

GENETYCZNE

Pszczoły miodne
– jedyny gatunek
hodowany
na masową skalę
na świecie

Zanieczyszczenia genetyczne w dobie światowego kryzysu klimatycznego to miecz obosieczny – stwarzają nie tylko nowe możliwości, lecz także ryzyko globalnej katastrofy.



ZAMIESZANIE



dr Weronika B. Żukowska

Pracuje w Zakładzie Genetyki i Interakcji Środowiskowych Instytutu Dendrologii PAN. Zajmuje się szeroko pojętą genetyką gatunków drzewiastych, a w szczególności wpływem działalności człowieka na rodzime pule genowe. Interesuje się hybrydyzacją i selekcją genomową.

wzukowska@man.poznan.pl

Weronika B. Żukowska

Instytut Dendrologii Polskiej Akademii Nauk
w Kórniku

Ozanieczyszczeniu genetycznym mówimy, gdy dochodzi do niekontrolowanego wymieszania pul genowych. W wąskim znaczeniu dotyczy ono przeniesienia genów z organizmów modyfikowanych genetycznie (GMO) do organizmów występujących naturalnie. W szerszym rozumieniu zanieczyszczenia genetyczne obejmują również przypadki wymieszania genów osobników udomowionych bądź hodowlanych z genami osobników dziko żyjących, a także taksonów wprowadzonych przez człowieka z taksonami występującymi naturalnie. Termin „zanieczyszczenie” nie jest jednak do końca trafiony, ponieważ skutki wymieszania pul genowych mogą być zarówno negatywne, jak i pozytywne. To właśnie ich nieprzewidywalność, zwłaszcza w dłuższej perspektywie, budzi największe obawy.

Nieustające kontrowersje

Określenie „zanieczyszczenie genetyczne” w odniesieniu do GMO zostało upowszechnione w efekcie publikacji brytyjskiego pisarza Paula Hatchwella z 1989 roku, w której autor ocenia ryzyko uwolnienia GMO do środowiska, przyrównując to uwolnienie do otwarcia puszk Pandory. Budzące groźbę trucizny, pestycydy, dodatki do żywności czy leków mają w rzeczywistości ograniczony czas działania i rozprzestrzeniania. Z kolei geny są zawarte w żywych organizmach, które rozmnażając się, pozostają poza dalszą kontrolą. Należy jednak wyraźnie oddzielić samo tworzenie nowych kombinacji genów od uwolnienia GMO do środowiska.

Obawy dotyczące możliwości krzyżowania odmian zmodyfikowanych genetycznie z ich dzikimi odpowiednikami są uzasadnione zwłaszcza w odniesieniu do soi czy kukurydzy, które zdominowały rynek w krajach takich jak USA czy Brazylia. Skutki uwolnienia GMO do środowiska mogą być wielorakie. Myli się bowiem ten, kto myśli, że modyfikacje roślin uprawnych mają na celu przede wszystkim zwiększenie ich plonu. Intensyfikacja produkcji jest celem raczej w przypadku gatunków drzewiastych



PIKABAY

Kukurydza jest przykładem gatunku hodowanego przez człowieka, którego dziki odpowiednik najprawdopodobniej już nie istnieje w naturze



CELINE SEA

– topól i eukaliptusów. Modyfikacje genetyczne zbóż i roślin strączkowych dotyczą w głównej mierze nabycia odporności na szkodniki i patogeny bądź zwiększenia tolerancji na środki ochrony roślin. Jeśli zatem GMO uwolnione do środowiska znajdą korzystne warunki do przetrwania i rozmnażania, mogą uzyskać selektywną przewagę nad dzikimi gatunkami i odmianami.

