

Rolnictwo za granicą

Wpływ transgenicznych odmian tolerujących herbicydy na wybrane elementy agrocenoz – doświadczenia brytyjskie

Zbigniew T. Dąbrowski

*Katedra Entomologii Stosowanej, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego
ul. Nowoursynowska 166, 02-787 Warszawa
e-mail: dabrowskiz@alpha.sggw.waw.pl*

Słowa kluczowe: odmiany zmodyfikowane genetycznie (GMO), odmiany transgeniczne tolerujące herbicydy, efekty niezamierzone, burak cukrowy, burak pastewny, kukurydza, rzepak jary, bezkręgowce, chwasty

Wstęp

16 października 2003 r. społeczeństwo w Polsce mogło usłyszeć, za pośrednictwem stacji radiowych cytujących dziennikarzy brytyjskich, że w opublikowanym przez Królewskie Towarzystwo Nauk Biologicznych (Wielka Brytania – WB) raporcie dotyczącym trzyletnich badań polowych przeprowadzonych na dużych obszarach, wykazano ujemny wpływ genetycznie zmodyfikowanych odmian (GMO) na środowisko [27]. Prasa brytyjska jeszcze przed oficjalną konferencją prasową Towarzystwa informowała o znacznych zagrożeniach uprawy GMO dla środowiska, szczególnie dla motyli i ptaków. Każdy, kto zna społeczeństwo Wielkiej Brytanii (WB) i jego rozwiniętą sieć towarzystw przyrodniczych związanych z obserwacją motyli i ptaków, wie, że takie sensacyjne wiadomości musiały znaleźć się na czołówkach gazet. Jednak w kolejnych dniach, już po opublikowaniu materiałów, artykuły stawały się coraz bardziej stonowane [6]. Naukowcy zarzucili dziennikarzom, że cytowali oni tylko wyrywkowe dane, a dla pełnego zrozumienia wszystkich ekologicznych

konsekwencji upraw odmian transgenicznych, potrzebne jest zapoznanie się i przedstawienie wyników całości programu badawczego [6, 13].

Ponieważ były to badania zakrojone na największą skalę w Europie, a stosowana metodyka i techniki badań nowatorskie, stąd wydaje się ważne, aby je przedstawić polskiemu czytelnikowi. Jednocześnie doświadczenia te były przedmiotem wielu dyskusji podczas obrad dwóch międzynarodowych konferencji dotyczących opracowania metodyki prac nad oceną ryzyka wprowadzenia GMO do uprawy, a następnie monitorowania ich ewentualnych niezamierzonych (nieoczekiwanych) wpływów na środowisko (z ang. unintended non-predictable effects). Były to następujące międzynarodowe spotkania, raczej typu warsztatów niż tradycyjnych sympozjów:

1. Pierwsze organizacyjne spotkanie powołanej grupy roboczej Międzynarodowej Organizacji Walki Biologicznej – „Ecological impact of genetically modified organisms”, 26–29.11.2003 r., Praga, Czechy [16].

2. Konferencja Europejskiego Towarzystwa Naukowego – „Measuring and monitoring the impact of GMOs”, 31.03. – 1.04. 2004 r., Cambridge, Wielka Brytania [9].

W pierwszym spotkaniu, na ok. 120 osób (w tym 75% poniżej 35 r. życia), wziął udział tylko jeden przedstawiciel z Polski, a w drugim spotkaniu tylko dwóch. Celem tych spotkań było nie tylko przedstawienie zakresu badań nad ekologicznymi konsekwencjami wprowadzania GMO do środowiska, ale przede wszystkim zaproponowanie metodyki badań nad oceną zagrożeń i monitoringu wpływu GMO na środowisko. Ze względu na ważność tych zagadnień wydaje się wskazane ich przedstawienie środowisku naukowemu w Polsce. Liczne dyskusje prowadzone w Polsce wskazują, że jest ono również podzielone w swoich opiniach, co do korzyści i zagrożeń ekologicznych wynikających z uprawy odmian zmodyfikowanych genetycznie.

Wprowadzenie do produkcji zmodyfikowanych genetycznie odmian roślin uprawnych odpornych na szkodniki, choroby i tolerujące herbicydy (w skrócie – GMO – z ang. genetically modified organisms) z jednej strony zyskuje poparcie znacznej grupy rolników i naukowców w wielu krajach, a z drugiej wywołuje emocjonalną krytykę szerokiej opinii społecznej, a szczególnie grup ekologicznych [18, 23, 28]. Żadne inne, poprzednio wprowadzone metody i techniki hodowli nowych odmian nie wzbudziły tak szerokiej dyskusji i oporu społecznego jak uprawa odmian zmodyfikowanych genetycznie. A przecież hodowcy zawsze starali się wykorzystywać naturalną genetyczną zmienność w populacjach, połączoną z ukierunkowaną selekcją i wywoływali dodatkową zmienność poprzez różne „sztuczne” techniki [12]. Klasyfikacyjnym przykładem było wykorzystanie tak silnych czynników mutagennych jak promieniowanie radiacyjne w pierwszej połowie XX w. [10]. Międzynarodowa Agencja Energii Jądrowej (IAEA) wymienia 2000 nowych odmian wprowadzonych do uprawy, a uzyskanych poprzez mutacje genetyczne [4]. A przecież prawie wszystkie te nowe odmiany charakteryzują się cechami, które nie istniały w danym gatunku w warunkach naturalnych.

