

Ocena zagrożeń powodowanych przez rośliny genetycznie zmodyfikowane

Rośliny genetycznie zmodyfikowane (ang. *genetically modified plant*, rośliny GM) mają zasadnicze znaczenie dla rozwoju biogospodarki jako podstawowe składniki żywności, pasz, bioenergetyki i biomateriałów. Ze względu na tak duże znaczenie oraz powszechność naszego kontaktu z roślinami GM jest to zarówno temat stałych polemik naukowców, codziennych rozmów obywateli, jak i dyskusji polityków. Biomateriały to np. odzież i bielizna, pasze są przetwarzane na mięso, bioenergetyka to biopaliwa, a żywność codziennie przez nas konsumowana zawiera np. izolaty białkowe z soi GM i kukurydzy GM. W szerokiej dyskusji o ewentualnych zagrożeniach, które mogą być powodowane przez rośliny GM, uczestniczymy my wszyscy, aczkolwiek często z różnych pozycji: konsumenci i producenci czy też naukowcy, genetycy molekularni i przedstawiciele organizacji pozarządowych (ang. *non-governmental organisation*, NGO), względnie politycy i wyborcy.

Tego typu podziały społeczne można mnożyć, wykazując jednocześnie, jak bardzo spolaryzowane mogą być opinie. W tej sytuacji niezbędna jest wymiana poglądów stron zaangażowanych w zagadnienia GMO (ang. *stake holders*). Podobnie jak szeroka i zróżnicowana jest lista dyskutantów – tak samo różnorodny jest spis tematów: od filozofii i religii, poprzez gospodarkę, do zagadnień ściśle naukowych, molekularnych w zakresie badań biologicznych. Szczególną grupę problemów stanowi ocena potencjalnych zagrożeń, a lista krytycznych zagadnień jest następująca:

- 1) Oddziaływania z organizmami niedocelowymi (NTO – *non-target organisms*);
- 2) Próby polowe (FT – *field trials*);
- 3) Środowiska otrzymujące (RE – *receiving environments*), zróżnicowanie regionów geograficznych (GR EU – *geographical regions of EU*);
- 4) Efekty długoterminowe (LTE – *long term effects*).

Przedstawiona lista przyjęta jest arbitralnie, z pewnością możliwe jest inne sformułowanie najbardziej podstawowych zagadnień. Trzeba także jednoznacznie stwierdzić, że są to bardzo obszerne i skomplikowane problemy. W skrócie i uproszczeniu poszczególne kwestie można opisać następująco:

Ad 1)

Istotą problemu jest kwestia przewidywania, jakie organizmy mogą oddziaływać z GMO. Prognozowanie takie jest bardzo trudne, bowiem należy przewidzieć takie interakcje, które **nie** są zgodne z oczekiwaniami i ogólnie przyjętymi logicznymi schematami.

Konieczna jest realizacja kilku zadań, a w szczególności: a) Zaplanowanie sposobu monitorowania środowiska; b) Identyfikacja roślinnych patogenów, które stanowią zagrożenie; c) Identyfikacja gatunków najbardziej zagrożonych rozwinięciem odporności niezaplanowanej i niepożądananej.

Ad 2)

Podstawowym problemem jest opracowanie schematu interpretacyjnego w analizie efektów prób polowych, a w szczególności dla organizmów niedocelowych. Również ważnym i trudnym zagadnieniem jest zastosowanie wiarygodnych metod statystycznych.

Konieczne jest rozważanie istotnych elementów całkowicie pomijanych w dotychczasowych analizach. Przykładem może być zagadnienie wyznaczenia dawki białka toksycznego produkowanego przez rośliny GM w przeliczeniu na hektar (np. w mg białka Bt na hektar) w porównaniu z ilością takiego białka podawanego w klasycznej technologii ochrony roślin z zastosowaniem bakterii *Bacillus thuringiensis*. W odniesieniu do klasycznej toksykologii i w przypadku rejestracji substancji toksycznych zawsze mamy zdefiniowaną wartość progową, powyżej której dana substancja wymaga stosowania określonych zasad postępowania. Oczywiście takie porównanie dawki pochodzącej z organizmu GM i z organizmu otrzymanego za pomocą klasycznej techniki rolniczej winno być realizowane dla każdej stosowanej technologii, a nie tylko dla roślin Bt (aczkolwiek ten przypadek wydaje się relatywnie najprostszy, a jednocześnie najlepiej poznany i opisany).

