielkie emocje i wywołują kontrowersje, napotykając na mniej lub bardziej zdecydowany sprzeciw opinii społecznej przed ich wdrożeniem do produkcji spożywczej [36, 37].

Obawy przed żywnością modyfikowaną genetycznie uzasadnione są brakiem rzetelnych informacji na temat długofalowego wpływu GMO na środowisko naturalne, a zwłaszcza na zdrowie człowieka. W Polsce w latach 2001-2003 odnotowano znaczny spadek zaufania społeczeństwa do nowoczesnej biotechnologii. W 2003 roku OBOP przeprowadził badanie opinii publicznej zlecone przez Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin w Radzikowie. Wyniki badań wykazały, że ponad 55% społeczeństwa polskiego uznaje wykorzystanie biotechnologii w produkcji żywności za szkodliwe [26, 38]. W marcu 2008 roku został przeprowadzony przez PBS DGA sondaż, z którego wynika, że około 58% Polaków chce zakazu upraw roślin GMO w naszym kraju [39]. W okresie styczeń – marzec 2008 roku zostało przeprowadzone badanie konsumenckie w województwie mazowieckim w celu zbadania poziomu wiedzy i oczekiwań konsumentów wobec żywności genetycznie zmodyfikowanej. Wynika z niego, że głównym źródłem wiedzy respondentów o żywności GMO jest prasa codzienna, telewizja oraz Internet. Większość respondentów, bo aż 78%, stwierdziła, iż nie czują się wystarczająco poinformowani o tego typu żywności [17].

Z badań przeprowadzonych w krajach UE wynika, że żywność zmodyfikowana genetycznie wzbudza wiele kontrowersji i wielu Europejczyków pozostaje nieufnych wobec produktów spożywczych nowej generacji. Około 53% Europejczyków jest przeciwnikami tej żywności. Stwierdzają oni, że jest ona „mało pożyteczna”, a spożywanie jej wiąże się z ogromnym ryzykiem. Są oni, więc gotowi zapłacić wyższą cenę za zakup produktu niemodyfikowanego. W UE najmniej przeciwników żywności GMO jest w 4 państwach: Portugalii, Irlandii, Hiszpanii, Finlandii. Najwięcej przeciwników jest we Francji i Danii (około 65%) w Austrii, Norwegii i na Węgrzech (około 70%) oraz w Grecji (81%) [33].

Głównym czynnikiem warunkującym niski stopień akceptacji GMO jest brak wiedzy społeczeństwa o nowoczesnych dyscyplinach naukowych takich jak biotechnologia, inżynieria genetyczna i brak zaufania do informacji podawanych w środkach masowej komunikacji [17, 40].

Przeciwnicy żywności poddanej zabiegom biotechnologicznym szczególnie obawiają się zagrożenia związanego z powstawaniem u ludzi chorób alergicznych. Nowe alergeny mogą pojawić się w żywności zarówno pochodzenia roślinnego jak i zwierzęcego [41, 42, 43, 44].

Zwolennicy genetycznych modyfikacji organizmów widzą w nich ratunek dla głodującej ludności w niektórych krajach za sprawą wzrostu wydajności plonów, zwiększenia przyrostów masy ciała zwierząt hodowlanych i ich odporności na choroby, a także możliwości rolniczego wykorzystania ziem dotychczas nieuprawianych. Ponadto, wg zwolenników, następuje zmniejszenie skażenia środowiska naturalnego poprzez eliminację wielu zabiegów ochrony wobec roślin z wkomponowanymi genami odporności na szkodniki i/lub na herbicydy, poprawia się opłacalność produkcji rolnej ze względu na zmniejszenie ilości stosowanych środków ochrony i nawożenia oraz zmniejszenie nakładu pracy przy uprawie i pielęgnacji roślin [45].

Niezależnie od oczekiwań dobrodziejstw dla ludzkości czy też lęków i obaw przed GMO, firmy biotechnologiczne pracują nad nowymi odmianami roślin i zwierząt poprzez sztuczne wprowadzanie do ich genomów nowych genów.