Możliwość wykorzystania technik rekombinacji DNA, czyli hodowli roślin opartej na technikach molekularnych, pozwoliło na uzyskanie odmian odpornych na różne czynniki stresowe. Obce DNA jest wprowadzane do genomu gospodarza za pomocą szeregu technik, ogólnie określanych jako technologie transferu genów. Wzrost powierzchni upraw roślin transgenicznych w wielu krajach ma charakter dynamiczny. Praktyczne korzyści z uprawy odmian GMO muszą być znaczne, skoro rolnicy systematycznie zwiększają areał ich uprawy, o 15% w ostatnim roku. Dane za rok 2003 wskazują, że już 67,7 mln ha w świecie zajmują odmiany transgeniczne, w tym w USA – 42,8 mln ha (63,2%); Argentynie – 13,9 mln ha (20,5%); Kanadzie – 4,4 mln ha (6,5%); Brazylii – 3,0 mln ha (4,4%) i Chinach – 2,8 mln ha (4,1%) [25]. Stanowi to 98,8% ogólnej powierzchni upraw transgenicznych w świecie. Procentowy udział poszczególnych krajów w uprawie odmian transgenicznych niewiele się zmienił w ciągu ostatnich 3 lat [17]. Soja stanowi 61% wszystkich upraw transgenicznych, a 73% wszystkich upraw to różne gatunki tolerujące herbicydy. Genetycznie zmodyfikowane odmiany tolerujące herbicydy (GMHT – z ang. genetically modified herbicide-tolerant) są uprawiane komercyjnie w USA, Kanadzie, Argentynie i kilku innych krajach od połowy lat dziewięćdziesiątych. Badania przeprowadzone w Wielkiej Brytanii, gdzie jeszcze nie uprawia się komercyjnie takich odmian, wykazały, że uprawa i ochrona przed chwastami odmian buraków cukrowych tolerujących herbicydy pozwoliłaby na oszczędności ok. 150 £ · ha⁻¹ [19].

Jednak intensywne badania naukowe i wdrożeniowe w prywatnych firmach biotechnologicznych i hodowlanych nad wprowadzeniem nowych odmian transgenicznych do powszechnej uprawy w latach dziewięćdziesiątych nie uwzględniały oceny oddziaływania tych odmian na różne elementy środowiska [5]. Co prawda w krajach, w których odmiany genetycznie zmodyfikowane uprawia się na znacznych obszarach, nie udało się wykazać ich ujemnego oddziaływania ani w odniesieniu do człowieka, ani do środowiska, to jednak nie przekonało to opinii społecznej co do ewentualnego braku tzw. oddziaływań niezamierzonych na organizmy niedocelowe (unintended effects on non-target organisms) [23]. Szczególnie w USA, gdzie wprowadzono odmiany transgeniczne na stosunkowo szeroką skalę, naukowcy uważają, że sensacyjne informacje oparte na wstępnych doświadczeniach i obserwacjach (chętnie podchwytywane przez media) o ewentualnych zagrożeniach, nie były oparte na analizie rzeczywistych powiązaniach pomiędzy badanymi organizmami, jeżeli chodzi o stosowaną metodykę [8]. Niemniej uczestnicy wyżej wymienionych dwóch międzynarodowych konferencji naukowych [9, 16] jak i autorzy polscy [18, 23, 27] uważają, że nie należy ignorować postulatów wysuwanych przez różne grupy społeczne, o ewentualnych niezamierzonych (nieoczekiwanych) wpływach odmian GMO na środowisko.

Jednym z programów badawczych mających na celu ocenę wpływu odmian transgenicznych tolerujących herbicydy (GMHT) na wybrane elementy agrocenoz, były szerokie badania zainicjowane w Wielkiej Brytanii (WB) w 1999 r. – „Badania

polowe nad oceną wpływu transgenicznych jarych odmian roślin uprawnych” („The farm scale evaluation of spring-sown genetically modified crops”) [27].

Ogólna charakterystyka programu badawczego

Program obejmujący trzyletnie badania każdej kombinacji założonej w latach 2000–2002 został sfinansowany w wysokości 6 mln £ przez budżet państwa poprzez Ministerstwo Środowiska, Żywności i Terenów Wiejskich (Department of the Environment, Food and Rural Affairs – DEFRA) WB, które powołało Naukowy Komitet Sterujący (Scientific Steering Committee) jako organ koordynujący program badawczy. Badania zlecono konsorcjum trzech instytucji naukowo-badawczych:

1. Centrum Badawcze Rothamsted (Rothamsted Research) ze stacjami w: Rothamsted, Long Ashton i Broom's Barn;
2. Centrum Badawcze Ekologii i Hydrologii (Centre for Ecology and Hydrology) ze stacjami w Monks Wood, Merlewood i Dorset;
3. Szkocki Instytut Badawczy Roślin Uprawnych (Scottish Crop Research Institute) w Dundee.

Badaniami objęto 66 wielkoobszarowych pól buraków cukrowych i pastewnych (traktowanych jako jedna uprawa), 68 pól kukurydzy i 67 pól rzepaku jarego w różnych regionach Wielkiej Brytanii, starając się uwzględnić najważniejsze regiony produkcji rolniczej. Zastosowana metodyka polegała na wyborze pól produkcyjnych typowych dla danego regionu i stosowanych praktyk uprawowych, z czego na 1/2 pola uprawiano odmiany i stosowano zabiegi konwencjonalne, a drugą połowę obsiewano odmianą transgeniczną tolerującą herbicydy (GMHT). Kombinacje stanowiły więc:

- uprawa odmian tradycyjnych; stosowanie herbicydu Roundup Bioactive wg zalecanych dawek i terminów zamieszczonych na etykietach opakowań. Około 50% pól z tradycyjnymi odmianami trzech badanych gatunków roślin opryskiwano już w ciągu pierwszych 15 dni po wysiewie nasion;
- b) uprawa odmian GMHT i stosowanie Roundup Bioactive w dawce $3 \text{ l} \cdot \text{ha}^{-1}$ w optymalnym terminie. Najczęściej tym terminem był 36–42 dzień po wysiewie dla buraków i kukurydzy, a 50–56 dzień dla rzepaku [20, 22].