Ad 3)

Badania środowisk otrzymujących (czyli obszarów, w których wprowadzane są rośliny GM) i zróżnicowania regionów geograficznych sprawiają poważne kłopoty metodologiczne i interpretacyjne naukowcom analizującym te problemy. Przede wszystkim konieczne jest rozróżnienie efektów a) przewidywanych oraz b) nieprzewidywalnych. Powstają zatem dwa podstawowe pytania: po pierwsze, jak przewidzieć, zaplanować, wydarzenie biologiczne, które z definicji problemu nie jest przewidywane? Po drugie, a) transgen i jego produkty oraz b) roślina GM. Zrozumiałe, że możliwe są wszelkie kombinacje tych czterech zmiennych, jak również niezbędna jest pewna „wolność” producenta czy też badacza. Wszystkie te elementy i wielość możliwych kombinacji stwarzają bardzo wiele trudności interpretacyjnych.

Ad 4)

Analiza efektów długoterminowych jest szczególnie trudna i skomplikowana, bowiem przede wszystkim nie ma jednoznacznych technik oceny takich efektów. Ko-

nieczne jest opracowanie „narzędzi” badawczych, a w tym: wybór układów modelowych i sposobów monitorowania, znalezienie układów referencyjnych i zdeterminowanie skali eksperymentów w naturalnych ekosystemach i w środowiskach odbierających efekty. Stopień trudności tego zagadnienia świetnie ilustruje następujące pytanie: ile pokoleń (np. ssaków) należy testować, aby móc sformułować konkluzje. Przecież zbadanie trzech pokoleń nie uzasadnia (a jedynie uprawdopodobnia) informację o czwartym pokoleniu, podobnie zbadanie dziesięciu pokoleń nie definiuje informacji o jedenastym.

Na obecnym etapie oceny potencjalnych zagrożeń związanych z produkcją roślin genetycznie zmodyfikowanych łatwiejsze jest formułowanie pytań i zadań, aniżeli proponowanie kompleksowych i zweryfikowanych rozwiązań i protokołów eksperymentalnych. Istotne jest również stosowanie koncepcji zasadniczej równoważności (ang. *substantial equivalence*). W szczególności ze względu na fakt, że dla wielu układów nie mamy pełnych systemów referencyjnych, a zatem szukamy podobnych układów analitycznych, przy zastosowaniu których możliwe jest jedynie porównanie przybliżone, przez analogię, a nie bezpośrednia analiza porównawcza. Podstawową trudność stanowi odpowiedź na elementarne pytanie: co stanowi wystarczającą (ang. *sufficient*) bazę danych eksperymentalnych dla sformułowania wniosku końcowego i dokonania konkluzji obserwacji środowiskowych. Uzasadniona jest obawa, że nigdy nie będziemy dysponować w pełni kompletnym, kompleksowym i zamkniętym zestawem danych uzasadniających stwierdzenie „eksperyment zakończono”. Pewien współczynnik niewiadomej i ryzyka, jak się wydaje, jest niemożliwy do uniknięcia i wydaje się jednocześnie zasadny do przyjęcia.

W analizie efektów długoterminowych i środowiskowych należy uwzględnić doświadczenia wynikające z minionych trzynastu lat komercyjnej uprawy roślin GM, łącznie na powierzchni ponad 400 mln ha, przez miliony rolników, a produkty były konsumowane przez setki milionów konsumentów. Aczkolwiek z pewnością trudne do porównania są dane z różnych krajów, otrzymane w różnych warunkach. Są to jednak wyniki z badań i obserwacji przeprowadzanych na wielkich powierzchniach i dotyczące kilkunastu lat i milionów ludzi oraz zwierząt. Tak ogromnej skali nie sposób odtworzyć w warunkach planowanego eksperymentu. Zgodnie z dostępnymi danymi doniesienia o negatywnych efektach środowiskowych czy też żywieniowych, dotyczących ludzi, zwierząt czy też innych roślin (w ramach czterech dyskutowanych aspektów), są jednostkowe, pojedyncze, dotyczą szczególnych przypadków i nie są powtarzalne. Z pewnością opracowanie i zastosowanie w praktyce jednolitych zasad monitorowania stanowi podstawowy problem i być może jest to bariera niemożliwa do pokonania. Jednakże obecnie nie ma jednolitej, prostej oferty eksperymentalnej, statystycznie wiarygodnej, a poza tym – powtarzalnej.