Kontrowersje wokół GMO dotyczą takich spraw jak: wpływu spożywania żywności produkowanej na bazie organizmów roślinnych lub zwierzęcych zmodyfikowanych



genetycznie na zdrowie ludzi, wpływu GMO na środowisko naturalne, w tym szczególnie na likwidację bioróżnorodności świata roślinnego i zwierzęcego poprzez wypieranie gatunków tradycyjnych, ważnych dla producentów i konsumentów żywności ekonomicznych konsekwencji prowadzenia upraw roślin genetycznie zmodyfikowanych lub hodowli zwierząt genetycznie zmodyfikowanych, prawnych aspektów „własności intelektualnej” firm biotechnologicznych wytwarzających w swych laboratoriach organizmy modyfikowane genetycznie, które wprowadzone do środowiska zaczynają żyć własnym życiem bez możliwości ich kontroli; etycznych aspektów ingerencji człowieka w ukształtowany przez miliony lat ewolucji świat przyrody, bez możliwości nawet przybliżonego przewidywania skutków tego gigantycznego eksperymentu [45, 46].

Brak badań na temat skutków wprowadzania GMO dla środowiska przyrodniczego oraz skutków zdrowotnych stosowania żywności modyfikowanej genetycznie sprawia, że jest to aktualnie problem raczej natury psychospołecznej, a nie medycznej ani tym bardziej ekonomicznej, etycznej czy prawnej.

GENETYCZNE MODYFIKACJE W ASPEKTCIE ZDROWIA

Od czasu kiedy produkcja żywności modyfikowanej genetycznie stała się faktem, coraz więcej uwagi przywiązuje się do oceny bezpieczeństwa żywności i potencjalnych zagrożeń związanych z rozpowszechnianiem się GMO. Szczególnie dużo uwagi przywiązuje się do oceny bezpośredniego wpływu żywności modyfikowanej genetycznie na zdrowie człowieka.

Korzyści dla zdrowia lub życia ludzkiego wynikające z wprowadzania GMO można przewidywać w następujących sferach:

1. Produkcji leków – agrofarmaceutyków (np. sałata z genem zapobiegającym wirusowemu zapaleniu wątroby typu B produkująca białko wirusowe wywołujące produkcję przeciwciał chorobowych).
2. Produkcji organów do przeszczepów pochodzących od zwierząt zmodyfikowanych genetycznie.
3. Zmniejszeniu zawartości toksyn w produktach spożywczych jako efektu zmniejszenia ilości stosowanych herbicydów i insektycydów.
4. Poprawie wartości odżywczej, zdrowotnej i cech organoleptycznych żywności (soja w dawce ok. 85g/dobę obniża zły cholesterol (LDL) o 20%, a nie obniża cholesterolu pożądanego (HDL) [12, 13, 44, 45, 47, 48, 49].

Produkty genetycznie zmodyfikowane mogą jednak równocześnie stanowić zagrożenie żywieniowe związane ze zmniejszeniem ich wartości odżywczej, strawności oraz biodostępności składników. O potencjalnych zagrożeniach dla zdrowia ze strony GMO mogą świadczyć następujące fakty epidemiologiczne:

1. Wzrost zachorowań na alergie spowodowane obecnością w żywności modyfikowanej obcych protein. Nowe alergeny mogą pojawić się w żywności zarówno pochodzenia roślinnego, jak i zwierzęcego. Po wprowadzeniu do roślin nowych genów modyfikowane organizmy mogą wytwarzać kombinacje białek wcześniej nieznanymi i wywołujących nieprzewidziane efekty. Reakcje alergiczne organizmu mogą pojawiać się z różnym nasileniem, począwszy od alergii skórnych, poprzez reakcje ze strony układu odde-

chowego, sercowo- naczyniowego czy wstrząsu anafilaktycznego. Przykładem roślin wywołujących alergię może być transgeniczna soja, której wszczepiono geny brazylijskich orzechów ziemnych w celu zwiększenia zawartości metioniny w nasionach [44].

