

Burza w talerzu owsianki: genetyczna modyfikacja żywności

Autor tekstu: **James D. Watson**

W czerwcu 1962 roku prawdziwą sensację wywołała książka Racheli Carson *Silent Spring* (*Cicha wiosna*), wcześniej drukowana w odcinkach w „New Yorkerze”. Autorka dowodziła w niej, że pestycydy zatruwają środowisko, a nawet zanieczyszczają naszą żywność. W tym czasie byłem konsultantem PSAC (President's Scientific Advisory Committee — Prezydenckiego Komitetu Naukowo-Doradczego) Johna F. Kennedy'ego. Moje zadanie wiązało się głównie z programem badań nad bronią biologiczną. Byłem więc bardzo zadowolony, kiedy nadeszło zaproszenie do wzięcia udziału w pracach podkomitetu PSAC, którego zadaniem było sformułowanie odpowiedzi administracji waszyngtońskiej na wzbudzone przez publikacje Carson niepokoję; dało mi to pretekst do oderwania się od problemów militarnych. Byłem pod wrażeniem przedstawionych przez nią dowodów oraz starannego i rozważnego sposobu ich prezentacji. Carson w niczym nie przypominała histerycznej „ekomaniaczki”, jaką zgodnie z własnymi, żywotnymi interesami chcieli w niej widzieć przedstawiciele przemysłu pestycydowego - jeden z członków zarządu American Cyanamid Company stwierdził na przykład, że „gdyby człowiek miał wiernie przestrzegać nauk panny Carson, powrócilibyśmy do średniowiecza, a robactwo i choroby po raz kolejny opanowałyby Ziemię”. Z kolei Monsanto, inny wielki producent pestycydów, próbował odeprzeć zarzuty zawarte w *Silent Spring* w publikacji *The Desolate Year* (*Rok spustoszenia*), której pięć tysięcy egzemplarzy rozprowadzono za darmo w mediach i wśród dziennikarzy.

Świat opisany przez Carson objawił mi się w całej okazałości już rok później, kiedy, jadąc na spotkanie PSAC, przemierzałem tereny zagrożone plagą roślinożernych owadów, a zwłaszcza pewnego gatunku ryjkowca niszczącego nasiona bawełny. Przejeżdżając wśród pól bawełny przez deltę Missisipi, zachodni Teksas i kalifornijską Central Valley, trudno było nie dostrzec całkowitego uzależnienia hodowców od środków owadobójczych. W drodze do laboratorium entomologicznego w pobliżu Brownsville w Teksasie nasz samochód został zniemiony owianym mgłą pestycydów, którymi rolniczy samolot opryskiwał pola. Z przydrożnych billboardów natomiast nie uśmiechali się przystojni modele zachęcający do kupna balsamu po goleniu Burma-Shave, widniały na nich za to reklamy najnowszych i najwspanialszych owadobójczych mieszanek. Trujące chemikalia zdawały się być tu głównym elementem życia.

Abstrahując od tego, czy Carson trafnie oceniła zagrożenie, musiał istnieć jakiś lepszy sposób poradzenia sobie z sześciorogimi wrogami upraw bawełny; lepszy niż coroczne nasycanie wielkich obszarów rolniczych różnorodnymi chemikaliami.

Jedną z możliwości lansowanych przez naukowców z rządowych agencji odpowiedzialnych za amerykańskie rolnictwo była mobilizacja naturalnych wrogów szkodników — np. wirusa wielościennego, który atakuje gąsienice niszczące kwiaty bawełny (wkrótce to on właśnie stał się większym zagrożeniem niż ryjkowiec) — ale strategie takie okazały się nieefektywne. Wówczas nie byłem jeszcze w stanie wymyślić praktycznego rozwiązania, takiego jak stworzenie roślin z wbudowaną odpornością na szkodniki: taki pomysł wydawał się po prostu zbyt piękny, by mógł być prawdziwy. Dziś jednak dzięki podobnym metodom farmerzy odnoszą zwycięstwa nad szkodnikami, a jednocześnie zmniejszają swoją zależność od trujących chemikaliów.

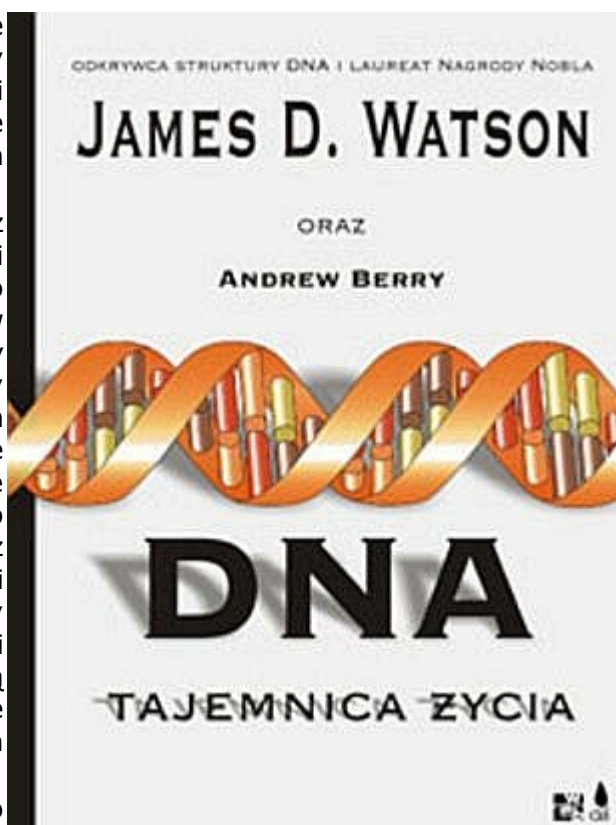
Inżynieria genetyczna doprowadziła do powstania roślin jadalnych, dysponujących wrodzoną odpornością na szkodniki. Wszystko to z korzyścią dla środowiska, ponieważ zmniejszyła się ilość stosowanych pestycydów. A jednak, paradoksalnie, przeciwko genetycznie zmodyfikowanym uprawom najgłośniej protestują organizacje zajmujące się właśnie ochroną środowiska.

Podobnie jak w przypadku inżynierii genetycznej zwierząt, na początku największą sztuką w biotechnologii roślin jest umieszczenie odpowiedniego fragmentu DNA (właściwego genu) w komórce roślinnej, a następnie w genomie rośliny. Jak to już jednak wielokrotnie bywało, okazało się, że odpowiedni mechanizm sama natura opracowała już wieki temu, zanim naukowcy w ogóle o tym pomyśleli.

Na przykład jedna z chorób objawia się powstawaniem nieładnych, grudkowatych guzów na łodydze rośliny. Wywołuje je powszechnie występująca bakteria glebowa *Agrobacterium tumefaciens*, która z pełnym oportunizmem zakaża rośliny w miejscach, w których są już uszkodzone — na przykład ogryzione przez roślinożernego owada. Godny najwyższej uwagi jest sposób, w jaki ten bakteryjny pasożyt przeprowadza atak. Otóż konstruuje on tunel, przez który przekazuje pakunek swojego własnego materiału genetycznego do komórki roślinnej. Pakunek ów składa się z fragmentu DNA starannie wykrojonego ze specjalnego plazmidu, a następnie umieszczonego w ochronnej białkowej kapsule i wyekspediowanego wprost do tunelu.

Kiedy bakteryjny DNA dociera na miejsce, zostaje włączony (analogicznie jak wirusowy) do DNA gospodarza. W przeciwieństwie jednak do wirusa fragment bakteryjnego DNA, znalazłszy już nowe lokum, nie tworzy własnych kopii. Zamiast tego produkuje hormony wzrostu rośliny i wyspecjalizowane białka, które służą później bakterii jako substancje odżywcze. Tworzy się pętla dodatniego sprzężenia zwrotnego, obejmująca równoczesny podział komórki roślinnej i wzrost bakterii: hormony wzrostu powodują, że komórki roślinne szybciej się rozmnażają, a zarazem przy każdym podziale komórki gospodarza powstają nowe kopie bakteryjnego DNA, prowadząc do wytwarzania coraz większej ilości bakteryjnych składników odżywczych oraz hormonów wzrostu rośliny.

Wynikiem tego szalonego, niekontrolowanego rozrostu jest guzowata masa komórkowa -



Poniższy tekst pochodzi z książki *DNA. Tajemnica życia*. „Nikt inny nie mógł napisać tej książki. Nikt bowiem tak jak James Watson, najwybitniejszy żyjący biolog, współautor odkrycia budowy DNA, nie zna się na genach, genetyce i na implikacjach tych odkryć. Nikt poza nim nie był naocznym świadkiem wszystkich ważnych wydarzeń w biologii molekularnej — od zrozumienia budowy podwójnej helisy po rozszyfrowanie ludzkiego genomu.” (Gazeta Wyborcza).

[Zobacz więcej...](#)

to właśnie galasówka — służąca bakterii jako rodzaj fabryki, w której komórki gospodarza zmuszane są do produkcji w coraz większych ilościach dokładnie tego, czego potrzebuje bakteria. Jeśli chodzi o strategię pasożytnictwa, *Agrobacterium* jest wprost genialna: podniosła umiejętność wykorzystywania roślin do rangi sztuki.

Szczegóły dotyczące pasożytniczych trików stosowanych przez *Agrobacterium* poznaliśmy w latach 70. dzięki odkryciom Mary-Dell Chilton z Washington University w St. Louis oraz Marca van Montagu i Jeffa Schella z Uniwersytetu w Ghent w Belgii. W czasie, gdy w na konferencji w Asilomar (i nie tylko tam) szalała debata na temat rekombinacji DNA, Chilton i jej koledzy z Seattle z pewną ironią zauważyli, że *Agrobacterium* „działa niezgodnie z wytycznymi Narodowych Instytutów Zdrowia w zakresie stosowania standardów P4 podczas procesów transferu DNA pomiędzy gatunkami”.