Potencjalne negatywne efekty krzyżowania GMO z organizmami występującymi naturalnie mogą być katastrofalne. Wśród nich można wymienić uodpornienie chwastów na środki ochrony roślin czy też ewolucję szkodników i patogenów. W skrajnych przypadkach wprowadzenie GMO może być przyczyną wymarcia lokalnych odmian uprawnych, a także ich dzikich odpowiedników oraz organizmów od nich

zależnych. W ten sposób zagrożenie z genetycznego poziomu bioróżnorodności zostaje przeniesione na wyższy poziom – gatunkowy. Liczba potencjalnych interakcji między gatunkiem zmodyfikowanym genetycznie a innymi gatunkami i pozostałymi elementami ekosystemu jest tak duża, że przewidzenie skutków dla całego środowiska staje się niemożliwe. Zwolennicy i przeciwnicy GMO mieli spotkać się w pół drogi dzięki technologii usuwającej obce geny z pyłku i nasion (*GM-gene-deletor*) opracowanej w 2007 roku. Jednak obecnie ta technologia nadal wymaga potwierdzenia swojej skuteczności w testach polowych.

Introdukcja

Zwykle z dobrą intencją, ale z opłakanym skutkiem – historia zna wiele przypadków, w których człowiek przyczynił się do zachwiania równowagi ekosystemu, wprowadzając do niego nowe gatunki bądź taksony niższego rzędu. Takie wprowadzenie nazywamy introdukcją. Niektórzy autorzy rozróżniają introdukcję jako celowe działanie od zawlekania, które jest przypadkowe. Inni używają odpowiednio pojęć introdukcji celowej i przypadkowej.

Introdukcja zwykle ma negatywne skutki, ponieważ wprowadzone taksony często nie mają w nowym środowisku naturalnych wrogów. W efekcie dochodzi do nadmiernego wzrostu ich liczebności. Ustalo-

Opakowanie żywności reklamujące, że produkt został wyprodukowany z polskiej kukurydzy i jest wolny od GMO



WERONIKA B. ŻUKOWSKA

na równowaga drapieżnik – ofiara zostaje zachwiana. Klasyczny przykład stanowią kozy, które sprowadzone na Guadalupe ogółociły wyspę z trawy, a także króliki w Australii. Z genetycznego punktu widzenia interesuje nas jednak zjawisko hybrydyzacji, czyli krzyżowania, w momencie, kiedy dochodzi do introdukcji taksonu na teren, na którym występują taksony blisko z nim spokrewnione. Istniejąca do tej pory bariera rozrodcza w postaci izolacji geograficznej zostaje przełamana. Jeśli mieszańce są płodne i preferowane przez dobór naturalny, wypieranie rodzimego taksonu na zasadzie konkurencji zostaje dodatkowo wzmocnione przez introgresję, czyli stopniowe włączanie obcych genów do puli genowej taksonu rodzimego w wyniku kolejnych krzyżowań wstecznych. W efekcie może dojść do szybkiego wyeliminowania genotypów rodzimych nawet przy początkowo niewielkiej liczebności taksonu introdukowanego.

Zjawisko introgresji jest zdecydowanie częściej i lepiej opisane wśród roślin niż zwierząt. Sztandarowym przykładem jest rodzaj *Helianthus* (słoneczniki). Jego naturalny zasięg obejmuje Amerykę Północną, jednak obecnie słoneczniki spotkamy w większości miejsc na świecie. Badania nad słonecznikami były prowadzone już w latach 40. ubiegłego wieku przez amerykańskiego botanika Charlesa Bixlera Heisera, który zaobserwował, że wiele gatunków może się krzyżować. Powstałe mieszańce co prawda wykazują bardzo niską płodność, jednak udowodniono, że krzyżówki wsteczne mogą prowadzić do utworzenia form inwazyjnych. Rozpowszechnianie roślin uprawnych i ozdobnych jest uważane obecnie za podstawową przyczynę ogólnoswiatowej inwazji. Ograniczenie konkurencji ze strony innych roślin w gospodarstwach i ogrodach pozwala im przetrwać nawet w niesprzyjających warunkach klimatycznych.