W doświadczeniach starano się uchwycić wpływ odmian GMHT na troficzne powiązania pomiędzy: pierwotnymi producentami; roślinożercami i drapieżcami i parazytoidami w różnych strefach pola uprawnego jak i otaczającej roślinności, ale nie oddalonego krajobrazu, którego roślinność jednak może oddziaływać na organizmy migrujące. Wydzielono następujące strefy:

- właściwa uprawa – obsiana część pola, na której dokonuje się wszystkie zabiegi uprawowe;

- skrajny pas orny (obrzeże pola) – pas do 1 m szerokości, prowadzi się wszystkie zabiegi uprawowe, ale nie obsiewa się obrzeży pola i tym samym nie ma tam roślin uprawnych;
- miedza – pas trawy lub wieloletnich roślin zielnych między brzegiem części zaranej i granicą pola;
- bariera (poza granicą pola) – określa każdą fizyczną właściwość pomiędzy polem uprawnym i inną roślinnością, jak np. typowy żywopłot, ogrodzenie, murek kamienny, rów – kanał, wał – skarpa [21]. Może jej jednak nie być, gdy dwa pola uprawne sąsiadują ze sobą.

Założono, że takie elementy agrocenozy, jak populacje organizmów roślinożer-nych, saprofitów, drapieżców i parazytoidów mogą podlegać bezpośrednim zmianom ilościowym i jakościowym wynikającym z wielkości populacji chwastów [22]. Jednocześnie uwzględniono intensywność przemieszczania się organizmów w sezonie wegetacyjnym pomiędzy polami uprawnymi, miedzami i dalszymi elementami krajobrazu. W celu określenia powiązań pomiędzy polami uprawnymi na obszarze danego krajobrazu wykorzystano metodę modeli matematycznych. Trzyletnie sukcesywne dla każdego pola obserwacje i pomiary odnoszono do zabiegów roku poprzedniego w okresie od 2000 r. do 2004 r. Trzy serie doświadczeń na nowych polach zakładano w latach 2000, 2001 i 2002. Po jednorocznej uprawie odmiany GMHT całe pole obsiewano innym gatunkiem, z reguły zbożami i przez następne dwa lata obserwowano działanie następcze ($t + 1$; $t + 2$) [22].

Założenia analizy ekologicznych konsekwencji wprowadzania GMO do środowiska

Celem wprowadzenia do uprawy odmian tolerujących herbicydy (GMHT) było uzyskanie korzyści ekonomicznych przez rolnika, możliwości większej elastyczności i skuteczności w zwalczaniu chwastów i zmniejszenie niekorzystnych efektów następczych dla środowiska poprzez ograniczenie stosowania trwałych syntetycznych herbicydów. Jednak mogą one być zarówno wysoce efektywne w ochronie upraw przed chwastami, jak też powodować ewentualne zakłócenia w dostarczaniu pokarmu dla innych organizmów, a tym samym przyspieszać obserwowaną w XX w. w Wielkiej Brytanii tendencję spadkową liczebności i różnorodności gatunkowej populacji bezkręgowców i kręgowców w agrocenozach [2].

Dotychczas szereg badań polowych, mających na celu uchwycenie tych ubocznych oddziaływań odmian GMHT, prowadzono na małych poletkach, co musiało prowadzić do uzyskania rozbieżnych wyników o ich pozytywnym lub negatywnym wpływie na florę i faunę agrocenoz. Nie pozwalały one również na uchwycenie

potencjalnego wpływu odmian GMHT w skali agrocenozy całego pola i jego otoczenia, nie mówiąc o regionie.

Dlatego przy planowaniu projektu o oddziaływaniach ubocznych upraw GMHT w Wielkiej Brytanii zdecydowano na równoległe porównywanie ich oddziaływania z konsekwencjami ekologicznymi obecnie stosowanych systemów uprawy trzech wybranych gatunków w realistycznej skali. Obejmowały one następujące analizy:

- Charakterystyka systemów uprawy, do których wprowadzono odmiany GMHT. Opis i analiza warunków glebowych i klimatycznych; zabiegów uprawowych; występującej flory (skład gatunkowy roślin pola uprawnego, ale i jego obrzeży). Analiza fauny obejmowała jej zagęszczenie i zmienność w wybranych regionach geograficznych.
- Wybór grup troficznych i taksonomicznych, najbardziej wrażliwych na zmiany doboru zabiegów uprawowych w systemie uprawy, a szczególnie wprowadzenia odmian GMHT, które powinny być głównym celem badań [22].
- Na podstawie dostępnych opracowań zleconych przez agencje rządowe, analiza dotychczasowych wieloletnich zmian ilościowych i jakościowych już występujących w populacjach roślin i zwierząt w agrocenozach jako punkt odniesienia dla porównania różnic wywołanych uprawą odmian GMHT i odmian konwencjonalnych.
- Odniesienie różnic wywołanych wprowadzeniem do uprawy odmian GMHT do ogólnych długoletnich zmian w agrocenozach, będących konsekwencją intensyfikacji produkcji.

Wpływ odmian GMHT na florę agrocenoz

Analiza intensywności stosowania chemicznych środków ochrony roślin (herbicydów, fungicydów i insektycydów w WB nadal określanymi jako pestycydy) i regulatorów wzrostu wykazała, że w Wielkiej Brytanii ponad 95% upraw było opryskiwanych tymi preparatami. Powszechną praktyką było stosowanie 6–8 różnych preparatów na zboża (np. 2–3 zabiegi herbicydami, 3 – fungicydami i 1 – insektycydem) [3]. Wprowadzenie odmian GMHT buraków i rzepaku spowodowało ograniczenie liczby opryskiwań herbicydami o ok. 50%. W uprawie buraków cukrowych i pastewnych stosowano je później i tylko raz na 66% pól [7]. Chwasty na polach z odmianami GMHT pojawiały się później, były mniejsze i było ich o 23% mniej niż na polach konwencjonalnych, a ich biomasa była mniejsza.