Rychło do Chilton, van Montagu i Schella dołączyli inni naukowcy zafascynowani *Agrobacterium*. We wczesnych latach 80. Monsanto, ta sama firma, która tak aktywnie podważała zasadność publikacji Racheli Carson na temat zanieczyszczenia żywności pestycydami, doszła do wniosku, że *Agrobacterium* to coś więcej niż tylko biologiczna ciekawostka. Jej dziwaczny, pasożytniczy styl życia może stanowić klucz do umieszczania w roślinach różnych nowych genów! Kiedy Chilton przeniosła się z Seattle na Washington University w St. Louis, mieście, w którym również Monsanto miał swoją siedzibę, odkryła, że jej praca wzbudza u nowych sąsiadów więcej niż tylko uprzejme zainteresowanie. Wkroczenie Monsanto w zaczarowany krąg *Agrobacterium* nastąpiło dość późno, ale pieniądze i inne środki pozwoliły firmie szybko nadrobić stracony czas... Nie minęło go wiele, a chemiczny potentat zaczął finansować laboratorium Chilton, podobnie zresztą jak placówki van Montagu i Schella - oczywiście w zamian za obietnicę dzielenia się z dobroczyńcą najświeższymi odkryciami.

Swój sukces Monsanto zawdzięcza naukowej przenikliwości trzech ludzi: Roba Horsch, Steve'a Rogersa i Robba Fraleya, którzy pojawili się w firmie na początku lat 80., a przez kolejne dwie dekady kierowali rolniczą rewolucją. Horsch od dziecka „kochał zapach [ziemi], jej ciepło” i już jako mały chłopiec pragnął „by wszystko zawsze rosło lepiej niż to, co da się znaleźć w warzywniaku”. W pracy dla Monsanto od razu dostrzegł możliwość spełnienia marzeń, i to na niewiarygodną skalę. Rogers, biolog molekularny z University of Indiana, przeciwnie, początkowo odrzucił zaproszenie, postrzegając perspektywę takiej pracy jako „sprzedanie się” biznesowi. Jednak podczas wizyty w centrali korporacji urzekło go nie tylko żywe środowisko naukowe, ale również obfitość pewnego istotnego składnika, którego w badaniach akademickich zawsze mu brakowało: pieniędzy. I tak przeżył nawrócenie. Natomiast Fraleya wcześniej porwała wizja wykorzystania biotechnologii w rolnictwie. Trafił do Monsanto po spotkaniu z Ernim Jaworskim, dyrektorem wykonawczym, którego śmiałe pomysły dały początek biotechnologicznemu programowi firmy. Jaworski był nie tylko przełożonym-wizjonerem, ale także niezwykle miłym facetem. Nie wydawał się w najmniejszym stopniu oburzony, nawet kiedy przy pierwszym spotkaniu dopiero co zatrudniony Fraley obwieścił mu, że jednym z jego celów jest... przejęcie stanowiska szefa.

Wszystkie trzy grupy badające *Agrobacterium* — zespoły Chilton, van Montagu i Schella oraz Monsanto — postrzegały strategię bakterii jako potencjalny sposób manipulowania genami roślinnymi. Nietrudno już było sobie wyobrazić, że za pomocą standardowych narzędzi biologii molekularnej: „wytnij i wklej” uda się przeprowadzić stosunkowo prostą akcję umieszczenia w plazmidzie *Agrobacterium* dowolnie wyselekcjonowanego genu po to, by następnie przenieść go do komórki roślinnej. W momencie zarażenia gospodarza przez taką genetycznie zmodyfikowaną bakterię, wybrany gen byłby umieszczany w chromosomie komórki roślinnej. W *Agrobacterium* widziano gotowy system umożliwiający dostarczanie obcego DNA wprost do genomów roślinnych; naturalnego inżyniera genetycznego. W styczniu 1983 roku, na przełomowej konferencji w Miami, Chilton, Horsch (z Monsanto) i Schell zaprezentowali swoje niezależnie uzyskane wyniki, potwierdzające niezwykle zdolności *Agrobacterium*. W tym czasie każda z trzech grup zwróciła się też o patent na metodę genetycznej modyfikacji roślin opartą o wykorzystanie *Agrobacterium*. Schell dostał swój patent w Europie, ale w Stanach Zjednoczonych walki pomiędzy Chilton a Monsanto ciągnęły się w sądach aż do roku 2000, kiedy to patent ostatecznie przyznano Chilton i jej pracodawcy, firmie Syngenta. Mieliśmy już okazję rzucić okiem na patentowy Dziki Zachód, nie powinno nas zatem dziwić, że historia wcale nie skończyła się tak gładko: gdy piszę te słowa, trwa proces, który Syngenta wytoczyła Monsanto za pogwałcenie patentu.

Z początku wydawało się, że magia *Agrobacterium* działa tylko w przypadku niektórych

roślin. Niestety, nie było w tej grupie ważnych pod względem rolniczym upraw, takich jak kukurydza, pszenica i ryż. Jednak *Agrobacterium* przyczyniła się do narodzin inżynierii genetycznej roślin; to na niej skupiło się zainteresowanie biologów molekularnych. Z czasem, dzięki postępowi technicznemu, ich imperium poszerzyło się, i objęło nawet najbardziej odporne gatunki uprawne. Zanim pojawiły się te innowacje, naukowcy musieli polegać na bardziej losowej (choć nie mniej efektywnej) metodzie wprowadzania wyselekcjonowanego DNA do komórki kukurydzy, pszenicy czy ryżu. Określonym genem pokrywano maleńkie kuleczki ze złota lub wolframu, które dosłownie wstrzeliwano — jak pociski — do komórki roślinnej. Sztuka polegała na tym, aby wystrzelić kulkę z siłą wystarczającą, by dostała się do komórki, ale nie na tyle wielką, by przeleciała na wylot! Metodzie tej brakuje oczywiście finezji *Agrobacterium*, lecz zadanie jest wykonalne.

Taka „strzelba genowa” (*gene gun*) została skonstruowana na początku lat 80. przez Johna Sanforda z Cornell's Agricultural Research Station. Sanford postanowił swoje eksperymenty przeprowadzać na cebuli, ze względu na jej duże komórki, co bardzo ułatwiało zadanie. Do dziś wspomina, że połączenie tych przeklętych cebul i prochu sprawiało, że w całym laboratorium śmierdziało jak w McDonalddie usytuowanym przy strzelnicy. Początkowo nikt nie wierzył powodzenie jego zamiarów, ale w 1987 roku „Nature” opublikowała doniesienie o „botanicznej broni palnej”. W ciągu kolejnych trzech lat naukowcy pomyślnie zakończyli prace nad „wstrzeliwaniem” nowych genów do komórek kukurydzy, najważniejszej rośliny uprawnej w Ameryce; tylko roku 2001 obrót na tym rynku przekroczył dziewiętnaście miliardów dolarów.

Kukurydza jest w Ameryce bardzo cenna nie tylko dla branży spożywczej, ale także, w przeciwieństwie do innych roślin, dla przemysłu nasienniczego. Przez długie lata „interes nasienniczy” był bowiem czymś w rodzaju finansowego ślepego zaułka: farmer kupował ziarno, ale do kolejnych zasiewów używał już nasion pochodzących z wyhodowanych przez siebie roślin, nie musiał więc kupować następnej porcji. Amerykańskie spółki kukurydziane rozwiązały ów problem „jednorazowego interesu” w latach 20., wypuszczając na rynek kukurydzą-hybrydę, wynik krzyżówki pomiędzy dwiema określonymi liniami genetycznymi kukurydzy. Wysoka wydajność tej hybrydy czyni ją bardzo atrakcyjną dla rolników, ale przy hodowli daje o sobie znać ten sam mendelowski mechanizm, co w przypadku groszku; strategia wykorzystywania ziaren z własnego zbioru (tzn. z potomstwa hybrydy i krzyżówki hybrydy) nie sprawdza się, ponieważ większość nasion nie dziedziczy wysokiej wydajności, jaką charakteryzuje się oryginalna uprawa. Rolnicy muszą zatem co roku wracać po nową partię wysokowydajnego ziarna.

Największe amerykańskie przedsiębiorstwo nasiennicze, Pioneer Hi-Bred International (z czasem przejęte przez DuPonta), przez długi czas działało głównie na Środkowym Zachodzie. Dziś kontroluje około 40 procent rynku nasion kukurydzy, a jego roczny obrót sięga miliarda dolarów. Założona w 1926 roku przez Henry'ego Wallace'a (późniejszego wiceprezydenta za kadencji Franklina D. Roosevelta) firma każdego lata zatrudniała aż czterdzieści tysięcy uczniów szkół średnich, by utrzymać odpowiednią jakość nasion — na sąsiadujących polach rosły dwie odmiany macierzyste, a uczniowie „od urywania kitek” z jednej z nich ręcznie usuwali męskie kwiaty, nim jeszcze zaczynała się produkcja pyłku. W ten sposób tylko jedna odmiana mogła służyć za źródło pyłku, nie ulegało więc wątpliwości, że ziarno pochodzące od pozbawionej kitek odmiany będzie pożądaną krzyżówką (hybrydą). Jeszcze dziś „urywanie kitek” gwarantuje wakacyjną pracę tysiącom osób: w lipcu 2002 roku Pioneer zatrudniał trzydzieści pięć tysięcy sezonowych pracowników.

Jednym z pierwszych klientów Pioneera był Roswell Garst, farmer ze stanu Iowa, który pod wrażeniem hybryd Wallace'a kupił licencję na sprzedaż nasion kukurydzianych. 23 września 1959, wykorzystując jeden z mniej zimnych momentów zimnej wojny, Nikita Chruszczow, ówczesny sekretarz generalny KC KPZS odwiedził farmę Garsta, pragnąc dowiedzieć się czegoś więcej o amerykańskim cudzie rolniczym i hybrydowej odmianie kukurydzy, która była jego przyczyną. Kraj, który Chruszczow odziedziczył po Stalinie, w pogoni za wielką industrializacją zaniedbał rolnictwo i nowy przywódca miał szczerą chęć to zmienić. W 1961 roku nowo wybrana administracja Kennedy'ego wyraziła zgodę na sprzedaż Sowiecom kukurydzianego ziarna, wyposażenia rolniczego i nawozów.