2. Wzrost odporności na antybiotyki; przy wstrzeleniu obcych genów do komórek tylko niewielka część z nich trafia do łańcucha DNA. Aby sprawdzić, która z komórek zawiera w swoim DNA obcy gen, dołącza się do niego gen znacznikowy odporny na antybiotyki (Antibiotic Resistant Marker Gene). Jeżeli gen ARM po spożyciu GM rośliny przeniesie się do bakterii przewodu pokarmowego, to mogą powstać nowe niebezpieczne bakterie odporne na antybiotyki.
3. Wzrost zachorowań na nowotwory, np. ziemniaki odporne ma Rundup gromadzą jeden ze składników Rundupu, który podczas gotowania, prażenia na frytki, chipsy przekształca się w rakotwórczy, neurotoksyczny akryloamid.
4. Wzrost chorób układu trawiennego z uwagi na długi czas przetrzymywania żywności stwarzającej pozory świeżej.
5. Wzrost zaburzeń hormonalnych i płodności – soja GM osłabia zdolność prokreacyjną u mężczyzn, spożycie jednorazowo 100 g białka sojowego działa jak męska pigułka antykoncepcyjna [3].

GENETYCZNE MODYFIKACJE W ASPEKTCIE ŚRODOWISKA

Korzystny wpływ GMO na środowisko naturalne może wynikać ze:

1. zmniejszonej ilości używanych herbicydów (środków chwastobójczych) na skutek wytworzenia roślin transgenicznych posiadających gen uodporniający na glifosat – najpowszechniej używany obecnie środek chwastobójczy;
2. zmniejszonej ilości używanych środków owadobójczych, grzybobójczych, bakteriobójczych na skutek wytworzenia organizmów samodzielnie produkujących te toksyczne substancje.

Natomiast zagrożenia dla środowiska naturalnego mogą wynikać z:

1. możliwości krzyżowania roślin transgenicznych z pokrewnymi gatunkami oraz przenoszenia genu odporności na herbicydy do dziko rosnących chwastów i powstania „superchwastów” (istnieje kilkanaście gatunków „superchwastów” w tym np. przymiotno kanadyjskie);
2. likwidacji bioróżnorodności przez zapylenie się roślin tradycyjnych pyłkiem z GMO (spośród 30 tysięcy odmian ryżu istniejących w Azji pozostało kilka tysięcy; 1 roślina kukurydzy wytwarza kilkanaście mln pyłków zdolnych zapylić 1 ha upraw; obecność pyłków kukurydzy stwierdzono na wysokości ok. 2 km nad plantacją);
3. zniszczenia całych populacji pożytecznych owadów poprzez wszczepienie bakteriowych genów produkujących w roślinach toksyny zabijające owady lub czyniące je bezpłodnymi (w Kanadzie wyginęło 50-90% rodzin pszczołich);
4. zwiększenia przez rolników dawek herbicydów – rolnicy widząc, że herbicyd nie szkodzi roślinie uprawnej dla lepszej skuteczności niszczenia chwastów i superchwastów zwiększają dawki – zużycie herbicydów i środków owadobójczych w krajach uprawiających GMO systematycznie rośnie [6, 8, 9].