Liczba opryskiwań herbicydami w uprawie kukurydzy GMHT i odmian konwencjonalnych, nie różniła się istotnie, ale użyte ilości substancji aktywnej były o ok. 50% niższe. W uprawach badanych odmian rzepaku jarego, ilość użytej substancji aktywnej nie różniła się istotnie pomiędzy odmianami konwencjonalnymi i GMHT [3]. Jednak istotne różnice wystąpiły pomiędzy uprawianymi gatunkami roślin uprawnych

w ilości użytej substancji aktywnej. Na przykład na polach rzepaku wynosiła ok. 50% ilości stosowanej w uprawie buraków, a 80% w uprawach kukurydzy.

Szczegółową analizą dotyczącą różnych parametrów rozwoju populacji chwastów objęto 12 gatunków. Wyboru dokonano o następujące kryteria: ich gospodarczego znaczenia w uprawach rolniczych w Wielkiej Brytanii, a tym samym w agrocenozach, ale i ich roli jako składnika pokarmu ptaków: *Capsella bursa-pastoris* (L.) MEDIK., *Chenopodium album* L., *Fallopia convolvulus* (L.) A. LÖVE, *Lamium purpureum* L., *Persicaria maculosa* GRAY, *Poa annua* L., *Polygonum aviculare* L., *Senecio vulgaris* L., *Sonchus* spp., *Stellaria media* (L.) VILL., *Veronica persica* POIR. i *Viola arvensis* MURRAY. W wyniku stosowanej chemicznej ochrony upraw GMHT, chwasty, które przeżyły zabieg wytwarzały tylko 1/3 masy nasion niż w uprawach konwencjonalnych. Zbierając nasiona do specjalnych pułapek (doniczki wkopane do ziemi, z brzegami wystającymi nieco ponad powierzchnię gleby) można było określić ilość opadających nasion chwastów na powierzchnię gleby („seed rain”). Konsekwencją różnic w zagęszczeniu chwastów i ich nasion pomiędzy obydwoimi typami upraw i zabiegów chemicznych były zmiany ilościowe i jakościowe w populacjach roślinnożernych stawonogów, odżywiających się tymi chwastami [14].

W uprawie buraków i rzepaku zagęszczenie chwastów wkrótce po siewie było wyższe niż w uprawie odmian GMHT. Po zastosowaniu herbicydów w konwencjonalnych uprawach buraków, zagęszczenie chwastów wynosiło tylko ok. 20% obserwowanego na polach GMHT. Zarówno w uprawach buraków, jak i rzepaku, sytuacja się odwróciła po pierwszym zabiegu herbicydami o szerokim spektrum działania. Zagęszczenie chwastów było niższe w uprawach GMHT. Biomasa chwastów i ilość opadających nasion w uprawach GMHT wahała się pomiędzy 33% a 17% w stosunku do populacji chwastów rosnących w uprawach konwencjonalnych. Różnice w ilości opadających nasion chwastów w tych obu typach uprawy utrzymywały się w czasie jesiennej analizy banku nasion („seed bank”). Zagęszczenie nasion chwastów po uprawie odmian GMHT buraków i rzepaku było ok. 20% mniejsze niż po uprawie konwencjonalnej [14]. Wpływ uprawy odmian GMHT kukurydzy na populację chwastów był odmienny. Zagęszczenie chwastów było wyższe w ciągu całego okresu wegetacyjnego w odmianach GMHT. Biomasa chwastów pod koniec okresu wegetacyjnego była wyższa o 82%, a ilość opadających nasion o 87% wyższa w uprawie GMHT w stosunku do konwencjonalnej odmiany kukurydzy. Różnic tych jednak nie udało się potwierdzić za pomocą analizy banku nasion w glebie, ponieważ ogólna ilość wytwarzanych nasion była niska w wyniku uprawy obu typów odmian kukurydzy.

W przypadku wszystkich trzech gatunków roślin uprawnych nie zaobserwowano wpływu typu uprawy i odmian na zróżnicowanie gatunkowe populacji chwastów, poza krótkotrwałym efektem bezpośrednio po zabiegu herbicydem [15]. W pierwszym roku po uprawie buraków, ilość wytwarzanych nasion chwastów była o 7% niższa w uprawach po odmianie GHMT. W trzecim roku doświadczenia (a drugim po

uprawie GMHT) nie stwierdzono różnic w ilości wytwarzanych nasion na polach buraków obu kombinacji [7].

Różnice w zagęszczeniu roślin chwastów i ilości wytwarzanych przez nie nasion w uprawach odmian GMHT buraków i rzepaku w stosunku do odmian konwencjonalnych, decydowały o ilości pożywienia dla innych organizmów wyższego poziomu troficznego.

Wpływ odmian GMHT na faunę agrocenoz

W badaniach korzystano z następujących technik oceny wpływu odmian GMHT na faunę agrocenoz:

- Klasyczne pułapki ziemne dla organizmów poruszających się na powierzchni gleby (wpuszczone do ziemi typowe plastikowe białe kubki). Analizowano zagęszczenie następujących grup taksonomicznych: pająki (*Araneae*), biegaczowate (*Carabidae*), kusakowate (*Staphylinidae*) i skoczogonki (*Collembola*).
- Pułapki powierzchniowe z przynętą do wyłapywania ślimaków (odwrócone plastikowe podstawki pod doniczki o średnicy 25 cm zawierające warstwę typowej karmy dla kurczaków) (26).
- Plecakowy aparat ssący Vortis do wyłapywania organizmów żerujących na chwastach.
- Bezpośrednie obserwacje wizualne w polu [1].