Odpowiednio przeprowadzona introdukcja umożliwia uzyskanie odmian roślin i ras zwierząt o pożądanym bądź nowych cechach. W przedsiębiorstwach hodowlanych często jednak brakuje zarówno zaplecza technicznego, jak i odpowiednio wykwalifikowanej kadry. Badania nad kontrolowaną introdukcją są trudne do przeprowadzenia i słabo finansowane. Jednocześnie postęp hodowlany jest niewielki i powolny. Jednak ze względu na wyższe koszty oraz dylematy etyczne i problemy natury prawnej wykorzystanie narzędzi inżynierii genetycznej nadal ustępuje tradycyjnym metodom hodowli.

Introdukcja bywa także wykorzystywana jako tzw. ratunek genetyczny (*genetic rescue*) w przypadku małych, izolowanych populacji, które są narażone na wyginięcie. Strategia celowego zanieczyszczenia ich puli genowej jest realizowana przede wszystkim przez introdukcję osobników mających odmienną pulę genową. Ich liczba nie może być jednak zbyt wysoka, ponieważ wymieszanie pul genowych populacji wywodzących się z obszarów o różnych

optimach środowiskowych często prowadzi do tzw. depresji outbredowej, czyli zmniejszenia dostosowania mieszańców.

Geny udomowione

Uprawiając rośliny, człowiek uzyskał tysiące odmian. Spośród nich wiele znacząco różni się od swoich pierwotnych form. Skutkiem selekcji jest znaczne ograniczenie zmienności genetycznej gatunków uprawnych. Szacuje się, że wyginęło około 90 proc. odmian kukurydzy, pszenicy i grochu. Ostatnie stulecie doprowadziło do wymarcia około 50 proc. ras zwierząt hodowlanych, a wiele z nich jest obecnie rzadkich lub znikających. W przypadku niektórych gatunków próżno szukać ich dzikich odpowiedników. Przykładem takiej rośliny jest kukurydza zwyczajna, której intensywna uprawa zaczęła się już w starożytności w kulturach Majów i Azteków.

Tysiące lat udomawiania co prawda zmieniło genom roślin uprawnych, jednak nadal pozostają one na tyle blisko spokrewnione ze swoimi dzikimi odpowiednikami, że mogą się z nimi krzyżować. Mogłoby się wydawać, że dzikie rośliny mogą na tym tylko zy-



PIXABAY

skać, przejmując korzystne cechy odmian uprawnych. Dzikie odmiany są jednak odporniejsze na choroby czy szkodniki, a także na stropy abiotyczne, takie jak susza czy zasolenie. Przez krzyżowanie z odmianami uprawnymi ta naturalna odporność może ulec znacznemu obniżeniu. W rzeczywistości zatem bilans zysków i strat może być ujemny. W związku z powyższym obecnie kładzie się duży nacisk na ochronę zasobów genowych dzikich odmian roślin uprawnych, a ich nasiona są gromadzone w bankach genów na całym świecie.

Interesującym przykładem zanieczyszczeń genetycznych wśród fauny jest pszczoła miodna – jedyny gatunek pszczół spośród około 20 tys. hodowany na masową skalę. W jego obrębie można wyróżnić kilka linii ewolucyjnych, które krzyżują się między sobą.

Podwójna nić DNA

ACADĒMIA PANORAMA Genetyka

Zbiorniki kriogeniczne w Leśnym Banku Genów „Kostrzyca”, służące zachowaniu naturalnej różnorodności genetycznej



MONIKA LITKOWIEC

Badania genetyczne wskazują jednak na to, że istnieją ograniczenia w przepływie genów, a krzyżowanie odbywa się raczej w ramach poszczególnych podgatunków. Dotychczas jednak nie stwierdzono jednoznacznie, jaka jest przyczyna istniejących barier rozrodczych. W wielu krajach, w tym w Polsce, rodzime pszczoły zostały przynajmniej częściowo zastąpione przez pszczoły introdukowane. Zanik rodzimych pul genowych jest niepokojący ze względu na to, że importowane populacje pochodzą z miejsc o innych warunkach klimatycznych, w związku z czym często mają trudności z adaptacją w nowym miejscu. Wzrasta także ryzyko wspomnianej wcześniej depresji outbredowej. Ochrona zasobów genowych zwierząt jest zdecydowanie trudniejsza ze względu na ograniczone możliwości kontroli kojarzeń.