ASPEKTY EKONOMICZNE DOTYCZĄCE GENETYCZNYCH MODYFIKACJI

Z wykonanego na zlecenie Komisji Europejskiej raportu Instytutu Perspektywicznych Studiów Technologicznych wynika, że różnica w plonach uzyskiwanych z organizmów GM i tradycyjnych w wielu przypadkach jest nieznaczna (nieznacznie wyższa w przypadku organizmów GM), a często po latach upraw monokulturowych i wyjałowienia gleby wydajność upraw organizmów modyfikowanych spada od 5% do 70% w porównaniu z uprawami roślin konwencjonalnych. Ponadto bardzo drogie nasiona GMO stanowiące „własność intelektualną” firm biotechnologicznych częstokroć niwelują korzyści wynikające ze zwiększonej wydajności

Przewidywane korzyści dla producentów rolnych to m.in.:

1. zwiększenie wydajności produkcji, np. wysokości plonu z 1 ha, wielkości przyrostów trzody, bydła, ptactwa;
2. wzrost opłacalności produkcji rolnej;
3. wzrost efektywności przechowywania żywności, minimalizacja strat w przechowalniach;
4. możliwość transportu świeżych owoców na znaczne odległości;
5. możliwość wykorzystania do produkcji rolnej ziem marginalnych przez wprowadzenie do uprawy roślin genetycznie modyfikowanych, np. odpornych na suszę, zasolenie gleb, w klimacie niskich temperatur. [9, 29].

ASPEKTY PRAWNE DOTYCZĄCE GENETYCZNYCH MODYFIKACJI

Prace związane z produkcją GMO koordynowane są przez Komitet Badań Naukowych, Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju Wsi, a także przez Komitet Biotechnologii przy Prezydium PAN. W Polsce obowiązuje kilka aktów prawnych regulujących komercjalizację i znakowanie żywności transgenicznej. Są to m.in.:

1. Ustawa z dnia 21 maja 2003 r. o zmianie ustawy o organizmach genetycznie zmodyfikowanych oraz ustawy o warunkach zdrowotnych żywności i żywienia (Dz. U. z dnia 21.05.2003 r. Nr 130, poz. 1187).
2. Ustawa z dnia 24 lipca 2002 r. o zmianie ustawy o warunkach zdrowotnych żywności i żywienia oraz innych ustaw (Dz. U. z dnia 24.07.2004 r. Nr 135, poz. 1145).
3. Ustawa z dnia 22 czerwca 2001 r. o organizmach genetycznie zmodyfikowanych (Dz. U. z dnia 25.07.2001 r. Nr 76, poz. 811).
4. Ustawa z dnia 11 maja 2001 r. o warunkach zdrowotnych żywności i żywienia (Dz. U. z dnia 22.06.2001 r. Nr 63, poz. 634).
5. Ustawa z dnia 23 sierpnia 2001 r. o środkach żywienia zwierząt (Dz. U. z dnia 25.10.2001 r. Nr 123, poz. 1350).
6. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 8.07.2002 r. w sprawie określenia szczegółowego sposobu przeprowadzania oceny zagrożeń dla zdrowia ludzi i środowiska w związku z podjęciem działań polegających na zamkniętym użyciu GMO, zamierzonym uwolnieniu GMO do środowiska, w tym wprowadzaniu do obrotu produktów GMO oraz wymagań, jakie powinna spełniać dokumentacja zawierająca ustalenia takiej oceny (Dz. U. z dnia 8. 07.2002 r. Nr 107, poz. 944).
7. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 6.06.2002 r. w sprawie określenia wzorów wniosków dotyczących zgód

i zezwoleń na działania w zakresie organizmów genetycznie zmodyfikowanych (Dz. U. z dnia 6.06.2002 r. Nr 87, poz. 797).

8. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 16.05.2002 r. w sprawie określenia zakresu przedmiotowego badań dla podmiotów ubiegających się o przeprowadzenie badań i wydawanie opinii w dziedzinie organizmów genetycznie zmodyfikowanych (Dz. U. z dnia 16.05.2002r. Nr 73 poz. 674).
9. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 21.02.2002r. w sprawie szczegółowego sposobu funkcjonowania komisji do spraw organizmów genetycznie zmodyfikowanych (Dz. U. z dnia 21.02.2002 r. Nr 19, poz. 196).

