

7 Organizmy genetycznie • modyfikowane

104. Czy można jednoznacznie opisać organizm?

Tak. Pozornie najprostszy sposób to podanie pełnej sekwencji nukleotydowej genomu danego mikroorganizmu. Jednakże nie zawsze jest to możliwe, jak również opłacalne. Problem „jednoznaczności” opisu układów biologicznych rozwiązano koncepcyjnie w sposób bardzo prosty. Wszystkie mikroorganizmy objęte zgłoszeniem patentowym muszą być złożone do depozytu w jednej z oficjalnych „depozytorni”, czyli kolekcji kultur mikroorganizmów uznanych przez biura patentowe na całym świecie. Międzynarodowe zasady działania kolekcji kultur reguluje Traktat Budapeszteński ratyfikowany 22 września 1993 r. Ustanowiono kolekcje kultur uprawnionych do przyjmowania mikroorganizmów w depozyt. Znajdują się one między innymi w Bułgarii, Francji, Holandii, Japonii, Niemczech, Rosji, Stanach Zjednoczonych, Wielkiej Brytanii oraz na Węgrzech. W Polsce depozytornia znajduje się w Instytucie Biotechnologii Przemysłu Rolno-Spożywczego im. prof. Wacława Dąbrowskiego w Warszawie. Kolekcja Kultur Drobnoustrojów Przemysłowych – Centrum Zasobów Mikrobiologicznych ma status Krajowego i Międzynarodowego Organu Depozytowego (współpraca z Urzędem Patentowym w zakresie patentowania szczepów) i jest zrzeszona w Światowej Federacji Kolekcji Kultur (*World Federation for Culture Collections*, WFCC). Zasady ochrony praw własności intelektualnej reguluje ustawa „Prawo własności przemysłowej”²⁸ z dnia 30 czerwca 2000 r.

²⁸ Ustawa „Prawo własności przemysłowej” z dnia 30 czerwca 2000 r. (Dz.U. 2001 Nr 49 poz. 508) ze zmianami podanymi w Dz.U. 2020 poz. 286, 288, 1086.

105. Jakie organizmy genetycznie zmodyfikowane zostały dopuszczone do obrotu w celach komercyjnych na rynku europejskim?

Od wejścia w życie przepisów dyrektywy nr 90/220 w październiku 1991 r. 18 genetycznie zmodyfikowanych organizmów zostało zaakceptowanych do komercjalizacji przez Unię Europejską na podstawie decyzji Komisji. Dokładna lista organizmów genetycznie modyfikowanych dopuszczonych do obrotu przez Komisję Europejską, zawierająca poszczególne typy modyfikacji, jest dostępna na stronie Komisji²⁹.

Poniżej przedstawiamy kilka wybranych organizmów genetycznie zmodyfikowanych.

Lista produktów GMO zaakceptowanych przez Komisję Europejską (Rozporządzenie (WE) 1829/2003, stan na 3 listopada 2020)

Nazwa produktu	Wnioskujący
Bawełna z tolerancją na glifosat	Monsanto
Bawełna wykazująca oporność na wybrane motyle (<i>Lepidoptera</i>)	Monsanto
Kukurydza wykazująca oporność na wybrane motyle (<i>Lepidoptera</i>)	Syngenta
Kukurydza wykazująca podwyższoną oporność na suszę	Monsanto
Kukurydza z tolerancją na herbicydy 2,4-D (dichlorophenoxyacetic acid) oraz AOPP (aryloxyphenoxypropionate)	Dow AgroSciences
Rzepak z tolerancją na glifosat	Monsanto
Soja wykazująca oporność na wybrane motyle (<i>Lepidoptera</i>)	Monsanto
Soja przekształcająca kwas linolowy do kwasu α -linolowego	Monsanto
Soja z tolerancją na herbicyd Dicamba	Monsanto
Burak cukrowy z tolerancją na glifosat	KWS SAAT i Monsanto

²⁹ https://ec.europa.eu/food/plant/gmo/eu_register_en

106. Dlaczego powinniśmy wykorzystywać rośliny genetycznie modyfikowane?

Rosnące zapotrzebowanie ludności na żywność wymaga zwiększenia światowej produkcji rolnej o 50% do 2030 r. Tymczasem zmiany klimatu i kurczące się zasoby środowiska ograniczają produkcję rolną na całym świecie. Wyzwania te powodują pilną potrzebę zwiększenia wydajności upraw. Aby hodować rośliny o zwiększonym plonie i oporności na stres środowiskowy, należy przede wszystkim zastanowić się, jak skutecznie wykorzystać różnorodność genetyczną. Tradycyjna hodowla roślin wykorzystuje krzyżowanie, mutagenezę i hybrydyzację somatyczną do modyfikacji genomu w celu poprawy cech roślin uprawnych. Wprowadza nowe korzystne allele z gatunków spokrewnionych (krzyżowalnych). Produktem końcowym tego procesu jest roślina, która ma gen docelowy z rośliny dawcy wraz z niepożądanymi genami. Tradycyjna hodowla roślin jest czasochłonna i wymaga kilku pokoleń hodowli i selekcji.

Postęp w metodach i praktykach hodowli roślin doprowadził do opracowania nowych i bardziej skutecznych metod przenoszenia genów i poprawy plonów. Jedną z nich jest transgeneza, obejmująca stabilną integrację materiału genetycznego (własnego, obcego lub sztucznego) z genomem biorcy, który został wprowadzony metodami innymi niż klasyczna hodowla. Obejmuje to sekwencje genowe dowolnego pochodzenia w orientacji antysensowej, każdą sztuczną kombinację sekwencji kodującej i sekwencji regulatorowej, taką jak promotor z innego genu lub gen syntetyczny. Przeniesienie zwykle odbywa się między gatunkami, rodzajami lub królestwem, które nie krzyżują się naturalnie. Zatem w transgenzie naturalne bariery nie są przestrzegane. Organizm wytworzony w ten sposób jest uważany za organizm genetycznie zmodyfikowany (GMO). Rośliny transgeniczne cechują się lepszą tolerancją na naturalne stresy środowiskowe, są wykorzystywane do produkcji biopaliw, szczepionek i przeciwciał. Wiele gatunków roślin, w tym główne rośliny uprawne, takie jak ryż, soja, kukurydza, bawełna, rzepak, ziemniak, maniok, kabaczek, papaja, orzeszki ziemne, nasiona oleiste, oraz liczne warzywa i owoce mają obce geny wstawione do swoich genomów. Uprawy roślin transgenicznych budzą poważne obawy dotyczące bezpieczeństwa i wpływu na zdrowie i środowisko. Jest tak, ponieważ egzogenne geny z innych gatunków są przenoszone do genomów roślin, a miejsca wstawienia do niedawna były losowe, co może wywoływać nieprzewidywalne skutki uboczne.