Największą liczebność populacji biegaczowatych obserwowano w uprawach buraków. Tylko ok. połowy tej liczby obserwowano w uprawach kukurydzy, a 60% na polach rzepaku jarego. Dwa gatunki: *Pterostichus melanarius* i *Pterostichus madidus* wyraźnie dominowały w ciągu sezonu wegetacyjnego w badanych trzech uprawach. Stanowiły one odpowiednio 58% i 20% ogólnej liczby biegaczowatych w uprawach buraków, 57% i 17% w uprawie kukurydzy i 53% i 14% w uprawie rzepaku jarego. Nie stwierdzono wpływu typu odmian GMHT i konwencjonalnych na ogólną liczebność biegaczowatych. Istniała jednak silna interakcja pomiędzy oddziaływaniem terminów odłowów a rośliną uprawną dla pewnych gatunków biegaczowatych rodzaju *Pterostichus*: liczebność *P. melanarius* w maju–czerwcu osiągnęła poziom 79% na kukurydzy GMHT w stosunku do odmiany konwencjonalnej ($p = 0,046$); liczebność *P. madidus* w lipcu w uprawie kukurydzy GMHT była o 63% większa niż w konwencjonalnej ($p = 0,038$). Jednocześnie całoroczna liczebność *P. niger* była o 43% większa w kukurydzy GMHT, ale osiągnęła tylko liczebność 66% w rzepaku GMHT w stosunku do konwencjonalnej uprawy [1].

Wśród badanych grup organizmów, szereg z nich wykazywał silną reakcję na zabiegi uprawowe i ochrony roślin na polach z odmianami GMHT lub konwencjonalnymi, przynajmniej w jednej uprawie w danym okresie. Dla większości organizmów, dla których obserwowano istotny wpływ gatunku rośliny uprawnej i jej fenologii,

wystąpiło takie same prawdopodobieństwo kierunku oddziaływania. Istotnie wyższa liczebność pewnych grup taksonomicznych zwierząt w uprawach odmian GMHT występowała równie często w uprawach odmian konwencjonalnych. Z reguły obserwowane efekty były wynikiem oddziaływań pośrednich, jak np. zabiegi herbicydami przeciwko chwastom, wyrażone takimi zmiennymi, jak biomasa chwastów w czasie zbioru i produkcja nasion. Większość określonych pozytywnych oddziaływań mierzonych ilością odłowionych osobników w uprawach GMHT obserwowano na polach kukurydzy, podczas gdy mniejsze ilości odławiano w uprawie buraków i rzepaku jarego.

Jednak należy ostrożnie podchodzić do ekstrapolacji wyników tych doświadczeń o wpływie upraw GMHT na badane grupy bezkręgowców w agrocenozach, w przypadku ich powszechnego wprowadzenia do uprawy. Wydaje się, że obserwowane zmiany w populacjach bezkręgowców odpowiadają zmianom, które obserwujemy przy zmianie gatunku rośliny uprawnej na danym polu. Dlatego uznano, że decydujące czynniki odpowiedzialne za zmiany w populacjach bezkręgowców wynikają z programu zwalczania chwastów, zabiegów agrotechnicznych, rodzaju płodozmienu i prawdopodobnych wieloletnich interakcji pomiędzy chwastami a bezkręgowcami. Wszystkie te potencjalne oddziaływania zależą w dużym stopniu od konkretnego systemu uprawy, stosowanego płodozmienu i całego krajobrazu otaczającego dane gospodarstwo, a nie tylko od stosowania odmian GMO czy odmian konwencjonalnych.

Analiza zmienności gatunkowej badanych grup taksonomicznych wykazała, że operowanie sumą liczebności osobników w wyższych grupach taksonomicznych maskuje oddziaływanie zabiegów na poszczególne gatunki. Dlatego sugeruje się, aby dokonywać analizy zmian na poziomie wybranych gatunków wskaźnikowych.

Stały wzrost liczebności wyłapywanych osobników gatunków saprofagicznych z rzędu *Collembola* i niektórych gatunków drapieżców żerujących na nich, obserwowano we wszystkich uprawach GMHT. Na poziomie analizy zmian gatunkowych, różnice w liczebności gatunków *Collembola* odżywiających się nasionami chwastów, obserwowano we wszystkich badanych gatunkach upraw. Dlatego też gatunki *Collembola* i *Carabidae* odżywiające się nasionami chwastów mogą być wykorzystywane jako bioindykatory w przyszłych badaniach nad systemami upraw odmian GMHT. Wyniki te odnoszące się do rolnictwa brytyjskiego, można będzie wykorzystać również do przygotowania modeli matematycznych, przewidujących prawdopodobny długoletni wpływ odmian GMHT po ich powszechnym wprowadzeniu do praktyki, na populacje zwierząt.

Najniższą liczebność *Staphylinidae* obserwowano w uprawach kukurydzy, o połowę niższą niż w uprawach rzepaku jarego. Nie stwierdzono istotnego wpływu uprawy odmian GMHT na liczebność odławianych kusakowatych dla każdego z trzech badanych gatunków roślin uprawnych. Zagęszczenie pajaków (*Araneae*) było najwyższe w uprawie buraków, a najniższe w uprawach rzepaku jarego. Również

dla tej grupy nie stwierdzono istotnego oddziaływania rodzaju uprawy i zabiegów zwalczania chwastów w żadnym z badanych gatunków roślin. Liczebność *Collembola* była najwyższa w uprawach kukurydzy, a najniższa w rzepaku jarym [11].