Dzięki tym nabytkom w ciągu zaledwie dwóch lat produkcja kukurydzy w ZSRS wzrosła dwukrotnie.

Podczas gdy wokół szaleje burzliwa debata na temat modyfikowanej genetycznie żywności, warto zdać sobie sprawę z tego, że modyfikujemy naszą żywność już od tysięcy lat.

Zarówno udomowione zwierzęta, źródło mięsa, jak i rośliny uprawne — zboża, owoce i warzywa — są genetycznie bardzo odległe od swoich dzikich przodków.

Rolnictwo nie powstało tak nagle, z niczego, dziesięć tysięcy lat temu. Dzicy przodkowie roślin uprawnych nie byli zbyt przyjaźni dla pierwotnych rolników: hodowla i uprawa były trudne, a plony marne. Jeśli rolnictwo miało odnieść sukces, modyfikacje były niezbędne. Już pierwsi rolnicy rozumieli, że pożądane cechy muszą być wrodzone („genetyczne”, jak byśmy dziś powiedzieli), bo tylko takie zapewniają transfer z pokolenia na pokolenie. I tak narodził się ogromny program genetycznej modyfikacji wdrażany przez naszych przodków. Z braku strzelb genowych i podobnych udogodnień działalność ta zależała od pewnej formy sztucznej selekcji (selektywnego doboru): na przykład pasterze dopuszczali do hodowli tylko te egzemplarze, które wykazywały pożądane właściwości, chociażby najbardziej mleczne krowy. W efekcie robili to, co przyroda w procesie doboru naturalnego: z dostępnych wariantów genetycznych wybierali najbardziej udane, dokładając wszelkich starań, by następne pokolenie było wzbogacone o cechy najcenniejsze z punktu widzenia rolnika lub hodowcy (czyli przydatność pod względem konsumpcyjnym), a także z punktu widzenia natury - zdolność przetrwania. Dziś biotechnologia otworzyła przed nami możliwości tworzenia korzystnych wariantów; dzięki niej nie musimy już czekać, aż zrobi to sama natura. Metody biotechnologiczne są niczym więcej niż najnowszym etapem w długiej historii stosowania metod **genetycznej modyfikacji** naszej żywności.

Trudno zlikwidować chwasty. Są przecież roślinami - takimi samymi jak uprawne, których rozwój zakłócają. Jak zatem je zniszczyć, nie niszcząc przy tym upraw? Idealnie by było, gdyby istniał rodzaj systemu zabezpieczającego uprawy przed herbicydami. Można by się było wówczas pozbyć wszystkich roślin nieposiadających „ochronnego oznakowania”, czyli chwastów, te natomiast, które byłyby „właściwie” oznakowane, zostałyby oszczędzone. Inżynieria genetyczna wyposażyła rolników i ogrodników w podobny system w postaci opracowanej przez Monsanto technologii „Roundup Ready”. Pod tą nazwą dostępne jest obecnie szerokie spektrum środków roślinobójczych (herbicydów) zdolnych do zniszczenia niemal każdej rośliny. Naukowcy z Monsanto wyprodukowali oczywiście przy okazji także zmodyfikowane genetycznie rośliny uprawne „Roundup Ready”, które charakteryzują się odpornością na miksturę RR, dzięki czemu świetnie sobie z nią radzą, podczas gdy wszystkie chwasty dookoła kładą się pokotem. Oczywiście, w interesie firmy leży, by farmer kupił równocześnie i nasiona, i herbicyd Monsanto. Jest to jednak korzystne również dla środowiska. W innym wypadku trzeba by skorzystać z całej grupy niszczycieli chwastów, z których każdy niszczyłby inny ich rodzaj, nie stwarzając zarazem zagrożenia dla całej uprawy. A istnieje przecież wiele chwastów, których trzeba się strzec. Używanie jednego remedium na wszystkie ogranicza poziom szkodliwych chemikaliów w środowisku, a trzeba dodać, że sam Roundup ulega w glebie szybkiej biodegradacji.

Niestety, rozwój rolnictwa był błogosławieństwem nie tylko dla naszych przodków, ale także dla roślinożernych owadów. Wyobraź sobie, że jesteś owadem żywiącym się pszenicą i spokrewnionymi z nią dzikimi trawami. Dawno, dawno temu musiałeś udawać się na dalekie wyprawy w poszukiwaniu obiadku.

Ale pojawiło się rolnictwo i ludzie zaczęli dla twojej wygody wykładać posiłki na przeogromnych stołach. Nic dziwnego zatem, że uprawy trzeba chronić również przed atakami owadów. Z punktu widzenia możliwości eliminacji stanowią one mniejszy problem niż chwasty: łatwiej przecież wymyślić truciznę, która działa wybiórczo na zwierzęta, ale nie na rośliny. Problem polega na tym, że ludzie i inne stworzenia, na których nam zależy, też są zwierzętami.

Jak ryzykowne jest użycie pestycydów, uświadomiliśmy sobie w pełni dopiero dzięki *Silent Spring* Carson. Wpływ na środowisko zawierających chlor pestycydów o długim okresie biodegradacji, takich jak DDT (zakazane zresztą w Europie i Ameryce Północnej od 1972 roku) był przerażający. W dodatku istnieje ryzyko, że ich pozostałości znajdą się w naszym pożywieniu. Chociaż tak małe dawki tych chemikaliów nie są raczej śmiertelne — w końcu ich celem są zwierzęta ewolucyjnie znacznie od nas oddalone — pozostaje niepokój o możliwe efekty mutagenne, których rezultatem może być rak i defekty noworodków.

Alternatywę dla DDT stanowiły pestycydy z grupy fosforanów organicznych. Na ich korzyść przemawiał fakt, że szybko ulegają degradacji i nie akumulują się w środowisku. Z drugiej jednak strony same w sobie są nawet bardziej toksyczne niż DDT; sarin, gaz użyty w ataku terrorystycznym w tokijskim metrze w roku 1995, należy właśnie do grupy fosforanów organicznych.

Nawet rozwiązania wykorzystujące naturalne związki chemiczne mogą mieć niepożądane skutki. W połowie lat 60. pojawiły się syntetyczne wersje pyretrynu, naturalnego środka owadobójczego, uzyskiwanego od małej, przypominającej stokrotkę chryzantemy. Ich zastosowanie sprawiło, że szkodniki trzymały się z daleka przez ponad dekadę, zanim (co nie powinno nikogo zaskoczyć) powszechne użycie doprowadziło do wyłonienia się odpornych na nie populacji owadów. Jeszcze bardziej kłopotliwe było odkrycie, że pyretrin, choć naturalny, nie jest obojętny dla organizmu człowieka. Podobnie jak wiele substancji pochodzenia roślinnego jest to związek bardzo toksyczny. Badania na szczurach wykazały, że pod wpływem pyretrynu występują u nich objawy przypominające chorobę Parkinsona, a epidemiolodzy zauważyli, że zbliżone, niekorzystne symptomy występują również u ludzi; i to częściej w środowisku wiejskim niż miejskim.

I choć do dziś nie dysponujemy solidnymi danymi, Amerykańska Agencja Ochrony Środowiska szacuje, że rocznie około trzystu tysięcy pracowników amerykańskich farm może zapadać na choroby związane z użyciem pestycydów.

Zanim nastąpiła era chemii, rolnicy mieli oczywiście swoje sztuczki i potrafili radzić sobie bez pestycydów. Jedną z takich bardziej pomysłowych metod ochrony roślin przed atakiem owadów polega na wykorzystaniu toksyny uzyskanej od bakterii, a nierzadko i samej bakterii. W naturze *Bacillus thuringiensis* atakuje owadzie jelita, aby raczyć się pokarmem uwalnianym przez uszkodzone komórki. Po wnikięciu do organizmu paraliżuje ona wewnętrzności owadów i doprowadza je do śmierci poprzez zagłodzenie, a zarazem zniszczenie tkanek. Bakterię odkryto w 1901 roku, kiedy to zdziesiątkowała populację jedwabników w Japonii, ale nazwę nadano jej dopiero w roku 1911, podczas plagi mola ziarniaka w niemieckiej Turynii. W roli pestycydu po raz pierwszy wykorzystana została we Francji w roku 1938. Początkowo wydawało się, że jej efektywność ogranicza się tylko do gąsienic owadów łuskoskrzydłych (ciem i motyli), jednak różne szczepy konsekwentnie udowadniały swą skuteczność także w walce z larwami chrząszczy i much. Co ważne, *B. thuringiensis* działa tylko na owady: w jelitach większości zwierząt panują warunki kwasowe (niskie pH), ale u larw owadów środowisko to jest silnie zasadowe (wysokie pH); dokładnie tego trzeba, by groźna toksyna Bt (skrót od *Bacillus thuringiensis*) uległa aktywacji.

W dobie rekombinacji DNA sukces *Bacillus thuringiensis* w roli pestycydu zainspirował wielu inżynierów genetycznych. A może by tak, zamiast topić uprawy w morzu bakterii, włączyć gen toksyny Bt do genomu roślin uprawnych? Farmer nie musiałby już nigdy opryskiwać upraw, bo każdy kęs rośliny byłby dla owada śmiertelny (a zarazem nieszkodliwy dla ludzi). Metoda ta przynajmniej na dwa sposoby góruje nad tradycyjnym opryskiwaniem. Po pierwsze, do czynienia z pestycydem miałyby tylko owady, które zabierają się do konsumpcji; nieszkodliwym nie działałaby się krzywda, co niestety ma miejsce w przypadku stosowania środków zewnętrznych. Po drugie, włączenie genu kodującego truciznę Bt do genomu rośliny prowadziłoby do jej produkcji przez każdą komórkę rośliny, podczas gdy tradycyjne pestycydy skutecznie chronią tylko liście i łodygi. Szkodniki żywiące się korzeniami albo wgrzyżające się w tkanki, których do tej pory nie udawało się zwalczać, teraz czekałaby niechybna śmierć.