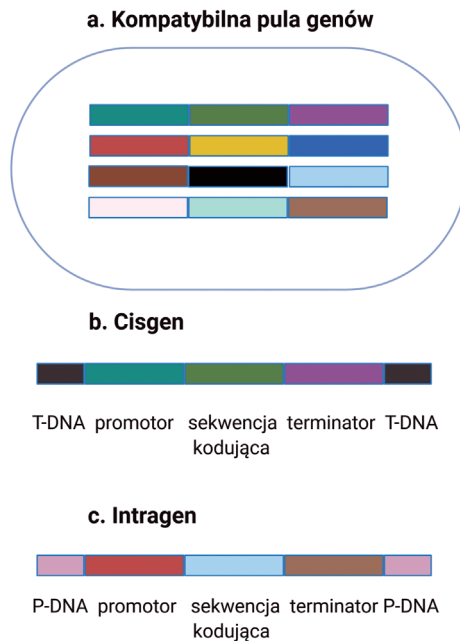
Komercyjne wprowadzanie coraz większej liczby roślin transgeniczných stało się poważnym problemem na całym świecie, ponieważ może powodować potencjalne zagrożenie dla środowiska i ryzyko dla zdrowia ludzi. Doprowadziło to do opracowania dwóch nowych koncepcji cisgenezy i intragenezy jako alternatywy dla transgenezy. Obie te koncepcje, choć różne na poziomie molekularnym, wykorzystują geny obecne w puli genów tego samego gatunku lub gatunków blisko spokrewnionych.

Cisgenezę opisano jako genetyczną modyfikację roślin, do których zostaje wprowadzony jeden lub więcej genów pochodzących z tego samego gatunku lub gatunków blisko spokrewnionych (ryc. 13). Taki gen (cisgen) jest identyczną kopią endogennego genu organizmu, w którym promotor, introny i terminator są obecne w normalnej orientacji. Zatem cisgeneza ogranicza wszelkie zmiany w oryginalnym genie. Rośliny powstałe w wyniku cisgenezy mogą zawierać jeden lub więcej genów, ale nie zawierają żadnych transgenów. Cisgeneza jest szczególnie cennym narzędziem w sytuacjach, w których do rośliny biorcy należy wprowadzić więcej niż jeden gen od różnych krewnych w celu uzyskania na przykład trwałej oporności na wiele genów. Zaletą cisgenezy w porównaniu do tradycyjnej hodowli jest większa wiedza na temat przeniesionych sekwencji. Co więcej, wyższy poziom ekspresji cechy można osiągnąć przez wstawienie dodatkowej kopii cisgenu – nową sekwencję można wstawić do genomu odbiorcy nie raz, ale kilka razy. Cisgenezę zatem można porównać do powielania genów, co jest powszechnym zjawiskiem naturalnym, na przykład w przypadku genów oporności.

Chociaż zarówno transgeneza, jak i cisgeneza wykorzystują te same techniki modyfikacji genetycznej do wprowadzenia genu (genów) do rośliny, cisgeneza wprowadza jedynie geny będące przedmiotem zainteresowania z samej rośliny lub z gatunku krzyżowalnego, a geny te można również przenosić tradycyjnymi technikami hodowli. Dlatego cisgeneza nie różni się niczym od tradycyjnej hodowli lub tej, która występuje w naturze. Nie ma żadnego ryzyka środowiskowego, a uwalnianie roślin cisgeniczných do środowiska jest tak bezpieczne, jak w przypadku roślin tradycyjnie hodowanych.

Mniej restrykcyjna koncepcja niż cisgeneza nosi nazwę intragenezy, w której dozwolona jest rearanżacja elementów genetycznych (ryc. 13). Metoda polega na izolacji określonych elementów genetycznych z rośliny, rekombinacji tych elementów *in vitro* i umieszczeniu powstałych kaset ekspresyjnych w roślinie należącej do tej samej grupy zgodności

seksualnej. Wstawiony DNA może być nową kombinacją fragmentów DNA z tego samego gatunku lub z gatunku pokrewnego. Te nowe techniki są bardziej bezpiecznie niż transgeneza. Prowadzone obecnie badania mają na celu osiągnięcie mutagenety specyficznej dla miejsca, aby uniknąć potencjalnego ryzyka związanego z insercjami w losowych miejscach genomu. Akceptacja organizmów zmodyfikowanych genetycznie (GMO) wymaga świadomości konsumentów na temat kwestii bezpieczeństwa w odniesieniu zarówno do środowiska, jak i zdrowia ludzi.



Ryc.13. Schemat różnych strategii stosowanych do modyfikacji genetycznej zgodnie z definicjami cisgenezy i intragenezy. W cisgenezie konstrukcje ekspresyjne muszą zawierać kompletne elementy genetyczne z puli genów kompatybilnych seksualnie, tj. promotor, sekwencję kodującą i terminator. W intragenezie konstrukcje ekspresyjne mogą zawierać elementy genetyczne z różnych genów z puli genów kompatybilnych. Gdy stosowana jest metoda transformacji za pośrednictwem *Agrobacterium*, granice P-DNA lub T-DNA można wstawić do genu rośliny w celu wygenerowania podejść cisgenicznych lub wewnątrzgenowych (Singh i in., 2015).

107. Czy pyłek z genetycznie zmodyfikowanej kukurydzy zabija jeden z gatunków motyli? Czy zatem żywność genetycznie modyfikowana jest szkodliwa?

W środkach masowego przekazu w 1999 r. pojawiła się informacja, o odkryciu naukowców z Uniwersytetu Cornella, że genetycznie zmodyfikowana kukurydza niszczy motyle (*Monarch Butterfly*). Informacja ta jednak była pozbawiona danych kontrolnych, tak naprawdę nie było wiadomo, ile motyli ginie na polu z kukurydzą nie zmodyfikowaną genetycznie. Natomiast w przeprowadzonych dodatkowych badaniach przez naukowców z Uniwersytetu Illinois okazało się, że na standardowym, kontrolowanym polu w wyniku stosowania normalnych zabiegów agrotechnicznych ginie więcej motyli. Gąsienice motyla monarcha ginęły, gdyż karmiono je o wiele większym stężeniem niż normalnie dostępne. W przypadku upraw genetycznie zmodyfikowanych, w których wprowadzono gen z bakterii *Bacillus thuringiensis* (Bt) zapewniający ochronę przed szkodnikami, dochodzi do eliminacji owadów żywiących się tkanką roślinną. Obecność tej modyfikacji powoduje ograniczenie stosowania insektycydów, które działając nie wybiórczo, zabijałyby wszystkie owady, a nie tylko te, które chcą żerować na roślinach uprawnych.