Oddzielną analizę wpływu upraw odmian GMHT na faunę bezkręgowców wykonano dla otaczających dane pole obrzeży. Ponieważ miedze stanowią ważny rezerwar różnorodności gatunkowej roślin i zwierząt (włącznie z wrogami naturalnymi szkodników roślin) w agrocenozach, stąd zmiana reżimu stosowania herbicydów w uprawach GMHT może też oddziaływać na faunę miedz.

Zanikająca różnorodność gatunków zwierząt występujących w otoczeniu pól uprawnych jest przedmiotem troski naukowców i grup społecznych zajmujących się ochroną przyrody. Wykazano, że w Wielkiej Brytanii w ciągu ostatnich 20 lat spadła różnorodność gatunkowa roślin na miedzach, przy zaniku wielu niskich gatunków, na rzecz kilku konkurencyjnych wysokich gatunków, związanych z wysoką zasobnością gleb w składniki mineralne [24].

Wpływ składu gatunkowego roślin chwastów w różnych strefach obrzeży badanych pól na faunę bezkręgowców określano pobierając próby z 12 transektów sięgających do 10 m w głąb obrzeża pola. Stosując wymienione powyżej techniki i metody pomiarów analizowano skład ilościowy i jakościowy pszczołowatych, motyli i ślimaków. Zmiany w populacjach innych grup bezkręgowców określano na podstawie prób pobieranych plecakowym ekshaustorem (aparatem ssącym) Vortis.

Prowadzony system uprawy i ochrony odmian GMHT miał istotny wpływ na florę i faunę obrzeży pól [21]. Główne oddziaływania zaobserwowano w strefie do 0,9 m nieobsianego pasa w ramach pola, który wydzielono pomiędzy roślinami uprawnymi a miedzą. Mniejsze oddziaływania na faunę bezkręgowców przenosiły się też w tych samych kombinacjach upraw na miedze i otoczenie pola. Skład ilościowy i jakościowy populacji chwastów, intensywność ich kwitnienia i wytwarzanie nasion podlegały wpływom typu upraw odmian GMHT i stosowanych zabiegów herbicydami, ale skala tych wpływów różniła się pomiędzy badanymi gatunkami roślin uprawnych. Mniejsze zagęszczenie chwastów, a tym samym mniejszą intensywność kwitnienia i produkcji nasion obserwowano na obrzeżach na połowie pól z odmianą GMHT rzepaku jarego w ciągu całego sezonu wegetacyjnego. Uprawiana część pola z burakami GMHT również miała mniej roślin kwitnących i wytwarzających nasiona, chociaż wyraźny ten efekt zaobserwowano tylko w lipcu i sierpniu. Odmienne zmiany wystąpiły na połowie pól z kukurydzą GMHT, gdzie znajdowało się więcej kwitnących chwastów, niż na obrzeżach połowy pól z rosnącymi konwencjonalnymi odmianami kukurydzy.

W stosunku do zmian składu gatunkowego chwastów zaobserwowanych w ramach uprawnej strefy brzegu pól, istotnych zmian wywołanych uprawą odmian GMHT w stosunku do odmian konwencjonalnych nie stwierdzono dla innych stref otoczenia pól.

Efekty wpływu typu uprawy na populacje chwastów w pasie brzeżnym pola przenosiły się na populacje bezkręgowców w tej strefie. Najwyraźniej uwidoczniła to analiza występowania motyli (*Lepidoptera*) na polach rzepaku jarego, gdzie występowały one najliczniej w stosunku do badanych dwóch innych upraw: buraków i kukurydzy. Liczebność motyli była systematycznie niższa średnio o 24% w pasie brzeżnym upraw rzepaku GMHT w ciągu całego sezonu wegetacyjnego [7, 21]. Jednocześnie stwierdzono różnice w zagęszczeniu motyli w wewnętrznej strefie pola uprawnego, gdzie istotnie mniejsze zagęszczenie o 22% występowało na połowie z odmianą GMHT. Trudno było jednoznacznie określić wpływ uprawy odmian GMHT na populacje motyli na obrzeżach pól buraków w ciągu sezonu wegetacyjnego. Mniej motyli obserwowano na tych stanowiskach w lipcu, ale nie w pierwszych okresach rozwoju roślin wiosną. Jednak wewnątrz pola buraków mniejsza liczebność motyli wystąpiła w sierpniu na połowie pola z odmianami GMHT [11]. Również dla populacji pszczołowatych stwierdzono istotne oddziaływania uprawy i ochrony odmian GMHT, pokrywające się z wpływem tych odmian na skład gatunkowy chwastów kwitnących (produkujących pyłek i nektar) w różnych strefach pól i ich obrzeży.

Nie stwierdzono istotnego wpływu uprawy odmian GMHT na populacje ślimaków i szeregu innych grup bezkręgowców, występujących na obrzeżach pól uprawnych. Istotne oddziaływania stwierdzono na grupy taksonomiczne bezkręgowców, które żerują na chwastach, takich jak np. pluskwiaki różnoskrzydłe (*Heteroptera*) lub wykorzystujące chwasty jako podpory do wytwarzania sieci pajęczyn (np. pająki). Stąd mniejsza liczebność gatunków pajaków przędzących sieci na obrzeżach pól rzepaku GMHT, była odzwierciedleniem zmian w składzie gatunkowym chwastów na obrzeżach pól. Mniejsze zagęszczenie wyższych gatunków chwastów nie zapewniało odpowiednich podpór pod budowę sieci przez te gatunki pajaków [21].

Analizując oddziaływania uprawy odmian GMHT opryskiwanych herbicydami na populacje badanych grup bezkręgowców można stwierdzić, że motyle są grupą najsilniej reagującą na zmiany w składzie gatunkowym roślin, a tym samym powinny być wykorzystywane jako grupa gatunków wskaźnikowych w przyszłych badaniach nad zmianami flory i fauny agrocenoz.