Dziś mamy już cały zestaw roślin z genem Bt: kukurydza Bt, ziemniak Bt, bawełna Bt, soja Bt i inne. W rezultacie zdecydowanie spadło zużycie pestycydów.

W 1995 roku farmerzy hodujący bawełnę w delcie Missisipi spryskiwali pola średnio 4,5 raza na sezon. Zaledwie rok później, gdy upowszechniły się uprawy bawełny Bt, średnia dla wszystkich farm — łącznie z tymi, które hodowały odmiany bez genu Bt — spadła do 2,5. Szacuje się, że od roku 1996 dzięki wprowadzeniu do upraw roślin Bt Stany Zjednoczone ograniczyły ilość stosowanych pestycydów o ponad pięćset tysięcy litrów rocznie. Ostatnio nie bywałem w krainie bawełny, ale mogę się założyć, że tamtejsze billboardy nie zachęcają już do kupna chemicznych środków owadobójczych; podejrzewam, że już prędkiej wrócą reklamy Burma-Shave. Również inne państwa zaczynają wyciągać korzyści z tej technologii: w Chinach w 1999 roku hodowla bawełny Bt ograniczyła zużycie pestycydów o około 1300 ton.

Biotechnologia pozwoliła też uodpornić rośliny przeciwko innym tradycyjnym wrogom, zapobiegając chorobom w zaskakujący sposób, niemal jak szczepionka u ludzi. Szczepimy nasze dzieci łagodnymi formami różnych patogenów w celu wywołania odpowiedzi układu odpornościowego, który dzięki temu uczy się chronić je przed infekcją przy zetknięciu z prawdziwymi bakteriami chorobotwórczymi.

Otóż również rośliny (które, mówiąc ściśle, nie posiadają układu odpornościowego), jeżeli miały do czynienia z jakimś wirusem, często stają się odporne także na inne jego szczepy. Roger Beachy z Washington University w St. Louis doszedł do wniosku, że to zjawisko (znane

jako „interferencja”) umożliwi inżynierom genetycznym uodpornienie roślin na zagrażające im choroby.

Na próbę wstawił do genomu rośliny gen kodujący białko osłonki wirusa i sprawdził, czy przyczyniło się to do jej zabezpieczenia, mimo że nie była wystawiona na działanie samego patogenu. Eksperyment się powiódł. W jakiś sposób obecność białka wirusowej powłoki w komórce chroni ją przed atakiem wirusa.

Metoda Beachy'ego pozwoliła uratować hawajskie uprawy papai. Między rokiem 1993 a 1997 rokiem produkcja papai na Hawajach spadła o 40 procent; winna była epidemia wirusa atakującego uprawy. Jednej z głównych gałęzi gospodarki wyspy groziła katastrofa. Dzięki wstawieniu genu kodującego zaledwie fragment białka płaszczka wirusa do genomu papai, naukowcom udało się stworzyć rośliny odporne na jego ataki i hawajskie plantacje przetrwały.

Naukowcy z Monsanto zastosowali później tę samą nieszkodliwą metodę w walce z powszechną chorobą ziemniaka wywoływaną przez wirusa X. (Wirusy ziemniaczane mają nader nieciekawe nazwy. Istnieje również wirus Y.) Niestety McDonald's i inne „hamburgerowe potęgi” przstraszyły się, że korzystanie z takich modyfikowanych kartofli ściągnie im na głowę protesty bojowych ekologów walczących z modyfikowaną genetycznie żywnością. W rezultacie frytki kosztują o wiele więcej, niż powinny.

Natura wymyśliła wewnętrzne systemy obronne setki milionów lat wcześniej, nim inżynierowie genetyczni zaczęli wstawiać geny Bt do roślin uprawnych. Biochemicy wyróżnili całą klasę substancji roślinnych, zwanych metabolitami wtórnymi, które nie są zaangażowane w ogólny metabolizm komórki.

Ich funkcją jest natomiast ochrona przed roślinożercami i innymi potencjalnymi agresorami. W naturalnych roślinach wprost roi się od naturalnych toksyn, które powstały w trakcie ewolucji. Dobór naturalny faworyzował rośliny posiadające najpaskudniejsze zestawy metabolitów wtórnych, gdyż to właśnie czyniło je mniej podatnymi na ataki różnej maści roślinożerców. W istocie, liczne substancje, które ludzie nauczyli się uzyskiwać z roślin w celach leczniczych (digitalis z naparstnicy używany w precyzyjnych dawkach jako lek nasercowy), jako środki pobudzające (kokaina z koki) lub pestycydy (pyretryn z chryzantemy) należą właśnie do klasy metabolitów wtórnych. Trujące dla naturalnych wrogów, substancje te odpowiadają u roślin za występowanie wysoko wyspecjalizowanych reakcji obronnych.

Bruce Ames, autor testu Ames, szeroko wykorzystywanego do określania, czy dana substancja jest rakotwórcza, czy nie, zauważył zresztą kiedyś, że naturalne związki chemiczne w naszej żywności są tak samo śmiertelnie groźne jak sztuczne, o których obecność nieustannie się zamartwiamy. Nawiązując do testów przeprowadzanych na szczurach, podał kiedyś za przykład kawę:

„W jednej filiżance kawy znajduje się więcej substancji rakotwórczych niż w pozostałościach pestycydów, które konsumujemy w żywności przez cały rok. I jest tam też kolejny tysiąc innych związków, które dopiero należy zbadać. Ilustruje to nasze podwójne standardy: jeśli coś jest sztuczne, szalejemy z niepokoju, jeśli naturalne — po prostu ignorujemy zagrożenie.”

Jeden z pomysłowych zestawów obrony chemicznej u roślin zawiera furanokumaryny, grupę związków chemicznych, które nabierają toksycznych właściwości dopiero przy bezpośrednim zetknięciu z promieniowaniem ultrafioletowym. Za sprawą tej naturalnej adaptacji toksyny aktywują się dopiero wtedy, gdy roślinożerca zaczyna wgryzać się w roślinę, otwierając komórki i wystawiając ich zawartość na światło słoneczne. (To właśnie furanokumaryny znajdujące się w skórce limonek były odpowiedzialne za przedziwną plagę, która nawiedziła ośrodek Club Medu na Karaibach — jak się okazało, wszyscy dotknięci szpetną wysypką goście brali wcześniej udział w zabawie polegającej na przekazywaniu owoców limonki od jednej osoby do drugiej bez użycia rąk, stóp, ramion czy ust. W jasnym słońcu Karaibów aktywne furanokumaryny upokorzonej limonki dokonały straszliwej zemsty na udach żądnych rozrywki turystów.) Rośliny i roślinożercy uczestniczą w ewolucyjnym wyścigu zbrojeń: natura premiuje rośliny, które są coraz bardziej toksyczne, i roślinożerców, którzy coraz lepiej sobie radzą z detoksykacją trujących substancji roślinnych, trawiąc w tym samym czasie to, co ma wartości odżywcze. Także w walce z furanokumarynami ewolucja wynagradza tych, którzy potrafią wykształcić sprytne mechanizmy zaradcze. Na przykład niektóre gąsienice zawijają liść, nim dobiorą się do jego tkanki. Światło słoneczne nie dociera do zacienionych obszarów tak skonstruowanej liściowej rurki i furanokumaryny nie ulegają aktywacji.

Wyposażenie roślin uprawnych w przydatne substancje chemiczne jest jednym ze

sposobów, w jaki rodzaj ludzki, jako strona zainteresowana, może je wspomóc w tym ewolucyjnym wyścigu zbrojeń. Nie powinno nas jednak zdziwić, jeśli szkodniki w końcu rozwiną odporność na konkretną toksynę. Taka reakcja będzie przecież następnym etapem w prastarym konflikcie. Kiedy to się stanie, przejście do następnego etapu może nam ułatwić mnogość dostępnych wariantów toksyn Bt: kiedy upowszechni się odporność na jeden z nich, trzeba będzie wyhodować rośliny z alternatywną toksyną.

Poza ochroną roślin przed wrogami, biotechnologia może także przyczyniać się do wprowadzenia na rynek lepszych jakościowo produktów. Niestety, niekiedy nawet najbardziej błyskotliwi badacze urzeczeni nowatorskimi technologiami zapominają o sprawach podstawowych — o smaku. To właśnie miało miejsce w przypadku pewnej bardzo innowacyjnej kalifornijskiej firmy.

Calgene, bo o niej mowa, zasłynęła w 1994 roku, wprowadzając pierwszy na świecie produkt inżynierii genetycznej, który trafił na sklepowe półki. Udało jej się wówczas rozwiązać najpoważniejszy problem związany z uprawą pomidorów: jak dostarczyć na rynek dojrzałe owoce, nie zrywając ich, kiedy są jeszcze zielone, a taka obowiązywała wcześniej procedura. Koncentrując się jednak na pokonaniu naturalnych barier technicznych, naukowcy zapomnieli o sprawie fundamentalnej: ich pomidor (dość nieszczęśliwie wprowadzony na rynek pod nazwą „Flavr-Savr”, od słów flavor, czyli smak, i savor — rozkoszować się smakiem) nie był ani smaczny, ani wystarczająco tani, by odnieść sukces. W ten sposób, niejako za jednym zamachem, udało się Calgene stworzyć zarówno jeden z pierwszych artykułów GM, jak i produkt biotechnologii, który najszybciej znikł z półek sklepowych.