Uprawy biotechnologiczne są wykorzystywane do produkcji pasz od ponad 23 lat i nie odnotowano przypadków chorób ani śmierci. Wiele badań dotyczących upraw genetycznie modyfikowanych przeprowadzonych w ciągu ostatnich 10 lat koncentruje się na ich wykorzystaniu jako żywności i paszy. Jak wynika z literatury, rośliny GMO w postaci pasz dla zwierząt są bezpieczne dla zwierząt i ludzi, którzy spożywają produkty pochodzące z tych zwierząt.

Wpływ pasz GMO na produktywność i zdrowotność zwierząt, transfer transgenicznego DNA w przewodzie pokarmowym oraz jego retencję w tkankach i produktach żywnościowych pochodzenia zwierzęcego był badany w ramach programu wieloletniego przez Instytut Zootechniki-Państwowy Instytut Badawczy w Krakowie oraz Państwowy Instytut Weterynaryjny-Państwowy Instytut Badawczy w Puławach w latach 2008–2011³⁰, a także przez Instytut Genetyki i Biotechnologii Zwierząt, Polskiej Akademii Nauk w ramach interdyscyplinarnego projektu – „BIOŻYWNOŚĆ – innowacyjne, funkcjonalne produkty pochodze-

³⁰ Aneks do programu wieloletniego, uchwała Rady Ministrów nr 306/2007 z dnia 20 grudnia 2007 r.

nia zwierzęcego” w latach 2009-2016. Wpływ stosowania genetycznie zmodyfikowanych materiałów paszowych (poekstrakcyjnej śruty sojowej i śruty kukurydzianej) określano dla takich zwierząt gospodarskich jak drób, świnie i bydło. Nie wykazano negatywnego wpływu skarmiania pasz GMO na jakość i bezpieczeństwo produktów zwierzęcych, zdrowie ludzi i zwierząt oraz na środowisko. Ponadto nie została wykryta obecność transgenicznego DNA w dalszych częściach przewodu pokarmowego, narządach wewnętrznych, krwi, tkance mięśniowej, mleku i jajach.

108. Czy rośliny genetycznie modyfikowane mogą szkodzić środowisku?

Przeciwnicy GMO sugerują, że uprawa roślin biotechnologicznych szkodzi środowisku, poza tym nie wiemy, jaki wpływ te uprawy będą miały na środowisko za dziesięć lub dwadzieścia lat. Nie ma danych naukowych potwierdzających, że rolnictwo konwencjonalne czy ekologiczne jest bezpieczniejsze niż jakiegokolwiek inne. Nie ma też danych, które dowodziłyby, że uprawa roślin GMO jest niebezpieczna. W rzeczywistości obecne praktyki rolnicze, w tym stosowanie pestycydów i herbicydów, są bardzo szkodliwe dla środowiska i zdrowia człowieka – rolników i konsumentów. Uprawa roślin biotechnologicznych w rzeczywistości wymaga mniej zasobów niż rolnictwo konwencjonalne, ponieważ uprawy zaprojektowano tak, by były odporne na szkodniki, wymagały stosowania znacznie mniejszej ilości pestycydów i herbicydów, zmniejszając w ten sposób zagrożenie dla środowiska i zdrowia ludzi. Uprawy GMO wymagają mniejszej liczby operacji polowych, takich jak uprawa roli, co pozwala na pozostawanie większej ilości pozostałości w glebie, sekwestrowanie większej ilości CO₂ w glebie i redukcję emisji gazów cieplarnianych. Od 1996 r. uprawy GMO ograniczyły zużycie pestycydów. Tylko w 2018 r. obniżenie poziomu oprysków środkami owadobójczymi i herbicydami zmniejszyło emisję dwutlenku węgla o 23 mld kilogramów, co odpowiada usunięciu z dróg 15,3 mln samochodów w ciągu jednego roku.

Analiza ponad 6000 artykułów poświęconych kukurydzy GMO oparta na faktach – *Evidence based* wykazała wzrost wydajności produkcji kukurydzy GMO o 10-25%, w związku z ograniczeniem występowania chorób, które obniżają plon o 1/3 oraz ograniczeniem ilości chwastów (10%) (Pellegriano i in., 2018). Jednocześnie zmniejszono o 1/5 areal upraw rolniczych do produkcji żywności, ograniczono wycięcie lasów, ob-

nizono emisję gazów cieplarnianych o 1/8 rocznej emisji przez pojazdy. Uzyskano również bogatsze i lepsze jakościowo uprawy GMO, o 60-84% zwiększono jakość ziarna i ograniczono o 1/3 poziom różnych mykotoksyn. Ponadto zachowano właściwości odżywcze kukurydzy. Nie zaobserwowano negatywnego wpływu na bioróżnorodność owadów, z wyjątkiem omacnicy prosowianki, szkodnika kukurydzy zwalczanego dzięki wprowadzeniu do roślin genu z *Bacillus thuringiensis* (Bt). Znacznie zostało zmniejszone stosowanie herbicydów i insektycydów.

109. Czy to prawda, że rośliny genetycznie modyfikowane nie są naturalne?

Wielu przeciwników GMO uważa, że genetycznie modyfikowane uprawy nie są naturalne. W rzeczywistości modyfikacja genetyczna zachodzi naturalnie i człowiek w sposób nieświadomy krzyżował rośliny od wieków, metodą prób i błędów, aby uzyskać pożądane rezultaty. Liczne wykopaliska i dzieła sztuki potwierdzają ulepszanie roślin i zwierząt. Większość obecnie uprawianych roślin powstała w wyniku krzyżowania różnych roślin, na przykład pszenżyto. Modyfikacja genetyczna zachodzi nieustannie w sposób naturalny, nawet bez interwencji człowieka. Większość roślin rozmnaża się przez samozapłodnienie lub przenoszenie genów od jednego rodzica do drugiego za pośrednictwem pyłku. Ten proces jest podstawową zasadą różnorodności genetycznej. Jednak ruch niechcianych genów, występujących naturalnie lub wytworzonych metodami inżynierii, może skutkować przypadkową obecnością, sytuacją, w której niepożądane substancje są nieuchronnie obecne w produkcji i sprzedaży produktów rolnych. Nowoczesna biotechnologia umożliwia osiągnięcie i powielanie roślin o pożądanych cechach w sposób bardziej przemysłowy i bezpieczniejszy.