Podsumowanie

Wyniki badań programu badawczego w Wielkiej Brytanii wykazał istotny wpływ uprawy odmian GMHT na wybrane grupy bezkręgowców w stosunku do odmian konwencjonalnych, z tym że różnice te były znacznie mniejsze niż pomiędzy uprawami odmian konwencjonalnych trzech badanych grup roślin uprawnych: burakami, rzepakiem jarym i kukurydzą. Szersza interpretacja uzyskanych wyników musi odbywać się na poziomie systemów produkcji roślinnej: rolnictwa precyzyjnego czy bardziej ekstensywnego. Naukowcy biorący udział w konkretnych badaniach polowych nad

niezamierzonymi oddziaływaniami GMO na środowisko, jak i reakcja firm nasiennej wytwarzających odmiany GMHT na opublikowane doniesienia prasowe uważa, że można pogodzić priorytety efektywnej produkcji roślinnej z wartościami środowiska naturalnego [9, 16]. Na przykład zmniejszenie zagęszczenia populacji chwastów, a tym samym wytwarzanych nasion, które stanowią pożywienie dla ptaków można łatwo zrekompensować w uprawach GMHT poprzez różne działania (np. pozostawienie zagonu nieopryskiwanego herbicydami; przeznaczenie części pól uprawnych jako użytki ekologiczne).

Jeżeli chodzi o zmiany w populacjach bezkręgowców wewnątrz pola z odmianami GMHT, to wyższa efektywność stosowanych herbicydów nie wpływała istotnie na ilościowy i jakościowy skład wielu grup taksonomicznych. Prawdopodobnie przystosowały się one do regularnych zaburzeń środowiska, w którym żyją, do zmian spowodowanych stosowaniem różnych zabiegów uprawowo-higienicznych, w tym najbardziej destrukcyjnego zabiegu orki, którego negatywne konsekwencje są znacznie większe niż stosowanie herbicydów o szerokim spektrum działania.

Wydaje się, że należałoby znacznie więcej uwagi poświęcić pracom nad integracją zalecanych praktyk w intensywnej produkcji rolniczej z zachowaniem refugium dla roślin zielnych (w tym gatunków chwastów), owadów i innych organizmów dla stworzenia równowagi pomiędzy priorytetami rolnictwa i środowiska.

Nie powinno się też przeoczyć przedstawionych powyżej danych o wielu korzyściach wynikających z uprawy odmian GMHT (np. ekonomicznych, ale i ekologicznych wynikających z oszczędności wynikających z ilości stosowanych herbicydów) uzyskanych w Wielkiej Brytanii w świetle danych o pewnych, raczej niewielkich ujemnych wpływach ich uprawy na populacje chwastów i wytwarzanych przez nie ilości nasion. Efekty te można stosunkowo łatwo zrekompensować w agrocenozach, a istniejące dyrektywy Unii Europejskiej wspomagające tworzenie i utrzymanie użytków ekologicznych w agrocenozach gwarantują ten proces.

Autor ma głęboką nadzieję, że emocje odnośnie korzyści i zagrożeń wynikających z uprawy nowych odmian genetycznie zmodyfikowanych zostaną skonfrontowane z wynikami badań naukowych, odzwierciedlających rzeczywiste relacje: wprowadzenie odmian GMO do uprawy – reakcje populacji chwastów – wpływ na faunę bezkręgowców. Ocena wpływu tych odmian na zdrowie konsumentów jest wyraźnie określona w odrębnych ustawach i rozporządzeniach w Polsce.

Podziękowania

Pragnę podziękować Panu Prof. dr hab. Janowi Kusiowi z Instytutu Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa w Puławach za konsultacje i dyskusję odnośnie terminologii systemów uprawy i organizacji pól uprawnych.

Literatura

-
- [1] Brooks D.R., Bohan D.A., Champion G.T. i 30 dalszych autorów. 2003. Invertebrate responses to the management of genetically modified herbicide-tolerant and conventional spring crops. I. Soil-surface-active invertebrates. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B.* 358(1439): 1847–1862.
- [2] Chamberlain D.E., Fuller R.J., Bunce R.G.H., Duchworth J.C., Shrubbs M. 2000. Changes in abundance of farmland birds in relation to the timing of agricultural intensification in England and Wales. *J. Appl. Ecol.* 37: 771–788.
- [3] Champion G.T., May M.J., Bennett S. i 15 dalszych autorów. 2003. Crop management and agronomic context of the Farm Scale Evaluation of genetically modified herbicide-tolerant crops. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B.* 358 (1439): 1801–1818.
- [4] Chrispeels M.J., Sadava D.E. 2003. Plants, genes and crop biotechnology. 2-nd ed. Jones and Bartlett, Sudbury, USA: 278 ss.
- [5] Dąbrowski Z.T. 2002. Advantage versus risk of using GMOs in agriculture: What we learn from the experience in plant protection. European Society for New Methods in Agricultural Research. XXXII Annual Meeting, 10–14 September 2002, Warsaw, Poland. Book of Abstracts and Plenary Lectures: 9 – 13.
- [6] Dewar A. 2003. Effects of treatments on invertebrates within the field and field margin. Referat przedstawiony w czasie: IOBC/wprs working group meeting – „Ecological impact of genetically modified organisms”, Praha, 26–29.11.2003.
- [7] Dewar A., Champion G., May M., Pidgeon J. 2003. The farm scale evaluation of GMHT crops: what do the results mean for sugar beet? *British Sugar Beet Review*, 71(4): 15–22.
- [8] Entomological Society of America (ESA). 2002. ESA position statement on transgenic insect-resistant crops: potential benefits and hazards. http://www.entsoc.org/publicaffairs/position_papers/gm_crops.htm
- [9] European Science Foundation (ESF). 2004. Workshop abstracts „Measuring and monitoring the impact of GMOs. 31.03–1.04.2004. Cambridge, UK: 119 ss.
- [10] Gatehouse A.M.R. 2003. Plant transformation: methodology, applications and the potential for unintended effects. Abstracts. IOBC/wprs working group Meeting „Ecological impact of genetically modified organisms”, Praha, 26–29.11.2003: 24.
- [11] Houghton A.J., Champion G.T., Hawes C i 24 dalszych autorów. 2003. Invertebrate responses to the management of genetically modified herbicide-tolerant and conventional spring crops. II. Within-field epigeal and aerial arthropods. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B.* 358(1439): 1863–1878.
- [12] Hansen G., Wright M.S. 1999. Recent advances in the transformation of plants. *Trends Plant Sci.* 4: 226–231.
- [13] Heard M.S. 2003. Effects of treatments (conventional and GMHT herbicides) on weed numbers, biomass and seed rain both within the field and field margin. Referat wygłoszony w czasie: IOBC/wprs working group meeting „Ecological impact of genetically modified organisms”, Praha, 26–29.11.2003.
- [14] Heard M.S., Hawes C., Champion G.T. i 10 dalszych autorów. 2003. Weeds in fields with contrasting conventional and genetically modified herbicide-tolerant crops. I. Effects on abundance and diversity. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B.* 358 (1439): 1819–1832.