Mimo wszystko sam pomysł był dobry. Dojrzewanie pomidorów łączy się z ich mięknięciem, za co odpowiedzialny jest gen (a tak naprawdę cztery geny) kodujący enzym zwany poligalakturonazą (PG), który powoduje rozpad ścian komórkowych i przez to prowadzi do zmiękczenia owocu. Miękkie pomidory źle znoszą transport, zrywa się je zatem, kiedy są jeszcze zielone (i twarde), a potem sztucznie wywołuje dojrzewanie za pomocą etylenu. Badacze z Calgene zauważyli, że dzięki znokautowaniu [1] genu PG owoce dłużej pozostają twarde, nawet kiedy dojrzewają na krzaku. Wstawiali więc do rośliny gen PG o odwrotnej orientacji. Transkrypcja takiego genu (w GP) prowadziła do wytworzenia mRNA komplementarnej do RNA funkcjonalnego genu PG. W rezultacie RNA wytworzony przez właściwe geny PG zostawał „związany” z RNA wytworzonym przez odwrócony gen i powstawała dwuniciowa helisa RNA niezdolna do produkowania enzymu „rozmiękczonego”. Brak funkcjonalnego PG sprawiał, że pomidor pozostawał twardy, dzięki temu do sklepów można było dostarczać świeższe i dojrzalsze pomidory. Jednak Calgene, triumfujący w sferze molekularnych magicznych trików, nie docenił detali związanych z normalną hodowlą pomidorów. (Jak skomentował pewien hodowca zatrudniony przez firmę: „Przyprowadź biologa molekularnego na farmę, a umrze z głodu”.) Odmiana pomidora, którą firma wybrała do swojego projektu, była po prostu mdła: nie było zatem zbyt wiele obiecane smaku, nie wspominając już o możliwości rozkoszowania się nim. Calgene odniósł technologiczne zwycięstwo, ale rynkową porażkę.

Ogólnie rzecz biorąc, najistotniejszym wkładem biotechnologii w jakość życia człowieka powinno być doskonalenie wartości odżywczych roślin uprawnych, czyli uzupełnianie naturalnych braków składników odżywczych. Ponieważ rośliny są zwykle ubogie w niezbędne w diecie człowieka aminokwasy, ci, którzy opierają się na czysto wegetariańskiej diecie — a możemy do nich zaliczyć większą część ludności krajów rozwijających się — często cierpią na niedobór tych substancji. Inżynieria genetyczna może zapewnić pełniejszy zestaw składników odżywczych, łącznie z aminokwasami, niż oferują niemodyfikowane wersje roślin, które hoduje się i spożywa w tych częściach świata. Aby nie być gołosłownym, przytoczę następujące dane: w 1992 roku UNICEF oszacował, że ponad sto dwadzieścia cztery miliony dzieci na świecie cierpi na groźny niedobór witaminy A. W efekcie rocznie dochodzi do około pół miliona przypadków dziecięcej ślepoty, a wiele spośród dotkniętych nią dzieci umiera. Ponieważ w ryżu nie występuje ani sama witamina A, ani jej biochemiczni prekursorzy, populacje o największych deficytach koncentrują się w tych częściach świata, gdzie podstawowym składnikiem diety jest ryż.

Dzięki międzynarodowym wysiłkom badawczym, finansowanym w dużej mierze przez Fundację Rockefellera (organizacją non-profit, a zatem chronioną przed finansowymi roszczeniami, których ofiarą często padają producenci żywności modyfikowanej genetycznie), udało się stworzyć ryż nazwany później „złotym”.

Nie zawiera on wprawdzie witaminy A jako takiej, ale posiada jej najważniejszego

prekursora — betakaroten (ten sam, który nadaje marchwi pomarańczowy kolor, a złotemu ryżowi bladopomarańczowe zabarwienie; jemu właśnie nowy gatunek ryżu zawdzięcza swoją nazwę). Jak się jednak szybko zorientowali pracownicy organizacji humanitarnych, niedożywienie to coś znacznie bardziej skomplikowanego niż efekt braku poszczególnych składników odżywczych: wchłanianie prekursorów witaminy A w jelicie musi być wspomagane przez tłuszcz, którego również brakuje w diecie niedożywionych dzieci. Tak czy inaczej, złoty ryż jest przynajmniej pierwszym krokiem we właściwym kierunku.

Produkcja żywności zmodyfikowanej genetycznie niesie w sobie obietnicę zmniejszenia ogromu ludzkiego cierpienia.

Stoimy zaledwie u progu wielkiej rewolucji wywołanej przez pojawienie się roślin GM, dopiero zaczynamy dostrzegać niebywały potencjał i rozliczne możliwości ich zastosowań. Oprócz dostarczania składników pokarmowych tym, którym ich brakuje, pewnego dnia zmodyfikowane genetycznie rośliny mogą stać się kluczem do rozprowadzania szczepionek białkowych przekazywanych drogą pokarmową. Już dziś można wyobrazić sobie stworzenie banana zawierającego, powiedzmy, szczepionkę przeciwko chorobie Heinego-Mediny, która nie ulegałaby w owocu uszkodzeniu — banany bowiem dobrze znoszą transport i zazwyczaj spożywa się je na surowo. Pewnego dnia moglibyśmy rozprowadzić taką szczepionkę w tych częściach świata, gdzie nie ma publicznej służby zdrowia.

Rośliny mogą służyć także mniej fundamentalnym, ale niezwykle ważnym celom. Jednej z firm udało się na przykład skłonić bawełnę do produkcji formy poliestru i w ten sposób stworzyć naturalną mieszaninę bawełniano-poliestrową.

Dzięki swemu potencjałowi i możliwościom ograniczania naszej zależności od przemysłu chemicznego (poliester jest tylko jednym z jego rozlicznych wytworów) oraz w sposób nieunikniony związanych z nim produktów ubocznych, inżynieria genetyczna roślin zapewne już niebawem dostarczy nam dziś jeszcze nieznanymi sposobami ochrony środowiska.

[Monsanto](#) długo przodował wśród firm zajmujących się produkcją żywności GM, ale jak to się zwykle dzieje, jego prymat został zagrożony. Niemiecki koncern farmaceutyczny Hoechst wyprodukował swój własny odpowiednik Roundupu, środek roślinobójczy nazwany Basta (w USA sprzedawany jako Liberty) i równocześnie wprowadził na rynek rośliny uprawne „LibertyLink”, uodpornione na działanie Basty przez modyfikację genetyczną. Wkrótce potem inny europejski gigant farmaceutyczny, Aventis, stworzył wersję kukurydzy Bt nazwaną Starlink.

Tymczasem Monsanto, który chciał pozostać firmą największą, najlepszą i najbogatszą, prowadził politykę będącą mieszaniną agresji i kuluarowych intryg wobec dużych firm nasienniczych, a zwłaszcza wobec Pioneer Co. Celem było nakłonienie zarządu tej firmy do wykupienia licencji na produkty Monsanto. Pioneer był jednak wciąż przywiązany do swojego dawno opracowanego sposobu na kukurydzę-hybrydę i jego reakcja na gorące zaloty Monsanto była powściągliwa - w zawartych między 1992 a 1993 transakcjach Monsanto wypadł dość marnie, gdyż wynegocjował od nasienniczego giganta jedynie nędzne pół miliona dolarów za prawa do soi Roundup Ready i 38 milionów dolarów za kukurydzę Bt. Kiedy w 1995 roku dyrektorem wykonawczym Monsanto został Robert Shapiro, postanowił zmazać piętno klęski i podjął próbę zapewnienia swojej firmie całkowitej dominacji na rynku nasienniczym. Na początek, uznał, trzeba rozwiązać problem z farmerami, którzy korzystają z ziarna zebranego w roku poprzednim, zamiast powtórnie zapłacić firmie. (Rozwiązanie z hybrydami, które tak świetnie sprawdziło się marketingowo w przypadku kukurydzy, nie dało się zastosować przy innych zbożach.) Shapiro zasugerował więc, iż farmerzy używający ziarna Bt powinni podpisywać z Monsanto kontrakt, w którym zobowiążą się do płacenia za korzystanie z genu, oraz do nieużywania ziarna z własnych plonów. Jak łatwo się domyślić, farmerzy nie pokochali za to Monsanto.

Wcześniej Shapiro był dyrektorem wykonawczym niewielkiej spółki agrochemicznej ze Środkowego Zachodu. Swoje pięć minut — marketingowy odpowiednik naukowej „Eureki!” — miał, gdy zaciągnął się jako prawnik pod farmaceutyczne sztandary Searle. Przekonując Pepsi i Coca-Colę, by umieściły nazwę chemicznego słodziku Searle'a na butelkach i puszkach swoich dietetycznych napojów, uczynił z NutraSweet symbol niskokalorycznego stylu życia. W 1985 roku Monsanto wchłonął Searle i Shapiro zaczął wspinać się po kolejnych szczeblach kariery w nowej firmie. Oczywiście, kiedy został już mianowany dyrektorem wykonawczym, Pan NutraSweet musiał udowodnić, że zna więcej niż jedną sztuczkę.

W szaleństwie zakupowym w latach 1997-1998 Monsanto wykupił kilka największych

spółek nasiennych, łącznie z głównym rywalem Pioneera, Dekalbem, Shapiro bowiem postanowił uczynić z Monsanto nasienniczy Microsoft. Jednym z dokonanych z jego rekomendacji zakupów było przejście The Delta and Pine Land Company, która kontrolowała 70 procent amerykańskiego rynku nasion bawełny. Firma ta posiadała również prawa do interesującej biotechnologicznej innowacji wynalezionej w laboratorium badawczym Departamentu Rolnictwa w Lubbock w Teksasie: techniki, dzięki której zboże nie było w stanie wytwarzać płodnych nasion. Ten pomysłowy trick pozwala przestawić w ziarnach zboża kilka molekularnych włączników, zanim jeszcze zostanie ono sprzedane rolnikowi. Uprawa rozwija się prawidłowo, ale nasiona z niej pochodzące nie kiełkują. Oto prawdziwa maszynka do robienia pieniędzy w biznesie nasiennym! Farmerzy **musieliby** wracać co rok po nasiona.

Brzmi to być może jak oksymoron, ale niekiełkujące ziarno na dłuższą metę może przynieść rolnictwu wiele korzyści. Jeśli rolnicy kupują ziarno corocznie (tak jak to już robią w przypadku kukurydzy-hybrydy), udoskonalona ekonomia produkcji nasion wspiera rozwój nowych (i lepszych) odmian. Przecież zwykłe (kiełkujące) formy i tak zawsze byłyby dostępne dla tych, którzy by sobie ich życzyli.