110. Czy rośliny uprawne ulepszone za pomocą inżynierii genetycznej mogą dokonywać inwazji na inne ekosystemy i wypierać inne gatunki?

Ulepszone rośliny mają takie same – minimalne i czysto teoretyczne – szanse na inwazję w inne ekosystemy jak tradycyjne rośliny, gdyż rośliny takie różnią się od siebie jedną lub dwiema cechami, które są istotne w uprawie. Wyeliminowaniu możliwości przekazywania cech z roślin genetycznie zmodyfikowanych służą badania i kontrolne testy

polowe, które przechodzi każda nowa odmiana przed rozpoczęciem uprawy na szeroką skalę. Próby terenowe są przeprowadzane w bardzo surowych warunkach i zgodnie z rygorystycznymi przepisami. Warunki te obejmują zapobieganie przepływowi pyłków i zapobieganie dostawaniu się do żywności i paszy. Niespełnienie któregokolwiek z warunków lub przepisów oznacza przerwanie prac. Wystąpienie niezamierzonego krzyżowania nie jest wyjątkowe dla upraw biotechnologicznych. Geny cały czas przemieszczają się między roślinami zarówno w przypadku upraw konwencjonalnych, jak i biotechnologicznych.

111. Czy rośliny genetycznie modyfikowane mogą prowadzić do powstawania superchwastów i superszkodników?

Nadmierne i nieodpowiedzialne stosowanie pestycydów i herbicydów jest odpowiedzialne za ewolucję „superszkodników” i „zabójczych chwastów”. Adaptacja szkodników i chorób do stosowanych środków ochrony roślin występuje zarówno w liniach hodowanych konwencjonalnie, jak i modyfikowanych genetycznie. Szkodniki i chwasty ewoluują lub przystosowują się, aby przewyciężyć modyfikacje genetyczne uprawy. Przestrzeganie zasad zarządzania opornością pomaga zminimalizować to zjawisko. Problem chwastów opornych na herbicydy występuje zarówno w uprawach tradycyjnie hodowanych, jak i uprawach biotechnologicznych. Tak zwane „superchwasty” powstały z powodu nadużywania herbicydów lub z powodu przenoszenia konwencjonalnych cech tolerancji na herbicydy do gatunków chwastów, w wyniku czego rośliny nie dały się zwalczać za pomocą wcześniej stosowanych herbicydów. Nadużywanie pojedynczych herbicydów może prowadzić do rozwoju opornych chwastów. Podobnie jak w przypadku oporności na owady, alternatywne sposoby działania, które można stosować rotacyjnie, spowalniają rozwój oporności chwastów.

Na tej samej zasadzie nie można mówić o powstawaniu w wyniku upraw GMO „superchwastów”, które są odporne na herbicydy, ponieważ zjawisko to występuje także w przypadku upraw konwencjonalnych, w wyniku naturalnego procesu przystosowywania się chwastów do kolejnych generacji herbicydów.

112. Jakie typy modyfikacji stosuje się w roślinach i w jakim celu?

Nadrzędnym celem dokonywania modyfikacji jest wykorzystanie potencjału biologicznego roślin, a zaniechanie środków zewnętrznych, takich jak herbicydy i insektycydy dla hodowli czy też etylenu do stymulacji dojrzewania. Ponadto celem przeprowadzanych modyfikacji jest przede wszystkim zaniechanie używania środków chemicznych w pielęgnacji i ochronie roślin, poprawienie parametrów technologicznych, obniżenie kosztów produkcji, zmniejszenie zanieczyszczenia środowiska oraz obniżenie pracochłonności dzięki zmniejszeniu liczby zabiegów. Najczęściej metodą wykorzystywaną do modyfikacji jest wprowadzanie do roślin na przykład genów odpowiedzialnych za syntezę związków odstraszających owady lub też enzymów rozkładających herbicydy. Dzięki tym modyfikacjom rośliny są bardziej odporne na szkodniki i herbicydy oraz mają poprawione cechy technologiczne i organoleptyczne.

W komercyjnie dostępnych roślinach wprowadza się zmiany zmniejszające ryzyko wystąpienia alergii, można wprowadzić także bezpłodność męską. Do monitorowania dodaje się markery wizualne (np. gen kodujący enzym beta-D-glukuronidazę (GUS) z *Escherichia coli*, umożliwiający wizualną selekcję dzięki powstaniu niebieskiego zabarwienia na poddanej transformacji tkance). Zmieniany jest metabolizm mannozy, modyfikacji podlegają zawartości skrobi/węglowodanów, jak również oleju/kwasów tłuszczowych. Obniżany jest poziom barwnika gossypolu. Wprowadza się ograniczenie utleniania jabłek czy ziemniaków. Obniżany jest poziom wolnej asparaginy jak również cukrów redukujących. Wprowadzana jest oporność na antybiotyki, chrząszcze *Coleoptera*, motyle *Lepidoptera* i pluskwiaki *Hemiptera*, jak również wielokrotna oporność na owady. Inne modyfikacje zapewniają oporność na choroby wirusowe, późną zarazę liści i zarazę późną. Opóźniane jest dojrzewanie/starzenie się czy zmiękczenie owoców. Wprowadza się produkcję fitazy, przywracana jest płodność. Redukuje się poziom nikotyny, zmienia zdolność do syntezy nopaliny. Wprowadza się tolerancję na różne herbicydy: izoksaflutol, mezotrionowe, herbicydy 2,4-D, dikamba, glifosat, glufosynat, imazamoks, oksynilowe, sulfonilomocznik. Wymienić należy ponadto tolerancję na stres związany z suszą, ulepszoną zawartość prowitaminy A czy zmienioną produkcję ligniny, jak również ograniczenie sinienia ziemniaków. Modyfikacjom podlegają ponadto alfa-amylaza, aminokwasy, kolor kwiatów i kolor owoców. Zwiększa się objętość drewna eukaliptusa, biomasa kolb kukurydzy oraz wydajność fotosyntezy.