- [15] Heard M. S., Hawes C., Champion G.T. i 11 dalszych autorów. 2003b. Weeds in fields with contrasting conventional and genetically modified herbicide-tolerant crops. II. Effects on individual species. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B.* 358 (1439): 1833–1846.
- [16] International Organization of Biological Control (OBC). 2003. Abstracts. Ecological impact of genetically modified organisms. IOBC/wprs Working Group Meeting, Praha, 26–29.11. 2003: 64 ss.
- [17] James C. 2002. Global status of commercialized transgenic crops. ISAAA Briefs 21. ISAAA, Ithaca, NY, USA: 22 ss.
- [18] Malepszy S. 2003. Bezpieczeństwo korzystania z organizmów modyfikowanych genetycznie: ss. 31–36. W: „GMO. Poznajmy swoje poglądy”. Białystok.
- [19] May M. 2003. Economic consequence for UK farms of growing GM herbicide tolerant sugar beet. *Ann. Appl. Biol.* 142: 41–48.
- [20] Perry J.N., Rothery P., Clark S.J., Heard M.S., Hawes C. 2003. Design, analysis and statistical power of the Farm Scale Evaluation of genetically modified herbicide-tolerant crops. *J. Appl. Ecol.* 40: 17 – 31.
- [21] Roy D.B., Bohan D.A., Houghton A.J. i 11 dalszych autorów. 2003. Invertebrates and vegetation of field margins adjacent to crops subject to contrasting herbicide regimes in the Farm Scale Evaluations of genetically modified herbicide-tolerant crops. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B.* 358 (1439): 1879–1898.
- [22] Squire G.R., Brooks D.R, Bohan D.A. i 12 dalszych autorów. 2003. On the rationale and interpretation of the Farm Scale Evaluations of genetically modified herbicide-tolerant crops. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B.* 358(1439): 1779 – 1800.
- [23] Twardowski T., Zimny J., Twardowska A. 2003. Biobezpieczeństwo biotechnologii. Agencja EDYTOR, Poznań: 265 ss.
- [24] Wilson J.D., Morris A.J., Arrayo B.E., Clark S.C., Bradburry R.B. 1999. A review of the abundance and diversity of invertebrate and plant foods of granivorous birds in northern Europe in relation to agricultural change. *Agric. Ecosyst. Environ.* 75: 13–30.
- [25] www.isaaa.org/kc/Global%20Status/gmreview/area.htm).
- [26] Young A.G., Port G.R., James D., Green T. 1996. The use of refuge traps in assessing the risk of slug damage: a comparison of trap material and bait: 133–140. W: „Slug and snail pests in agriculture” (Ed. I. F. Henderson). BCPC Symposium proceedings. British Crop Protection Council. Croydan, UK.
- [27] Zeki S. 2003. The Farm Scale Evaluations of spring-sown genetically modified crops. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B.* 358(1439): 1913 ss.
- [28] Zimny J., Macewicz J. 2003. Rośliny zmodyfikowane genetycznie w poszerzonej Europie. *Wieś Jutra* 7(60): 3–5.

Effect of transgenic herbicide-tolerant cultivars on selected components of agrocenosis – the United Kingdom experience

Key words: GMO, genetically modified herbicide tolerant cultivars, GMHT, sugar beet, fodder beet, maize, oilseed rape, invertebrates, weeds

Summary

Development of genetically modified crop cultivars by the private biotechnology companies and their wide acceptance by farmers in a number of countries did not follow proper evaluation of their unintended effects on environment by the public research institutions in the past. The paper presents results of the first properly organized multi-institutional and multi-disciplinary field studies carried out in the United Kingdom on the effect of herbicide-tolerant transgenic cultivars of beet, maize and spring oilseed rape on selected components of agrocenosis. The methodology and techniques used in these wide scale studies undertaken under commercial farm conditions in various regions may serve as a model for other research programmes and countries.

The needs for support by the national research institutions and foundations for such field studies in other countries are obvious in the face of emotional reactions of various groups of society, including some scientists, on releasing of genetically modified cultivars with novel properties. The author having 35 years of experience in breeding the crop plant resistance to pests hopes that pro and contra arguments for GMO will only be supported by objective research data.