Klienci kupowaliby odmianę niekiełkującą tylko wówczas, gdyby przewyższała pozostałe pod względem plonów (i innych istotnych cech). W skrócie, technologia „niekiełkujących ziaren”, choć zamyka przed farmerami jedną możliwość, otwiera nowe, coraz doskonalsze.

Dla Monsanto był to jednak początek katastrofy. Zieloni nazwali nowy wynalazek „genem-terminatorem”. Malowali wizję sponiewieranego rolnika z Trzeciego Świata, od wieków polegającego na ostatnich zbiorach, dzięki którym będzie miał ziarno, by obsiać pole w kolejnym roku. Odkrywając ze zgrozą, że jego stare ziarna są bezużyteczne, nie ma innego wyjścia, niż tylko udać się do chciwej ponadnarodowej korporacji, by niczym Oliver Twist, poniżając się, błagać o jeszcze. Monsanto się wycofał, upokorzony Shapiro publicznie zdystansował się do nowej technologii, a „gen-terminator” pozostaje niewykorzystywany po dziś dzień. Firma poniosła klęskę, a jedynym skutkiem odkrycia było położenie pod koniec lat 90. XX wieku kresu wybujałym ambicjom Monsanto.

Jak mieliśmy okazję przekonać się w poprzednim rozdziale, gdy pisałem o bydlęcym hormonie wzrostu, wrogość w stosunku do żywności modyfikowanej genetycznie napędzali zawodowi „stróż moralności” pokroju [Jeremiego Rifkina](#).

Jego brytyjski odpowiednik, lord Peter Melchett, był równie przekonujący - aż do chwili wystąpienia z Greenpeace i przejścia na usługi firmy *public relations* współpracującej swojego czasu z Monsanto; stracił wówczas wiarygodność jako „zielony aktywista”. Rifkin, syn zawdzięczającego wszystko samemu sobie wytwórcy plastikowych reklamówek z Chicago, może i działa w innym stylu niż Melchett, pochodzący ze świetnego rodu wychowanek Eton, ale obaj wyznają tę samą spiskową teorię: wizję Stanów Zjednoczonych jako olbrzymiego potwora niszczącego bezbronnych, niewinnych ludzi.

Akceptacji dla modyfikowanej genetycznie żywności nie sprzyjały też biurokracja i polityczne tchórzostwo połączone z naukową niekompetencją skazanych na konfrontację z nowymi technologiami amerykańskich agencji rządowych - Food and Drug Administration (FDA; zajmująca się dopuszczaniem do obrotu leków i produktów żywnościowych) i Environmental Protection Agency (EPA; zajmująca się ochroną środowiska). Roger Beachy, odkrywca zjawiska interferencji, które uratowało hawajskich plantatorów papai od ruiny, tak wspomina reakcję EPA:

„W swojej naiwności myślałem, że stworzenie roślin odpornych na wirusy w celu ograniczenia użycia środków owadobójczych zostanie przyjęte jako krok w pożądanym kierunku. Jednakże opinia EPA brzmiała mniej więcej tak: 'jeśli zastosowany zostaje gen, który chroni roślinę przed szkodliwym wirusem, to taki gen należy uważać za pestycyd'. W ten oto sposób EPA zaklasyfikowała genetycznie modyfikowane rośliny jako nośniki pestycydów. Z tej historii wprost wynika, że rozwój nauk genetycznych i biotechnologii po prostu zaskoczył agencje federalne. Nie posiadały one odpowiednich kwalifikacji ani nie miały dostatecznej wiedzy, by rozstrzygać o losie nowych odmian roślin uprawnych, nie dysponowały też informacjami wystarczającymi do określenia wpływu transgenicznych upraw na środowisko.”

Jako jeszcze bardziej rażący przykład rządowej niekompetencji przytoczyć można sprawę znaną jako casus Starlink. Starlink, odmiana kukurydzy Bt stworzona w międzynarodowym europejskim koncernie Aventis, spowodowała wielki rwetes w EPA, kiedy odkryto, że w przeciwieństwie do innych białek Bt jej białko nie ulega od razu degradacji w kwasowym środowisku, takim jak ludzki żołądek. W zasadzie konsumpcja kukurydzy Starlink **mogłaby** zatem powodować reakcję alergiczną, choć dowodów na to nigdy nie znaleziono. EPA się

wahała. Ostatecznie zdecydowała się dać zgodę na wykorzystanie tej odmiany w charakterze paszy dla bydła, ale nie do konsumpcji przez człowieka. Tak więc w myśl wprowadzonej przez EPA zasady: „zero tolerancji”, obecność pojedynczego ziarna odmiany Starlink w produkcie żywnościowym oznaczała nielegalne zanieczyszczenie. Farmerzy jednak hodowali kukurydzę Starlink i zwykłą odmianę obok siebie i cały zbiór w sposób nieunikniony ulegał zanieczyszczeniu: wystarczyła nawet pojedyncza roślina Starlink, która przypadkowo trafiła do zbiorów z pól zwykłej kukurydzy. Nic dziwnego zatem, że Starlink zaczął się pojawiać w produktach żywnościowych. Ilości były co prawda znikome, ale testy genetyczne mające wytropić jego obecność były nader czułe. I dlatego właśnie pod koniec września 2000 roku Kraft Foods została zmuszona do rozpoczęcia masowej akcji wykupu popularnych kanapek, które wyprodukowano z chleba upieczonego z mąki zawierającej śladowe ilości Starlink, a tydzień później Aventis uruchomił program odkupywania nasion Starlink od rolników, którzy je wcześniej nabyli. Szacuje się, że koszt tych przedsięwzięć przekroczył sto milionów dolarów.

Winę za to bezsensowne zamieszanie ponosi jedynie nadgorliwa i irracjonalna polityka EPA. Zezwolenie na hodowlę kukurydzy w jednym celu (dla zwierząt) i zakaz w innym (dla człowieka), a potem żądanie absolutnie czystej żywności jest, co widać jak na dłoni, po prostu absurdalne. Spójrzmy prawdzie w oczy: jeśli mamy rozumieć „zanieczyszczenie” jako obecność pojedynczej cząsteczki obcej substancji, wówczas każdy kęs naszego jedzenia jest zanieczyszczony!

Ołowiem, DDT, toksynami bakteryjnymi i całym mnóstwem innych paskudztw.

Z punktu widzenia zdrowia publicznego liczy się poziom stężenia tych substancji, od niegroźnego po śmiertelny. Rozsądnym wymogiem mógłby być nakaz etykietowania czegoś jako zanieczyszczonego dopiero w przypadku zdobycia dowodu na rzeczywiście szkodliwe dla zdrowia działanie. Tymczasem nie ma nawet śladu dowodu, by odmiana Starlink komuś zaszkodziła, choćby laboratoryjnemu szczurowi. Jedynym pozytywnym rezultatem tego całego żalostnego epizodu była zmiana polityki EPA, znosząca „rozdzielne” pozwolenia: produkt rolniczy jest od tej pory dopuszczalny albo do wszystkich zastosowań żywieniowych, albo do żadnego.

Nie jest przypadkiem, że lobby przeciwników genetycznie zmodyfikowanej żywności jest najbardziej aktywne w Europie. Europejczycy, a zwłaszcza Brytyjczycy, mają złe doświadczenia, z tym, co trafia do ich żywności, jak i z tym, co się im na ten temat mówi.

W roku 1984 pewien rolnik z południowej Anglii zauważył, że jedna z jego krów dziwnie się zachowuje; w ciągu kolejnych dziewięciu lat w Wielkiej Brytanii sto tysięcy sztuk bydła padło na nową chorobę, gąbczaste zwyrodnienie mózgu (BSE), powszechnie znane jako choroba szalonych krów. Kolejni ministrowie przez lata wychodzili ze skóry, by zapewnić obywateli, że choroba, prawdopodobnie przywleczona w paszy uzyskanej z resztek zabitych zwierząt, nie przechodzi na ludzi. Tymczasem do lutego 2002 roku 106 Brytyjczyków padło ofiarą jej ludzkiej odmiany. Zarazili się, jedząc mięso zakażone BSE.

Niepewność i nieufność wywołane przez BSE przeniosły się na dyskusje dotyczące modyfikowanej genetycznie żywności, którą brytyjska prasa ochrzciła mianem „Frankenfoods”. Jak głosił opublikowany w kwietniu 1997 roku manifest grupy „Friends of the Earth” („Przyjaciele Ziemi”): „Można by pomyśleć, że po BSE przemysł spożywczy porządnie się zastanowi, zanim zacznie pchać ludziom w gardła Tukryteł składniki”. A to właśnie Monsanto miał zamiar zrobić w Europie. Zarząd korporacji, pewien, że kampanie przeciwko żywności modyfikowanej genetycznie nie mogą trwać wiecznie, naciskał na realizację swoich planów wprowadzenia produktów GM na europejskie półki sklepowe. Miało się to okazać poważnym błędem: w 1998 roku wściekłość klientów sięgnęła szczytu.

Dziennikarze brukowych pisemek przeżywali wielkie dni: „Produkty GM igrają z naturą: jeśli jedynym efektem ubocznym jest rak, będziemy szczęściarzami”, „Zadziwiające oszustwo giganta żywności GM”, „Rośliny-mutanty”. Nieśmiała obrona ze strony premiera Tony'ego Blaira tylko zaogniła pogardę dziennikarzy: „The Prime Monster; furia konsumentów po słowach Blaira: jem Żywność Frankensteinał, jest bezpieczna”. W marcu 1999 roku brytyjska sieć supermarketów Marks & Spencer ogłosiła, że nie będzie sprzedawała produktów GM i europejskie biotechnologiczne marzenia Monsanto znalazły się w poważnym niebezpieczeństwie. Jak można było przewidzieć, inni detaliści podjęli podobne działania: opłacało się zademonstrować troskę o konsumenta, a z pewnością nie miało sensu się wychylać, wspierając nielubiany amerykański koncern.