Obecnie coraz więcej roślin ma wprowadzoną jedną lub więcej cech. Dopuszczone jest również krzyżowanie różnych odmian roślin transgenicznych, dzięki czemu otrzymać można rośliny z większą liczbą modyfikacji. Przyjmuje się, że z punktu widzenia komercyjnego ważne są następujące cechy: tolerancja na stres abiotyczny, zmieniony wzrost/wydajność, oporność na choroby, tolerancja na herbicydy, oporność na owady, zmodyfikowana jakość produktu oraz system kontroli zapylania.

113. Jakie rośliny są najczęściej ulepszone za pomocą nowoczesnej biotechnologii?

Obecnie dostępne komercyjnie są 32 gatunki roślin transgenicznych. Najwięcej odmian, bo aż 238 dotyczy kukurydzy *Zea mays* L. Inna roślina ważna gospodarczo, czyli bawełna *Gossypium hirsutum* L. ma 67 odmian. Opracowano 49 odmian ziemniaków *Solanum tuberosum* L., 42 odmiany rzepaku odmiany Argentina *Brassica napus* oraz 41 odmian soi *Glycine max* L. Dużo prac poświęcono roślinie ozdobnej – goździkowi *Dianthus caryophyllus*, dla którego przygotowano 19 odmian. Kolejne są pomidory *Lycopersicon esculentum*, tutaj zatwierdzono 11 roślin transgenicznych. Ryż *Oryza sativa* L. posiada 8 modyfikacji, trzcina cukrowa *Saccharum* sp. 6, lucerna siewna *Medicago sativa* 5, a kapusta właściwa *Brassica rapa* oraz papaja *Carica papaya* po 4 zgłoszenia. W przypadku buraka zwyczajnego *Beta vulgaris*, cykorii *Cichorium intybus* oraz jabłoni *Malus x Domestica* dostępne są po trzy modyfikacje. Po dwie odmiany opracowano dla dyni zwyczajnej *Cucurbita pepo*, melona zwanego również ogórkiem melonem *Cucumis melo*, krokosza barwierskiego *Carthamus tinctorius* L., róż *Rosa hybrida*, tytoniu *Nicotiana tabacum* L. i topoli *Populus* sp. Dla wymienionych dalej roślin dostępna jest tylko jedna komercyjna forma: ananas jadalny *Ananas comosus*, psianka podłużna, czyli bakłażan *Solanum melongena*, len *Linum usitatissimum* L., eukaliptus *Eucalyptus* sp., fasola *Phaseolus vulgaris*, mietlica rozłogowa *Agrostis stolonifera*, papryka roczna *Capsicum annuum*, petunia *Petunia hybrida*, pszenica zwyczajna *Triticum aestivum*, śliwa domowa *Prunus domestica* oraz wspanięga wężowata *Vigna unguiculata*.

114. Pomidor FlavrSavr® – na czym polega modyfikacja?

Najbardziej znany transgeniczny pomidor, pierwsza komercyjnie dostępna roślina charakteryzowała się obniżoną aktywnością genu od-

powiedzialnego za syntezę enzymu hydrolizującego pektynę w skórce pomidora (peptydylogalaktouranaza), co spowolniło dojrzewanie, a w efekcie przedłużyło trwałość, umożliwiając wydłużenie okresu składowania. Metoda ta wpłynęła na uniknięcie „chemii” w magazynowaniu, poprawę zapachu i smaku. Pomidor jednak obecnie nie jest dostępny z powodu braku doświadczenia producenta, błędów w uprawie i łatwiejszego uszkodzenia w transporcie, gdyż dojrzałe pomidory były bardziej miękkie niż z odmian, które zbierane są jeszcze twarde. W Europie pomidory te były dostępne w postaci przecieru.

115. W 1999 r. węgierski uczony pracujący w Anglii, Árpád Pusztai, opublikował badania, w których stwierdził, że genetycznie zmodyfikowany ziemniak powoduje osłabienie systemu immunologicznego u człowieka. Czy to prawda?

Nie. Aby odpowiedzieć na to pytanie, należy przedstawić kilka słów wyjaśnienia: Árpád Pusztai przeprowadzał doświadczenia na szczurach, które były karmione surowymi ziemniakami ze zmodyfikowanym genomem przez wprowadzenie genu kodującego biosyntezę substancji (lektyna) owadobójczej występującej w przebiśniegu. Lektyna jest znanym czynnikiem antyżywnościowym, którego ze względu na jego toksyczność nie wykorzystuje się w żywności. Wyniki tych badań zostały sceptycznie przyjęte przez środowisko naukowe, jednak opublikowano je w periodyku medycznym „The Lancet”. Redakcja pisma zasięgnęła opinii 6 ekspertów, którzy ocenili maszynopis, jako nie spełniający kryteriów publikacji naukowej. Według holenderskich naukowców z Instytutu Kontroli Jakości Produktów Rolnych wyniki badań są trudne do interpretacji i nie pozwalają na wyciągnięcie wniosku sugerującego, że genetyczne modyfikacje ziemniaków wywołują niekorzystne skutki u zwierząt. Specjaliści od spraw żywienia starają się przede wszystkim wykazać, jaka jest relacja produktu nowego do tradycyjnego. Prace takie nie mają zatem uzasadnienia, ponieważ w żywieniu nie stosuje się surowych ziemniaków. Nie wolno stosować diety pokarmowej zawierającej tylko 6% wymaganego białka, odnosząc wnioski do innego składnika. Ponadto brak uzasadnienia dla klonowania genu lektyny do celów żywieniowych, a następnie testowanie produktu wzbogaconego w lektynę. Od dawna wiadomo bowiem, że lektyna jest substancją toksyczną; stwierdzenie, że pokarm zawierający więcej lektyny (w tym przypadku był to ziemniak) jest bardziej trujący – jest stwierdzeniem

trywialnym. Wreszcie nie wolno publikować wyników, które nie są wiarygodne statystycznie (z powodu zbyt małej liczby użytych zwierząt) i nie zostały powtórzone.

116. W Stanach Zjednoczonych bardzo popularne są uprawy roślin genetycznie modyfikowanych. Zanim jednak taka roślina zostanie skomercjalizowana, musi być poddana doświadczeniom polowym. Jaką dokumentację należy przedstawić odpowiednim władzom?

Zanim rośliny ulepszone biotechnologicznie będą mogły być skomercjalizowane należy odpowiednim władzom przedstawić następujące dokumenty: mapę genomu zarówno dawcy, jak i rośliny będącej biorcą genu; opis modyfikacji genetycznej; dowód stabilności dokonanej modyfikacji; proponowany sposób przeprowadzenia testu polowego oraz metody kontroli i monitorowania; wszystkie dostępne informacje dotyczące wpływu na zdrowie zarówno rośliny będącej donorem genu, jak i rośliny będącej biorcą genu oraz wyniki testów przeprowadzonych w laboratorium.