Przystosowania do zmian klimatu

Czy w obliczu zmian klimatu „czyste” genotypy, które wyewoluowały na drodze wielu pokoleń selekcji naturalnej, nadal stanowią wartość samą w sobie? Na to pytanie nie ma dobrej odpowiedzi. Z jednej strony widzimy zagrożenia związane z utratą tych naturalnie przystosowanych genotypów, z drugiej uważa się chociażby, że uprawy GMO mogą znacznie spowolnić zmiany klimatu przez ograniczenie emisji gazów cieplarnianych oraz zmianę użytkowania gruntów. W czasach katastrofy ekologicznej konwencjonalne rolnictwo nie jest w stanie zaspokoić potrzeb rosnącej populacji ludzkiej, aczkolwiek każdy z nas ma świadomość tego, jak wiele żywności marnujemy.

Prognozuje się, że w wyniku zmian klimatu zmieni się zasięgi wielu gatunków, co może spowodować utworzenie nowych stref hybrydyzacji międzygatunkowej. O ile w przypadku części taksonów będą one zagrożeniem dla ich zasobów genowych, o tyle stanowią także unikatową szansę na ewolucję nowych taksonów, które lepiej poradzą sobie w zmienionych warunkach klimatycznych. Problemem może jednak okazać się ich zwiększony potencjał inwazyjności. Brakuje wyczerpujących badań zgłębiających tę kwestię, a sama ocena, kontrola i zapobieganie inwazji są niezwykle trudne i skomplikowane. W pierwszym etapie typowania taksonów potencjalnie inwazyjnych można wykorzystać modelowanie nisz ekologicznych, najlepiej wsparte danymi genetycznymi. Potencjał inwazyjności zależy jednak od wielu czynników, takich jak zdolność rozprzestrzeniania się czy efektywnego konkurencyjności o zasoby. Z tego względu nawet najbardziej złożone modele mogą okazać się zawodne.

Zanieczyszczenia genetyczne będą uzasadnione kontrowersje przede wszystkim w przypadku GMO w produkcji żywności. Mniejszy opór stanowią modyfikacje genetyczne w przemyśle i farmakologii. Strach przed konsekwencjami zanieczyszczeń genetycznych w dalszym ciągu wygrywa z rzetelnymi badaniami naukowymi. Z kolei wyniki badań naukowych, nawet jeśli przełomowe, stają w kolejce po zmiany zapisów prawnych. Geny żyją niejako własnym życiem i brak możliwości ich kontroli stanowi naszą największą obawę. Tymczasem matka natura pewnie znajdzie sposób na wyjście z sytuacji bez ingerencji człowieka, nie dbając zbytnio o przetrwanie gatunku ludzkiego. ■

Chcesz wiedzieć więcej?

Kovak E., Blaustein-Rejto D., Qaim M., *Genetically modified crops support climate change mitigation*, „Trends in Plant Science” 2022.

Lewandowski A., Chmura D., Wójkiewicz B., Żukowska W.B., *Hodowla lasu w zmieniającym się klimacie*, „Academia” 2019.

Żukowska W.B., *Hybrydyzacja drzew leśnych*, „Las Polski” 2022.

Żukowska W.B., Pers-Kamczyc E., *Różnorodność genetyczna jako podstawa bioróżnorodności*, „Magazyn Drzewo Franciszka” 2022.