Mniej więcej w tym samym czasie, kiedy w Europie trwała zawierucha wokół „żywności

Frankensteina", na froncie amerykańskim rozeszły się wieści o genie-terminatorze i dążeniach Monsanto do zdominowania światowego rynku nasiennego. Próby obrony koncernu przed atakami zielonych utrudniała jego własna przeszłość. Rozwinąwszy interes jako producent pestycydów, Monsanto nie palił się do przyznania, że chemikalia mogą stanowić zagrożenie dla środowiska.

A jedną z największych zalet zarówno Roundup Ready, jak i technologii Bt, jest właśnie ograniczenie użycia środków roślinobójczych i owadobójczych.

Od lat 50. oficjalne stanowisko przemysłu przedstawiało się następująco: właściwe użycie odpowiednich pestycydów nie przynosi szkody ani środowisku, ani stosującemu je farmerowi: Monsanto wciąż nie chciał przyznać, że Carson przez cały czas miała rację. Nie będąc w stanie zarazem potępić pestycydów i ich sprzedawców, firma nie mogła wykorzystać jednego z najbardziej przekonujących argumentów w obronie zastosowania biotechnologii w rolnictwie.

Monsanto nigdy nie udało się odwrócić tego niefortunnego biegu wydarzeń. W kwietniu 2000 roku doszło do fuzji, jednak partner, farmaceutyczny potentat Pharmacia & Upjohn, zainteresowany był przede wszystkim zdobyciem działu leków — Searle. Dział rolniczy, który później znowu się usamodzielniał, do dziś funkcjonuje pod szyldem Monsanto. Ale okres chwały, świetności i ekspansji przeminął.

Debata na temat modyfikowanej genetycznie żywności połączyła dwie różne kwestie. Pierwsza sprowadza się do pytań natury naukowej: czy produkty GM powodują zagrożenie dla naszego zdrowia lub środowiska? Druga dotyczy kwestii o charakterze ekonomicznym i politycznym i skupia się wokół praktyk agresywnych ponadnarodowych koncernów oraz efektów globalizacji.

Wiele wątpliwości narosło wokół agrobiznesu, zwłaszcza wokół działalności firm takich jak Monsanto. W latach 90. wydawało się, że korporacja ta postrzega swoją technologię jako coś więcej niż sposób na zdominowanie światowych rynków żywności, być może rzeczywiście zarządowi marzyła się pozycja Microsoftu przemysłu spożywczego. Jednak dziś już ten problem stał się w dużej mierze nieaktualny. Raczej mało prawdopodobne, by jakiś inny koncern, wiedząc, jak wiele ryzykuje, wkroczyła na podobne pole minowe. Sensowna ocena żywności GM powinna opierać się zatem na przesłankach naukowych, a nie politycznych czy ekonomicznych. Przyjrzyjmy się więc może na chłodno kilku powszechnie podzielanym przekonaniom. Oto, co wciąż opowiada się o genetycznie modyfikowanej żywności:

Nie jest naturalna. Prawie żadna istota ludzka, no, może z wyjątkiem prawdziwych łowców-zbieraczy, nie je ściśle „naturalnego” pożywienia. Książę Karol, kiedy w 1998 roku wygłosił swoją osławioną opinię, że „ten rodzaj modyfikacji genetycznej przenosi rodzaj ludzki w królestwo zastrzeżone dla Boga”, przeoczył fakt, że nasi przodkowie już od wieków w owym królestwie majstrowali.

Pierwsi hodowcy roślin często krzyżowali różne gatunki, doprowadzając do powstania całkowicie nowych, nieposiadających bezpośrednich odpowiedników w naturze. Pszenica na przykład jest produktem całej serii krzyżówek. Każdy z obecnie uprawianych 18 gatunków rodzaju *Triticum* (łacińska nazwa pszenicy) powstał przez krzyżowanie kilku odmian pszenicy z różnymi innymi trawami. Nasza pszenica jest zatem kombinacją cech wszystkich tych roślin-przodków, jakiej natura prawdopodobnie nigdy by nie zaprojektowała.

Co więcej, krzyżowanie roślin w powyższy sposób sprawia, że pojawia się cały szereg genetycznych zmian, które mogą objąć każdy gen, a skutki są zazwyczaj nieprzewidywalne. Biotechnologia przeciwnie — pozwala nam na o wiele większą dokładność przy prowadzeniu nowego materiału genetycznego do rośliny.

Na tym polega różnica pomiędzy genetycznym młotem tradycyjnego rolnictwa a genetyczną pęsetą biotechnologii.

Jej skutkiem będą alergeny i toksyny w naszym jedzeniu. I znowu, wielką zaletą dzisiejszych technologii transgenicznych jest precyzja, z jaką pozwalają nam określić, w jaki sposób zmieniamy roślinę. Świadomi, że pewne substancje mają tendencję do wywoływania reakcji alergicznych, możemy ich po prostu unikać. Tego rodzaju niepokój jest jednak wciąż dość powszechny. U jego źródeł leży między innymi szeroko kolportowana opowieść o konsekwencjach dodawania do soi białka orzecha brazylijskiego. Tymczasem w rzeczywistości było to dobrze przemyślane przedsięwzięcie: w diecie mieszkańców Afryki Zachodniej często brakuje metioniny, aminokwasu obficie występującego w białku wytwarzanym przez brazylijskie orzechy. Rozsądny zatem wydawał się pomysł, by wstawić gen kodujący to białko do soi. Komuś jednak na szczęście przypomniało się, że orzechy brazylijskie nierzadko wywołują dość groźne reakcje alergiczne. Projekt odłożono więc na półkę. Rzecz jasna,

naukowcy nie dążyli do stworzenia nowego pokarmu, który niechybnie skazywał tysiące ludzi na wstrząs anafilaktyczny. Dla większości komentatorów był to jednak znakomity przykład na to, że inżynierowie molekularni igrają z ogniem, niepomni na konsekwencje swych działań. Tymczasem inżynieria genetyczna jest w stanie **ograniczyć** obecność alergenów w pożywieniu i może wkrótce sam orzech brazylijski będzie wolny od białka, które uznano za zbyt niebezpieczne, by przenieść je do soi.

Działa na ślepo i będzie przynosić szkodę nieszkodliwym gatunkom. W pewnym głośnym do dziś badaniu z 1999 roku wykazano, że gąsienice motyla monarcha, które żywiły się liśćmi pokrytymi pyłkiem kukurydzy Bt, umierały. Nie było w tym nic dziwnego: pyłek Bt zawiera gen Bt, a w takim razie także toksynę Bt, która przecież celowo miała być śmiertelna dla owadów. A ponieważ wszyscy uwielbiają motyle, obrońcy środowiska, z definicji wrody żywności GM, zdobyli wspaniały symbol. Czy biedny motyl ma być pierwszą z rozlicznych niezamierzonych ofiar technologii GM? — pytali. Późniejsze badania wykazały, że warunki eksperymentalne, w których badano gąsienice, były tak ekstremalne — stężenie Bt tak wysokie — że same doświadczenia nie miały właściwie żadnej wartości prognostycznej: nie mówiły praktycznie nic o prawdziwej śmiertelności w naturalnych populacjach gąsienic. Kolejne doświadczenia wykazały wręcz, że wpływ roślin Bt na motyle (oraz inne owady, które jako nieszkodniki nie są jego celem) jest nieistotny. Nawet jednak gdyby był większy, należałoby zadać sobie pytanie, jakie są konsekwencje stosowania Bt w porównaniu z metodami tradycyjnymi: pestycydami. Jak zdążyliśmy się już przekonać, w przypadku odstąpienia od metod inżynierii genetycznej, substancje te trzeba stosować w sporych ilościach, jeśli rolnictwo ma zaspokoić potrzeby współczesnego społeczeństwa. Podczas gdy toksyny wbudowane w rośliny Bt oddziałują tylko na owady faktycznie odżywiające się tkanką roślinną, pestycydy w jawny sposób trują wszystkie owady wystawione na ich działanie: szkodniki i nieszkodniki. Sądzę, że jeśli zaprosilibyśmy monarcha do udziału w debacie, z pewnością optowałby za kukurydzą Bt.

Doprowadzi do załamania równowagi ekologicznej i zapaści środowiskowej spowodowanej narodzinami „superchwastów”. Obawa dotyczy możliwości migracji genów dających odporność na środki roślinobójcze (takich, jakie znajdują się na przykład w roślinach Roundup Ready) do populacji chwastów - dzięki zjawisku tzw. hybrydyzacji międzygatunkowej. Choć można sobie to jakoś wyobrazić, mało prawdopodobne, by takie coś zaszło na szeroką skalę, a to dlatego, że hybrydy międzygatunkowe bywają zwykle delikatnymi tworami i mają niezbyt duże szanse na przetrwanie. Dotyczy to zwłaszcza sytuacji, kiedy jeden z gatunków jest odmianą udomowioną, która rozwija się tylko pod czułą opieką rolnika. Przypuśćmy jednak, dla dobra dyskusji, że gen odporności w istocie wkracza w populację chwastów i dobrze mu się tam powodzi. Nie byłby to bynajmniej koniec świata, ani nawet rolnictwa, raczej przypadek czegoś, co dość często zdarzało się w historii upraw: odporności rozwijającej się u szkodnika w odpowiedzi na próby zlikwidowania go. Najstraszniejszym tego przykładem jest ewolucja odporności na DDT u owadów. Zastosowanie pestycydów wywarło silny wpływ na dobór naturalny kształtujący odporność pewnych gatunków; ewolucja, jak wiemy, jest siłą działającą subtelnie, acz zdecydowanie, odporność zaś pojawia się bardzo szybko. W rezultacie naukowcy muszą wracać do swoich laboratoriów i wymyślać nowy pestycyd lub środek roślinobójczy, taki, którego dany gatunek jeszcze nie zna; potem cały cykl ewolucyjny powtarza się — aż do następnej kulminacji, czyli wyłonienia się u tępionego gatunku odporności na nową „trutkę”. Ewolucja odporności z definicji skazuje na niepowodzenie każdą opartą na dotychczasowych zasadach próbę kontroli populacji szkodników; w żadnym razie nie jest to zagrożenie specyficzne dla strategii GM. To po prostu gong, oznajmiający początek kolejnej rundy i wzywający ludzką pomysłowość do tworzenia nowych wynalazków.