Z kolei tradycyjnie otrzymane rośliny (np. kiwi, nektaryny) nie muszą przechodzić przez szereg tak istotnych badań/testów, mimo że niekiedy mogą zawierać toksyny i alergeny.

Za bezpieczeństwo żywności GMO dostępnej dla konsumentów od wczesnych lat dziewięćdziesiątych w Stanach Zjednoczonych odpowiadają Amerykańska Agencja ds. Żywności i Leków (FDA), Amerykańska Agencja Ochrony Środowiska (U.S. Environmental Protection Agency, EPA) i Departament Rolnictwa Stanów Zjednoczonych (U.S. Department of Agriculture, USDA), które współpracują, aby stwierdzić, że rośliny uprawne wyprodukowane w wyniku inżynierii genetycznej są bezpieczne dla ludzi, zwierząt i środowiska. Współpraca i koordynacja między tymi agencjami pomaga upewnić się, że twórcy żywności rozumieją znaczenie bezpiecznego zaopatrzenia w żywność i zasad, których muszą przestrzegać podczas tworzenia nowych roślin za pomocą inżynierii genetycznej. Na zasadzie dobrowolności wprowadzono program konsultacji w zakresie biotechnologii roślin, w ramach którego FDA ocenia bezpieczeństwo żywności z nowych GMO przed ich wprowadzeniem na rynek. Program obejmuje kilka kluczowych etapów. Po pierwsze, potencjalny producent roślin GMO spotyka się z FDA w sprawie potencjalnego nowego produktu do stosowania w żywności dla ludzi

i zwierząt. Następnie przekazuje dane i informacje dotyczące oceny bezpieczeństwa żywności do FDA, co pozwala na ocenę danych i informacji, umożliwia także rozwiązanie pojawiających się potencjalnych problemów. Konsultacje są zakończone, gdy FDA nie będzie już mieć pytań dotyczących bezpieczeństwa żywności dla ludzi i zwierząt wyprodukowanej z nowej odmiany roślin GMO. Zakończone konsultacje są podawane do wiadomości publicznej. Program umożliwia FDA współpracę z producentami, aby pomóc w tworzeniu bezpiecznych dostaw żywności, a także zbieranie informacji o nowej żywności.

W Europie oraz w Polsce również obowiązują przepisy umożliwiające dopuszczenie do upraw odmian roślin transgenicznych, jednak z nastawienia Europejczyków i Polaków, a także z woli politycznej nie są prowadzone uwolnienia GMO do środowiska i ich komercjalizacja.

117. Jaką powierzchnię zajmują uprawy roślin transgenicznych?

Ostatnie dane dotyczące upraw transgenicznych pochodzą z 2018 r. Uprawy biotechnologiczne nadal pomagają sprostać wyzwaniom związanym ze wzrostem liczby ludności i zmianami klimatycznymi. Uprawy prowadzono w 26 krajach, w tym w 21 krajach rozwijających się i 5 krajach uprzemysłowionych, aby znaleźć rozwiązanie problemu głodu, niedożywienia i zmian klimatycznych. Obszar upraw osiągnął wartość 191,7 mln hektarów. Powierzchnia upraw w stosunku do 1996 r. wzrosła około 113-krotnie, co wskazuje, że biotechnologia jest najszerzej stosowaną technologią upraw na świecie. Liczne uprawy rozwijane są w USA, Brazylii, Argentynie, Kanadzie i Indiach, gdzie rolnicy faworyzują tę technologię uprawy nad konwencjonalnymi odmianami. Z kolei w 2018 r. pojawiły się uprawy roślin bardziej zróżnicowanych: ziemniaków, trzciny cukrowej, jabłek nie brązowiejących oraz rzepaku i krokosza barwierskiego.

Pięć krajów o największej powierzchni upraw biotechnologicznych (Stany Zjednoczone, Brazylia, Argentyna, Kanada i Indie) łącznie zajmowało 91% globalnej powierzchni upraw biotechnologicznych. Soja biotechnologiczna osiągnęła najwyższy poziom akceptacji na świecie, obejmując 50% globalnego obszaru tych upraw. Obszar upraw biotechnologicznych o kilku modyfikacjach nadal wzrasta i zajmuje 42% światowego obszaru upraw biotechnologicznych. Rolnicy z 10 krajów Ameryki Łacińskiej obsiali 79,4 mln hektarów upraw biotechnologicznych, a 9 krajów Azji i Pacyfiku obsadziło 19,13 mln hektarów. W Azji Indo-

nezja po raz pierwszy zasadziła oporną na suszę trzcinę cukrową opracowaną w ramach partnerstwa publicznego (Uniwersytet w Jember) i prywatnego (Ajinomoto Ltd.). Królestwo Eswatini (dawniej Suazi) dołączyło do Republiki Południowej Afryki i Sudanu w zakresie uprawy roślin biotechnologicznych w Afryce, wprowadzając bawełnę oporną na szkodniki. Nigeria, Etiopia, Kenia i Malawi wydały zezwolenia na uprawę bawełny odpornej na szkodniki, otwierając Afrykę na przyjęcie upraw biotechnologicznych. W Europie, w Hiszpanii i Portugalii, nadal uprawiana jest kukurydza oporna na omacnicę prosowiankę. Większy obszar obejmował ziemniaki z cechami niepowodującymi obicia i brązowienia, o zmniejszonej oporności na akryloamid i zarazę późną; nie ciemniejące jabłka; bakłażany odporne na szkodniki oraz lucernę o niskiej zawartości ligniny. Pojawiła się trzcina cukrowa oporna na owady i suszę; rzepak i krokosz barwierski o wysokiej zawartości kwasu oleinowego. Dopuszczono do stosowania jako żywność, pasze i do przetwórstwa między innymi złoty ryż, ryż z genem oporności na szkodniki z *Bacillus thuringiensis* Bt, bawełnę tolerującą herbicydy oraz bawełnę o niskiej zawartości barwnika gossypolu. Do upraw w 2019 r. dopuszczono bawełnę i soję oporną na herbicydy nowej generacji, bawełnę o niskiej zawartości gossypolu, lucernę oporną na herbicyd Roundup Ready i obniżonej zawartości ligniny, rzepak omega-3 i wspięę wężowatą (bobowate) oporną na owady.