W zgodnej opinii naukowej (ekspertów) niezbędna jest analiza krok po kroku (*case-by-case*) i merytoryczny nadzór przez administrację. Jednakże obecnie – jak już wspomniano – nie dysponujemy stosownym aparatem analitycznym (eksperymentalnym) jak i wiarygodnymi metodami statystycznymi w odniesieniu do obserwacji doświadczeń hodowlanych w otwartym środowisku. Wydaje się natomiast, że niedoceniane są wnioski i informacje, jakie można podjąć na podstawie analizy genomu, a zwłaszcza porównania genomów. Analiza porównawcza genomów organizmu zmodyfikowanego oraz wyjściowego (czyli niezmodyfikowanego), np. z wykorzystaniem techniki *microarrays*, stwarza możliwość detekcji różnic pomiędzy obydwoma organizmami. Możliwa jest detekcja zarówno w części kodującej funkcjonalne geny, jak i w odniesieniu do fragmentów odpowiadających za transkrypcję ncRNA. W trakcie polemiki konieczne jest także wyjaśnienie: kto [jaka instytucja] ma finansować prace, a także dyskusja nt. efektów ekonomicznych wprowadzenia lub rezygnacji z roślin GM. Zagadnienia te muszą być dyskutowane po pierwsze, z przemysłem (ang. *bioindustry*), a po drugie, z organizacjami pozarządowymi (ang. *environmentalists and NGOs*) oraz z całym społeczeństwem.

Często diskutowanym aspektem jest eksperyment weryfikujący hipotezę istnienia ryzyka, w przypadku gdy brak jest wstępnych przesłanek eksperymentalnych (ang. *Risk hypothesis experiments*). Jeżeli w takim eksperymencie nie nastąpi wykrycie zakładanych efektów, będących wynikiem hipotetycznego zagrożenia, to najprostszy komentarz i wniosek będzie potencjalnie sformułowany następująco: nie zostały objęte eksperymentem wszystkie możliwe efekty i zagrożenia, innymi słowy doświadczenie zostało źle wykonane lub niekompletnie zaplanowane. A zatem nie ma podstaw do wykluczenia zagrożenia. W takiej sytuacji zasadniczo zblizamy się do dyskusji nad kwestiami filozoficznymi, a nie przyrodniczymi: nie można wykluczyć słuszności lub sfalsyfikować tezy, która zakłada możliwość i opiera się na poglądzie, a nie jest eksperymentalnie zweryfikowana. Czy zatem można nazwać to paradoksem antycypowania faktów nieistniejących, a przez to (*ex definitione*) niemożliwych do udowodnienia?

Zasadniczy problem metodologiczny sprawia badanie „efektów nieprzewidywalnych” (czy też „nieoczekiwanych”). Podstawowa trudność polega na sformułowaniu problemu, jak uzasadnić badanie „czegoś”, jakiegoś zjawiska lub efektu, który nie jest uzasadniony ani oczekiwany, a ma stanowić podmiot badań. Brak jest w takim ujęciu problemu elementu racjonalności, co jest elementem weryfikującym wszelkie hipotezy o charakterze naukowym. Jeżeli nie ma przesłanek racjonalnych, że „coś” zachodzi, to po co prowadzić badania. Dodatkowym utrudnieniem jest znalezienie źródła finansowania takiego projektu, który zasadniczo należy określić jako pseudonaukowy. Oczekiwanie, że przemysł będzie sponsorować prace naukowe w zakresie racjonalnie nieuzasadnionych badań jest w sposób oczywisty sprzeczne ze zdrowym rozsądkiem i podstawowym celem prac finansowanych przez przemysł: winny to być prace doświadczalne, prowadzące do

zysku, a jeżeli brak jest uzasadnienia racjonalnego podjęcia badań, to... nie ma uzasadnienia finansowania takich prac.