Zasadnicze pytania, jakie pojawiają się w kontekście modyfikowania w laboratoriach organizmów żywych, to: Jakie są granice prawa patentowego?; Czy można mieć patent na organizmy żywe? W Kanadzie, USA, Francji toczą się procesy o kradzież „własności intelektualnej” wniesione przez firmy biotechnologiczne przeciw rolnikom obsiewającym pola nasionami GMO z własnych zbiorów [5, 8, 9].

PODSUMOWANIE

Organizmy genetycznie zmodyfikowane odgrywają istotną rolę w różnych dziedzinach naszego życia. Mikroorganizmy transgeniczne są powszechnie wykorzystywane do produkcji leków i dodatków spożywczych, wśród roślin najczęściej uprawia się odmiany odporne na herbicydy, choroby i szkodniki, natomiast zwierzęta wykorzystywane są m.in. jako modele genetycznych uwarunkowań niektórych chorób. Wykorzystanie GMO stwarza z jednej strony możliwość przezwyciężenia wielu problemów związanych z produkcją żywności, poprawą jej jakości oraz zapobieganiem chorobom, z drugiej strony wprowadzenie GMO wiąże się z zagrożeniami dotyczącymi bezpieczeństwa żywności i wpływu na środowisko. Zwraca się uwagę także na zagrożenia ekonomiczne. W celu zapobieżenia ujemnym skutkom komercjalizacji GMO w większości państw rozwiniętych, w tym w Unii Europejskiej, wprowadzono regulacje określające zasady oceny żywności transgenicznej przed wprowadzeniem na rynek oraz zasady uwalniania GMO do środowiska.

PIŚMIENNICTWO

1. Bednarski W, Reps A. Biotechnologia żywności. Warszawa: WNT; 2003.
2. Convention of Biological Diversity (with annexes). Concluded at Rio De Janeiro on 5 June 1992. United Nations Treaty.
3. Hałat Z. Alergeny organizmów genetycznie modyfikowanych. *Alergia* 2004; 2-6.
4. Ustawa z dnia 22.06. o organizmach genetycznie zmodyfikowanych, Dz. U. 2001 z 25.07.2001, nr 76, poz. 811z. p. zm.
5. Ustawa z dnia 21.05.2003 roku o zmianie ustawy o organizmach genetycznie zmodyfikowanych oraz ustawy o warunkach zdrowotnych żywności i żywienia, Dz. U. 2003 z 24.07. 2003, nr 130, poz. 1187.
6. Colborn T, Dumanowski D, Myers JP. Nasza skradziona przyszłość. Aluber Warszawa 1996.
7. Kowalczyk K, Gruszecka D. Możliwości wykorzystania GMO – nadzieje i obawy. Wydawnictwo Ekolubelszczyzna XXI w. red. E. Bojar, K. Pylak, Lublin – Toruń 2009: 45-66.
8. Smith J.M. Nasiona kłamstwa, czyli o łągarstwie przemysłu i rządów na temat żywności modyfikowanej genetycznie. Oficyna Wydawnicza „Pro scientiae”, Poznań 2007.
9. Wiąckowski S. Genetycznie Modyfikowane Organizmy – obietnice i fakty. Wydawnictwo Ekonomia i Środowisko, 2008.
10. Grajek W. Modyfikacje genetyczne surowców. *Post Nauk Rol.* 2006; 5: 9-14.