118. Jakie rośliny genetycznie modyfikowane są uprawiane najczęściej?

W 2018 r. według danych podanych przez International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications (ISAAA) 191,7 mln hektarów upraw biotechnologicznych było uprawianych w 26 krajach, w tym w 21 rozwijających się i w 5 uprzemysłowionych. Kraje rozwijające się osiągnęły 54% globalnego obszaru upraw biotechnologicznych w porównaniu z 46% w krajach uprzemysłowionych. Dodatkowo 44 kraje (18 plus 26 krajów UE) importowały rośliny biotechnologiczne przeznaczone na żywność, paszę i przetwórstwo. Zatem łącznie 70 krajów przyjęło uprawy biotechnologiczne.

Można wyróżnić cztery główne uprawy biotechnologiczne obejmujące soję, kukurydzę, bawełnę i rzepak, przy czym soja zajmowała 50% globalnego obszaru upraw biotechnologicznych obejmujący 95,9 mln hektarów. Kolejna pod względem zajmowanego obszaru była kukury-

dza (58,9 mln ha), bawełna (24,9 mln ha) i rzepak (10,1 mln ha). Na podstawie globalnego obszaru upraw FAO w 2017 r. dla poszczególnych upraw w 2018 r. 78% soi, 76% bawełny, 30% kukurydzy i 29% rzepaku stanowiły uprawy biotechnologiczne. Uprawy roślin genetycznie modyfikowanych z co najmniej dwoma modyfikacjami (oporność na owady i tolerancja na herbicydy) zajmowały 42% globalnej powierzchni upraw biotechnologicznych, natomiast 46% upraw związanych było z występowaniem tolerancji na herbicydy dla soi, rzepaku, kukurydzy, lucerny i bawełny. Największe obszary upraw znajdują się w Stanach Zjednoczonych, obejmując 75 mln hektarów, następnie w Brazylii (51,3 mln ha), Argentynie (23,9 mln ha), Kanadzie (12,7 mln ha) i Indiach (11,6 mln ha). Przyjmuje się areal upraw roślin GMO został wykorzystany przez 1,95 mld ludzi w pięciu krajach, co stanowi 26% obecnej populacji światowej, liczącej 7,7 mld. Stały wzrost powierzchni upraw roślin genetycznie zmodyfikowanych na świecie jest spowodowany większym zapotrzebowaniem rolników na tańszą produkcję oraz większą potrzebą żywienia ludności krajów najbiedniejszych.

Globalny obszar upraw biotechnologicznych w 2018 r. według różnych krajach (mln ha), według ISAAA

Kraj	Areal (mln ha)	Uprawy GMO
1	2	3
USA*	75,0	kukurydza, soja, bawełna, rzepak, buraki cukrowe, lucerna, papaja, dynia, ziemniaki, jabłka
Brazylia*	51,3	soja, kukurydza, bawełna, trzcina cukrowa
Argentyna*	23,9	soja, kukurydza, bawełna
Kanada*	12,7	rzepak, kukurydza, soja, buraki cukrowe, lucerna, ziemniaki
Indie*	11,6	bawełna
Paragwaj*	3,8	soja, kukurydza, bawełna
Chiny*	2,9	bawełna, papaja
Pakistan*	2,8	bawełna
Republika Południowej Afryki*	2,7	kukurydza, soja, bawełna
Urugwaj*	1,3	soja, kukurydza

1	2	3
Boliwia*	1,3	soja
Australia*	0,8	bawełna, rzepak
Filipiny*	0,6	kukurydza
Mjanma (Birma)*	0,3	bawełna
Sudan*	0,2	bawełna
Meksyk*	0,2	bawełna
Hiszpania*	0,1	kukurydza
Kolumbia*	0,1	bawełna, kukurydza
Wietnam	< 0,1	kukurydza
Honduras	< 0,1	kukurydza
Chile	< 0,1	kukurydza, soja, rzepak
Portugalia	< 0,1	kukurydza
Bangladesz	< 0,1	bakłażan
Kostaryka	< 0,1	bawełna, soja
Indonezja	< 0,1	trzcina cukrowa
Eswatini	< 0,1	bawełna
Razem	191,7	

* 18 megakrajów uprawiających 50 tys. hektarów lub więcej upraw biotechnologicznych.

119. Jaki jest związek między hodowlą i biotechnologią roślin?

Hodowlę roślin można uznać za formę przyspieszonej ewolucji, polegającej na ulepszaniu genetycznym gatunków uprawnych. Zasadniczymi etapami hodowli roślin są: generowanie zmienności oraz następująca po tym selekcja osobników o pożądanym cechach. Tradycyjna hodowla roślin jest długotrwała i kosztowna, ponieważ w jej trakcie uzyskuje się również potomstwo o niepożądanych cechach. Biotechnologię roślin można określić jako zestaw nowych narzędzi stosowanych w hodowli roślin, który pozwala na specyficzne przeniesienie interesujących cech (w tym przypadku termin „cecha” jest zbieżny z terminem „gen”) do rośliny uprawnej. W przeciwieństwie do tradycyjnej hodowli roślin jest to często możliwe równocześnie z wyeliminowaniem cech niekorzystnych.

120. Czy można przenieść gen do całej rośliny?

Gen odpowiedzialny za określoną cechę (np. rośliny) jest wprowadzany do genomu danego organizmu (może to być bakteria, roślina czy też ssak). Każda komórka danego organizmu zawiera cały genom, a zatem przez wprowadzenie danego genu do komórki, a następnie odtworzenie całego organizmu z tej pojedynczej komórki – otrzymujemy zmodyfikowany organizm.

121. Czy „odpady biotechnologiczne” są groźne dla środowiska? Czy genetycznie zmodyfikowana roślina może zniszczyć środowisko naturalne?

Szczególną formą zagrożenia środowiska naturalnego są odpady laboratoryjne. W pracowni, którą możemy nazwać biotechnologiczną, podobnie jak w przypadku laboratorium chemicznego, występują odpady typowe i znane od wielu lat. Należą do nich: sole, rozpuszczalniki, kwasy i zasady, materiały jednorazowe (np. pipety, rękawice, pożywki). Także w społeczeństwie budzą obawę możliwości „biologicznego zanieczyszczenia” biosfery przez genetycznie modyfikowane organizmy. Obawy te wiążą się z możliwością zaniedbania zasad kontroli i ostrożności w trakcie prowadzenia rutynowych prac laboratoryjnych, podczas których mogłyby zostać omyłkowo wytworzona i wprowadzona do środowiska na przykład nowa roślina. Przypadkowo otrzymana – genetycznie zmodyfikowana – stałaby się oporna na określone herbicydy i charakteryzowała bardzo wysoką plennością. Jednak taka roślina może być z łatwością zniszczona przez inne herbicydy. Prawdopodobieństwo takiego błędu są jednak bardzo niewielkie. Zasadniczo odmienną kwestią jest ryzyko konieczności stosowania wzrastających dawek herbicydów w wyniku stopniowego nabywania oporności przez chwasty. W tym zakresie w wielu krajach prowadzone są intensywne prace badawcze.