Podobne rozumowanie jest zasadniczo słuszne w odniesieniu do badań efektów długoterminowych czy też wielopokoleniowych. Jak już wzmiankowano, jeżeli zbadano 5 lub 10 generacji, np. myszy lub szczurów i nie stwierdzono żadnego efektu, to jakie jest uzasadnienie prowadzenia prac doświadczalnych nad kolejnymi generacjami? Aczkolwiek słuszne jest stwierdzenie, że zbadanie 10 generacji i stwierdzenie braku jakiegось odmiennego, szczególnego efektu żywienia np. kukurydzą Bt nie stanowi dowodu, że w 11. generacji także nic nie wykryjemy. Co więcej, kontynuacja badań nad 11. generacją bez żadnego wyniku ilustrującego rozbieżność czy różnice nie stanowi dowodu, że ... w 12. generacji także nie będzie zmian. Aczkolwiek nikt rozsądny nie uzna za racjonalne kontynuowanie prac nad kolejnymi generacjami, a tym bardziej nie znajdziemy źródła finansowania takiego projektu.

Planowanie eksperymentów polowych w odniesieniu do badania roślin transgenicznych jest ogólnie podobne do eksperymentów rejestracyjnych nowych odmian roślin. Można generalnie uznać, że doświadczenie hodowców wynikające z wieloletniego doświadczenia hodowlanego ma tutaj zasadnicze znaczenie i winno być wykorzystane. W praktyce oznacza to prowadzenie prac hodowlanych przez minimum dwa lata w minimum trzech lokalizacjach i trzech powtórzeniach (w każdej lokalizacji). Rośliny tak różne, jak przykładowo: ryż, rzepak, bawełna, soja, kukurydza, rośliny ozdobne, wymagają nader zróżnicowanych warunków agronomicznych i klimatycznych. Uprawa związana jest z koniecznością dokonania prac eksperymentalnych w warunkach dostosowanych do potrzeb konkretnych roślin.

Doświadczenie hodowców roślin, w szczególności w przypadku produkcji materiału siewnego, ma zasadnicze znaczenie w odniesieniu do testowania nowych roślin GM. Proponowane warunki (2 sezony, 3 lokalizacje w tryplikacie) są bardzo dobrze zweryfikowane przez wiele dziesięcioleci prac hodowlanych. Pierwszym źródłem wiedzy o dokonanych zmianach są analizy genomu odmiany macierzystej i zmodyfikowanej technikami inżynierii genetycznej. Przez porównanie można dokonać podstawowej oceny właściwości oczekiwanych w nowej roślinie GM. Zrozumiałe, że te nowe, innowacyjne właściwości winny być zweryfikowane w eksperymentach polowych.

Przystępując do planowania analizy efektów roślin GM w otwartym środowisku, konieczne jest uwzględnienie faktu, że oczekiwane (jak i nieoczekiwane) efekty będą zapewne bardzo niewielkie. W szczególności w porównaniu z wpływem i efektem warunków środowiskowych, jak przykładowo pogoda, a zwłaszcza, np. nawodnienie w kolejnych latach prowadzenia obserwacji. Zmiany roczne uwarunkowane warunkami zewnętrznymi są bardzo znaczne i obserwacja subtelnych różnic między roślinami GM i „klasycznymi” jest trudna do realizacji i udowodnienia.

Generalna konkluzja jest fundamentalna, a jednocześnie brzmi wręcz banalnie: dyskutowane zagadnienia wymagają dalszych prac badawczych. Z całą pewnością obecnie ma miejsce polaryzacja stanowisk: większość ekspertów (aczkolwiek nie wszyscy) popiera rozwój agrobiotechnologii. Szacunkowo trzy czwarte społeczeństwa i zapewne wszystkie organizacje „zielone” są przeciwne rozwojowi zielonej biotechnologii. Faktem jest, że zakres upraw genetycznie zmodyfikowanych roślin wzrasta co roku o kilkanaście procent. Zapewne nie ma możliwości „uniknięcia” czy też „ucieczki” od roślin GM i produktów pochodnych, czyli żywności, biomateriałów i bioenergetyki. Dlatego tak ważna dla naszej przyszłości jest legislacja.

Estimation of risk caused by genetically modified plants

Genetically modified plants are critically important for the future bioeconomy in Poland as well as in United Europe. We observe discussions and polemics all around Europe concerning potential risk related to the effects of GM plants, particularly connected with environment, receiving organisms and long term effects. Any reproducible scientific data describing negative effects are available. However, we need solid and based on science legislation system.

Key words: genetically modified plants, non-target organisms, field trials, receiving environments, long term effects