11. Heritage J. The fate of transgens in human gut. *Nature Biotechnology* 2004; 22: 170-172.
12. Lisowska K. Blaski i cienie modyfikacji genetycznych w rolnictwie <http://www.wiadomosci24.pl>, 2007-11-18.
13. Monsanto, <http://www.organicconsumers>
14. Twardowski T. Różne kolory biotechnologii i biogospodarka. *Kosmos Prob Nauk Biol.* 2007; 56(3-4): 221-226.
15. Zimny J. Żywność modyfikowana genetycznie i bezpieczeństwo jej stosowania. *Post Nauk Rol.* 2007; 1: 31.
16. Klapczyński H. GMO, <http://www.racjonalista.pl>, (2009).
17. Kosicka – Gębska M. Gębski J. Żywność zmodyfikowana genetycznie – bariery i możliwości rozwoju w opinii respondentów. *Roczniki Naukowe SGGW* 2009; 10(1): 182-185.
18. Ustawa z dnia 11.05.2001 roku o warunkach zdrowotnych żywności i żywienia, Dz. U. Nr 63 poz. 634 z. p. zm.
19. Pietrzyk S, Bloniarczyk K. Żywność genetycznie modyfikowana, *Laboratorium* 2007; 9: 34-38.
20. Tanya A KN. Health Benefits and Risks of Genetically Modified Foods. *J Cameroon Academ Scien.* 2006; 6(1): 65.
21. Klein M. Transformowanie roślin. Zastosowanie metod biotechnologicznych w hodowli roślin. Red. B Michalik Drukrol s. c. Kraków 1996; 9: 139-155.
22. Malepszy S. *Biotechnologia roślin.* Warszawa: PWN; 2001.
23. *Organizmy zmodyfikowane genetycznie, Materiały szkoleniowe, Polskie Zrzeszenie Inżynierów i Techników Sanitarnych.* Oddział Wielkopolski, Poznań 2007: 46-49.
24. Sowa S, Linkiewicz A. *Rośliny genetycznie zmodyfikowane.* Wydawnictwo Organizmy genetycznie zmodyfikowane PZliTS Oddział Wielkopolski Poznań 2007.
25. Winter PC, Mickey GJ, Fletcher HL. *Krótkie wykłady Genetyka* Wydawnictwo PWN Warszawa 2001.
26. Filiminow J, Berger S. Genetyka pod społeczną kontrolą. *Bezp Hig Żyw.* 2004; 3(5): 36-38.
27. Malepszy S. *Rośliny transgeniczne – nauka i praktyka rolnicza.* W: Kamienieckiego K, Kossobudzkiego P, Nurzyńskiej I, red. *Genetycznie modyfikowane organizmy. Kto ma rację?* Fundacja na rzecz Ekorozwoju Polskiego Rolnictwa (FDPA), Warszawa 2003.
28. Łysak A. Zwierzęta transgeniczne (genetycznie zmodyfikowane) – instrument wszechstronnych zastosowań. *Wiad Zootechniczne* 2003; 2: 41–44.
29. Korzyści ekonomiczne upraw z GMO, Wspólnotowy Serwis Informacyjny Badań i Rozwoju, CORDIS, <http://cordis.europa.eu.int>.
30. Linkiewicz A, Wiśniewska J, Sowa S. Molekularne metody wykrywania i identyfikacji organizmów genetycznie zmodyfikowanych (GMO). *Biotechnologia* 2006; 3(74): 44-52.
31. Lipiński D, Szalata M, Kolak R. i in. Ekspresyjne konstrukcje genowe prawidłowych i zmutowanych genów. *Biotechnologia* 2006; 1(60): 48-73.
32. Richt JA, Kasinathan P, Hamir AN, Castilla J, Sathiyaseelan T, Vargas F, i wsp. Production of cattle lacking prion protein. *Nat Biotechnol.* 2007; 25(1): 132-8.
33. Hoy MA. Transgenic insects for pest management programs: status and prospects. *Enviro. Biosafety Res.* 2003; 1: 1-5.
34. Pietrzyk S, Bloniarczyk K. Żywność genetycznie modyfikowana, *Laboratorium* 2007; 9, 34-38.
35. Zwierzchowski L. Transgeniczne zwierzęta i rośliny jako bioreaktory przyszłości. *Kosmos* 2000; 1-2(49): 123-133.
36. Bieniek J. Organizmy zmodyfikowane genetycznie (GMO), Zasoby przyrodnicze szansą zrównoważonego rozwoju. *Materiały szkoleniowe Ministerstwo Środowiska, Kraków* 2007; 79.
37. Frewer L J, Howard Ch, Aaron J J. *Consumer Acceptance of Transgenic Crops*, *Pertic. Sci*, 1998; 52: 388.
38. Sokalski M. Zasady koegzystencji produkcji konwencjonalnej, ekologicznej oraz genetycznie zmodyfikowanej. *Rolnictwo ekologiczne a GMO* <http://gmo-eko.net/referaty/sokalski.doc> (dostęp: 07.2009).
39. PBS DGA. www.pbsdga.pl (dostęp: 17.02.2009).
40. Twardowski T. *Biotechnologia i inżynieria genetyczna – zagadnienia wstępne* Wydawnictwo Biotechnologia żywności Red. W. Bednarski, A. Reps, WNT, Warszawa 2005: 13-17.
41. Bartoszewski G. Genetycznie modyfikowane organizmy – szanse i zagrożenia. *Katedra Genetyki, Hodowli i Biotechnologii Roślin SGGW*, 181-182.
42. Jaworska A, Kapuścińska J. Opinie konsumentów, handlowców oraz odbiór społeczny w Polsce, krajach UE oraz na świecie na temat żywności modyfikowanej genetycznie. *Wiedza Techniczna*, 2010; 1: 63.
43. Hałat Z. Alergeny organizmów genetycznie zmodyfikowanych, *Alergia* 2004: 2-6.
44. Stankiewicz D. *Organizmy zmodyfikowane genetycznie.* Kancelaria Sejmu, Biuro Studiów i Ekspertyz. Wydział Analiz Ekonomicznych i Społecznych. Warszawa 2000; 750.
45. Bujak F. Potencjalne i realne zagrożenia genetycznie modyfikowanych organizmów dla rolnictwa i rolników. W: Florek M, Wdowiak L, red. *Źródła zagrożeń i profilaktyka zdrowotna w rolnictwie.* Lublin 2009: 175-182.
46. Cook A J, Kerr G N, Moore K. Attitudes and intentions towards purchasing GM food. *J Economic Psychol.* 2002; 23(5): 557-572.
47. Michalik P. Modzelewska K. Wpływ GMO na środowisko i zdrowie człowieka w świadomości mieszkańców wsi i małych miast w powiecie plockim (Mazowieckie) i grajewskim (Podlaskie), *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych* 2011; 49: 452-453.
48. Malarkey T. Human health concerns with GM, *Crops Mutation Research* 2008; 544: 217, 221.
49. Pusztai A Bardocz S Ewen SWB. Genetically modified foods. Potential human health effect W. *Food safety: Contaminants and toxins ed. P. Mello J.P.F., Scottish Agricultural College, Edinburgh* 2003.