Do tej pory nie odnotowano żadnego tragicznego wydarzenia ani zagrożenia dla środowiska naturalnego spowodowanego stosowaniem nowoczesnej biotechnologii.

122. Jaki jest cel tworzenia roślin opornych na herbicydy i szkodniki?

Większość upraw GMO została opracowana, aby pomóc rolnikom zapobiegać utracie plonów i żywności oraz zwalczać chwasty. Najczęściej spotykanymi modyfikacjami upraw GMO są oporność na niektóre szkodliwe owady, tolerancja niektórych herbicydów stosowanych do zwalczania chwastów oraz oporność na niektóre wirusy roślinne. Rolnicy mogą stosować mniej pestycydów w opryskach podczas sadzenia roślin GMO. Oszczędza to ich pieniądze i zmniejsza ilość pestycydów, które trafiają do upraw i pośrednio do gleby. W opinii rolników uprawiających rośliny GM odporne na określony herbicyd uprawa jest do 20% korzystniejsza ekonomicznie. Wiąże się z tym stosowanie zdecydowanie mniejszych ilości herbicydów, łącznie z ograniczeniem liczby herbicydów, często do jednego. Mniejsze jest skażenie środowiska i uzyskuje się zdrowsze (mniej zanieczyszczone chemikaliami) produkty roślinne. Ponadto stosowanie roślin opornych na herbicydy ogranicza potrzebę orki w celu zwalczania chwastów. Sadzenie bez orki pomaga poprawić stan gleby i zmniejszyć jej erozję, a także zużycie paliwa i siły roboczej oraz ilość dwutlenku węgla uwalnianego do atmosfery.

Uprawa roślin opornych na wirusy może również pomóc rolnikom w wytwarzaniu zrównoważonych i bezpiecznych dostaw żywności, zwiększając jednocześnie stabilność ich źródeł otrzymania.

Najpopularniejsze uprawy GMO zostały opracowane w celu zaspokojenia potrzeb rolników, ale mogą one pomóc w zwiększeniu dostępności i przystępności żywności dla konsumentów. Niektóre uprawy GMO zostały opracowane specjalnie z myślą o konsumentach. Na przykład soja GMO, która jest używana do wytwarzania zdrowszego oleju, jest uprawiana i dostępna w handlu. Jabłka GMO, które nie brązowieją podczas cięcia, mogą pomóc w ograniczeniu marnotrawstwa żywności. Naukowcy zajmujący się roślinami nadal opracowują uprawy GMO, które mają przynieść korzyści konsumentom.

Uprawy GMO wpływają również na życie rolników w innych częściach świata. Amerykańska Agencja ds. Rozwoju Międzynarodowego (USAID) współpracuje z krajami partnerskimi nad wykorzystaniem inżynierii genetycznej do ulepszania podstawowych upraw i podstawowych produktów spożywczych, które stanowią dużą część diety ludzi. Na przykład bakłażan GMO, który został opracowany tak, by był odporny na owady, od 2014 r. jest powoli udostępniany rolnikom w Bangladeszu. Rolnicy uprawiający bakłażany GMO zarabiają więcej. USAID współ-

pracuje również z krajami partnerskimi w Afryce i innych krajach nad kilkoma podstawowymi uprawami, takimi jak oporny na wirusy maniok, oporna na owady wspięga wężowata i ziemniak oporny na zarazę.

123. Dlaczego nie można ponownie wykorzystywać nasion roślin zmodyfikowanych genetycznie?

Nasiona roślin genetycznie zmodyfikowanych są sprzedawane przez firmy nasienne z zastrzeżeniem, że hodowca nie może zachować plonu jako ziarna siewnego. Jest to zatem forma umowy, jaką przyjmują obie strony. Warto wspomnieć, że od dawna stosowane odmiany mieszańcowe kukurydzy też można uprawiać tylko przez jeden rok.

124. Czy współczesne rolnictwo, szczególnie rolnictwo ekologiczne, nie wystarczy do wyżywienia ludzkości i czy jest potrzebna agrobiotechnologia?

„Syte” społeczeństwa, na przykład krajów Europy oraz Ameryki Północnej mają dosyć żywności. Należy jednak pamiętać, że ludzi będzie coraz więcej: w 1900 r. było nas półtora miliarda; w 2000 r. – około 6 miliardów, a szacuje się, że w 2050 r. może być nawet 10 miliardów! Jednocześnie globalna produkcja żywności jest satysfakcjonująca, ale 40% produkcji „zjadają” szkodniki, wyniszczają choroby, jak również anomalie pogodowe itp. Dlatego cele stawiane przed nowoczesnymi technologiami to długie magazynowanie, spowolnienie dojrzewania, oporność na mróz i na szkodniki. Wiązą się z tymi celami określone obawy społeczne związane z monopolem, uzależnieniem politycznym, strachem przed nieznanym czy klęską ekonomiczną niektórych grup zawodowych.

Z pewnością ekorolnictwo nie jest rozwiązaniem dla populacji Chin, Indii czy też centralnej Afryki; stanowi natomiast atrakcyjną (i kosztowną) alternatywę dla zamożnych grup konsumenckich.

O konieczności zainteresowania się uprawami GMO pisze również James D. Watson, odkrywca budowy DNA, w rozdziale *Burza w talerzu owsianki* w książce *DNA – tajemnica życia*: „Za kilka lat, kiedy Zachód odzyska rozum i uwolni się z więzów paranoi, odkryjemy zapewne, że pod względem technologii rolniczej pozostajemy daleko w tyle. Produkcja żywności w Europie i Stanach Zjednoczonych stanie się droższa i mniej wydajna niż w innych regionach świata. W międzyczasie

na czoło wysuną się takie państwa jak Chiny, których nastawienie jest czysto pragmatyczne. Z 23 procentami światowej populacji i jedynie 7 procentami gruntów rolnych po prostu potrzebują wyższych plonów i dodatkowych wartości odżywczych roślin GM, jeśli mają wykarmić ponad miliard ludzi”.