Suman Sahai z Gene Campaign z New Delhi ma sporo do powiedzenia na temat wpływu międzynarodowych korporacji na rolnictwo w krajach takich jak Indie, jednak dostrzega też, że kontrowersje wokół żywności GM występują zwykle w społeczeństwach, dla których jedzenie nie jest sprawą życia i śmierci.

W Indiach, gdzie, jak podkreśla Sahai, ludzie naprawdę umierają z głodu, około 60 procent owoców z regionów górzystych gnije, zanim trafi na rynek. Nietrudno sobie wyobrazić, ile dobra mogłaby przynieść technologia opóźniająca dojrzewanie, taka jak ta zastosowana w pomidorze Flavr-Savr. Najważniejszym zadaniem stojącym przed inżynierią genetyczną jest być może niesienie ratunku w regionach zacofanych, gdzie rosnący przyrost naturalny i

malejąca powierzchnia upraw prowadzą do nadużywania pestycydów i środków roślinobójczych, co ma tragiczny wpływ zarówno na środowisko, jak i na korzystających z chemicznych środków ochrony roślin rolników. Na tych obszarach brak żywności jest normą, a głód zbyt często przyczyną śmierci; zniszczenie zasiewów przez szkodniki może oznaczać wyrok dla rolnika i całej jego rodziny.

Jak już wiemy, wynalezienie metod rekombinacji DNA we wczesnych latach 70. wzbudziło mnóstwo zastrzeżeń, co było widać choćby na konferencji w Asilomar.

Podobne debaty jednak nie ustają. Czasy Asilomar usprawiedliwia fakt, że stawaliśmy wobec bardzo ważnych niewiadomych: nie mogliśmy być wówczas pewni, czy manipulacje w genetycznej strukturze *E. coli*, bakterii zamieszkującej ludzki przewód pokarmowy, nie skończą się powstaniem nowych chorobotwórczych szczepów. Ale nasze poszukiwanie wiedzy i dążenie do potencjalnego dobra nie ustawało, choć nieraz jeszcze musiało się zatrzymać w obliczu przeszkód.

I obecnie niepokoję nie mijają, mimo że już dużo lepiej rozumiemy, co robimy. Podczas gdy znaczna część uczestników konferencji w Asilomar nawoływała do ostrożności, dziś trudno znaleźć naukowca konsekwentnie sprzeciwiającego się modyfikowanej genetycznie żywności. Zdając sobie sprawę z korzyści, jakie nowe technologie mogą przynieść zarówno naszemu gatunkowi, jak i środowisku naturalnemu, nawet światowej sławy obrońca środowiska E.O. Wilson wyraził swoje dla nich poparcie: „Tam, gdzie genetycznie przetworzone odmiany roślin uprawnych po starannych badaniach i ustaleniach prawnych okazują się bezpieczne jako pożywienie i niegroźne dla środowiska [...] powinny być wykorzystywane”.

Opór wobec żywności modyfikowanej genetycznie demonstruje przede wszystkim ruch społeczno-polityczny, którego argumenty, choć zapożyczone z języka nauki, z nią samą nie mają nic wspólnego. W istocie część tej „anty-GM pseudonauki” propagowanej przez media — czy to z chęci poszukiwania sensacji, czy jako objaw szczerzej troski ludzi niedoinformowanych — byłaby dość komiczna, gdyby nie świadomość, że tego typu bełkot może być całkiem skuteczną bronią w propagandowej wojnie. Rob Horsch z Monsanto zaznał przyjemności dyskusji z protestującymi:

„Pewien ekolog oskarżył mnie kiedyś podczas konferencji prasowej w Waszyngtonie o przekupywanie rolników. Spytałem, co ma na myśli. Odpowiedział, że oferując farmerom lepszy produkt w niższej cenie, sprawiamy, że im się to opłaca. Ze zdziwienia zaniemówiłem...”

Pozwolę sobie na szczerość: uważam, że czystym absurdem byłoby pozbawianie się korzyści płynących z genetycznej modyfikacji żywności za sprawą demonizacji związanych z tym zagrożeń. Co więcej, przy tak wielkim zapotrzebowaniu w krajach rozwijających się byłoby po prostu zbrodnią, gdybyśmy dali się przekonać irracjonalnym przesądom księcia Karola i innych, jemu podobnych.

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 państwa takie jak Chiny, które nie mogą sobie raczej pozwolić na uleganie nielogicznym obawom. Nastawienie Chin 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.

Gdy dziś spoglądamy wstecz, widzimy już, że zbyt często — powodowani nadmierną ostrożnością lub z lęku przed niezliczonymi niewiadomymi i nieprzewidywalnymi zagrożeniami — myliliśmy się. Jednak po niepotrzebnej i kosztownej zwłóce na nowo podjęliśmy trud wypełniania najwyższego obowiązku moralnego nauki: zdobytą wiedzę próbujemy wykorzystać dla możliwie największego dobra ludzkości. W trwającym nadal sporze między Scyllą legalizmu i Charybdą ignorancji dobrze jest stale pamiętać, jaka jest stawka: zdrowie głodujących i zachowanie naszego najcenniejszego dziedzictwa, środowiska.

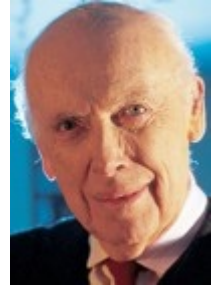
W lipcu 2000 roku przeciwnicy żywności GM zdewastowali pole eksperymentalnej kukurydzy w Cold Spring Harbor. Tak naprawdę nie było tam żadnych modyfikowanych genetycznie roślin; wandalę zdołali tylko zniszczyć dwa lata ciężkiej pracy dwóch młodych naukowców z laboratorium. Ta historia wiele nas uczy. W czasie, kiedy w pewnych częściach Europy nastała wręcz moda na niszczenie upraw GM, gdy atakuje się nawet poszukiwanie wiedzy, ci, którzy stoją w pierwszym szeregu protestujących, powinni zadać sobie pytanie, o co tak naprawdę walczą.

Przypisy:

[1] Technika nokautu genowego polega na unieczynnieniu określonego genu, a co za tym idzie na uniemożliwieniu produkcji kodowanego przezeń białka (przyp. red.)

James D. Watson

Ur. 1928. Genetyk i biochemik amerykański. W marcu 1953, mając 25 lat, wraz z F.H.C. Crickiem i Rosalind Franklin, opracował w Laboratorium Cavendisha model budowy przestrzennej podwójnej helisy DNA, za co, wraz z Crickiem i M.H.F. Wilkinsem, otrzymał Nagrodę Nobla w dziedzinie fizjologii za rok 1962. W latach 1958–1976 profesor Uniwersytetu Harvarda w Cambridge, od 1968 do przejścia na emeryturę w 2007, dyrektor Cold Spring Harbor Laboratory w Nowym Jorku. Członek m.in. Narodowej Akademii Nauk w Waszyngtonie. James Watson był jednym z pomysłodawców i został pierwszym szefem programu The Human Genome Project, który miał za zadanie zsekwencjonowanie całego genomu człowieka.



[Pokaż inne teksty autora](#)

(Publikacja: 22-03-2008 Ostatnia zmiana: 22-03-2008)

[Oryginał.](http://www.racjonalista.pl/kk.php/s,5798) (<http://www.racjonalista.pl/kk.php/s,5798>)

Contents Copyright © 2000-2008 by Mariusz Agnosiewicz

Programming Copyright © 2001-2008 Michał Przech

Autorem tej witryny jest Michał Przech, zwany niżej Autorem.

Właścicielem witryny są Mariusz Agnosiewicz oraz Autor.

Żadna część niniejszych opracowań nie może być wykorzystywana w celach komercyjnych, bez uprzedniej pisemnej zgody Właściciela, który zastrzega sobie niniejszym wszelkie prawa, przewidziane

w przepisach szczególnych, oraz zgodnie z prawem cywilnym i handlowym, w szczególności z tytułu praw autorskich, wynalazczych, znaków towarowych do tej witryny i jakiegokolwiek ich części.

Wszystkie strony tego serwisu, wliczając w to strukturę podkatalogów, skrypty JavaScript oraz inne programy komputerowe, zostały wytworzone i są administrowane przez Autora. Stanowią one wyłączną własność Właściciela. Właściciel zastrzega sobie prawo do okresowych modyfikacji zawartości tej witryny oraz opisu niniejszych Praw Autorskich bez uprzedniego powiadomienia. Jeżeli nie akceptujesz tej polityki możesz nie odwiedzać tej witryny i nie korzystać z jej zasobów.

Informacje zawarte na tej witrynie przeznaczone są do użytku prywatnego osób odwiedzających te strony. Można je pobierać, drukować i przeglądać jedynie w celach informacyjnych, bez czerpania z tego tytułu korzyści finansowych lub pobierania wynagrodzenia w dowolnej formie. Modyfikacja zawartości stron oraz skryptów jest zabroniona. Niniejszym udziela się zgody na swobodne kopiowanie dokumentów serwisu Racjonalista.pl tak w formie elektronicznej, jak i drukowanej, w celach innych niż handlowe, z zachowaniem tej informacji.

Plik PDF, który czytasz, może być rozpowszechniany jedynie w formie oryginalnej, w jakiej występuje na witrynie. **Plik ten nie może być traktowany jako oficjalna lub oryginalna wersja tekstu, jaki zawiera.**

Treść tego zapisu stosuje się do wersji zarówno polsko jak i angielskojęzycznych
Racjonalista.pl

Strona 15 z 16

serwisu pod domenami Racjonalista.pl, TheRationalist.eu.org oraz Neutrum.eu.org.

Wszelkie pytania prosimy kierować do redakcja@racjonalista.pl