Genetic modification of organisms – a biotechnological experiment on living organisms

Abstract

Genetic modification of living organisms seem to be the biggest experiment in the history of science, the effects of which are difficult to predict and will be known only after many years. The dynamic development of biotechnology in recent years is the result of genetic discoveries and the development of nanotechnology, which contributed to the so-called 'modern biotechnology'. It uses genetic engineering methods which allow the obtaining of genetically modified organisms (GMOs), plants and animals. Currently, the most important problem is food containing genetically modified components or which is a genetically modified organism, or food ingredients produced by GMOs, but not containing GMOs (e.g. livestock fed on GM feed). The controversy over GMOs include: the impact of consuming food produced on the basis of genetically modified plant or animal organisms on human health, the impact of GMOs on the environment, the economic consequences of genetically modified crops, or breeding genetically modified animals for food producers and consumers, the legal aspects of 'intellectual property' of biotechnological companies that produce genetically modified organisms in their laboratories, the ethical aspects of human interference into the world of nature formed over millions of years of evolution, without the possibility of predicting of even approximating the effects of this gigantic experiment.

The article presents the general problem of the genetic modification of organisms and genetically modified food, the effect of genetic modification on health, biodiversity, and the legal and ethical controversies concerning genetic modification.

Key words

genetic modification, health, environment, biotechnology

