

Possibilities and consequences of growing genetically modified maize cultivars resistant to pests

Możliwości i konsekwencje uprawy zmodyfikowanych genetycznie odmian kukurydzy odpornych na szkodniki

Zbigniew T. Dąbrowski¹, Paweł K. Beres², Jacek P. Twardowski³, Michał Hurej³,
Zdzisław Klukowski³, Roman Warzecha⁴, Sławomir Sowa⁴

Summary

Genetically modified (GM) plants currently cultivated around the world are characterised by their tolerance to herbicides (soybean, cotton, rape, maize, sugar beet, alfalfa), resistance to selected pest groups (maize, cotton) and better functional properties (potatoes). Since 1999, global increase in the field area under GM cultivation had been observed, up to 160 million ha in 2011. Field research on use of GM maize varieties with expression of Cry1Ab protein toxic to the European Corn Borer caterpillars, conducted in Poland showed that plant damage was limited by 95% on average versus standard varieties. The comprehensive study, conducted under the programme "Environmental and economic aspects of allowing transgenic plants cultivation", coordinated by the Plant Breeding and Acclimatisation Institute, confirmed results of 15-year long observations in Spain and 10-year long observations in Germany about no significant effect of the discussed results on various non-target species populations. Mass cultivation of GM cotton and maize varieties in the U.S., China or South Africa, also disclosed its limitations, similarly to other plant protection methods. It is therefore recommended as one of many important elements of the integrated plant protection.

Key words: GM, maize, resistant cultivars, Bt, pests, integrated plant protection

Streszczenie

Uprawiane obecnie na świecie rośliny genetycznie zmodyfikowane (GM – genetically modified), charakteryzują się tolerancją na herbicydy (soja, bawełna, rzepak, kukurydza, burak cukrowy, lucerna), odpornością na wybrane grupy szkodników (kukurydza, bawełna) i lepszymi cechami użytkowymi (ziemniak). Od 1999 roku, w skali globalnej obserwuje się stały wzrost areału upraw odmian GM do 160 mln ha w 2011 roku. Badania polowe nad wykorzystaniem odmian kukurydzy GM, z ekspresją toksycznego dla gąsienicy omacnicy prosowianki białka Cry1Ab, wykonane w Polsce wykazały, że ograniczały one uszkodzenia roślin średnio o 95% w stosunku do odmian konwencjonalnych. Kompleksowe badania wykonane w ramach programu „Środowiskowe i ekonomiczne aspekty dopuszczenia uprawy roślin transgenicznych”, koordynowanego przez Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin, potwierdziły wyniki 15-letnich obserwacji w Hiszpanii i 10-letnich w Niemczech o braku istotnego wpływu omawianych wyników na populacje różnych gatunków niedocelowych. Masowa uprawa odmian bawełny i kukurydzy GM w Stanach Zjednoczonych, Chinach, czy Afryce Południowej, tak jak inne metody ochrony roślin, wykazała, że ma ona też swoje ograniczenia. Proponuje się więc stosować ją jako jeden z ważnych elementów integrowanej ochrony roślin.

Słowa kluczowe: GM, kukurydza, odmiany odporne, Bt, szkodniki, integrowana ochrona roślin

¹ Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Katedra Entomologii Stosowanej
Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa
zbigniew_dabrowski@sggw.pl

² Instytut Ochrony Roślin – Państwowy Instytut Badawczy, Terenowa Stacja Doświadczalna
Langiewicza 28, 35-101 Rzeszów
pawel.beres@iorpib.poznan.pl

³ Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, Katedra Ochrony Roślin
Pl. Grunwaldzki 24A, 50-363 Wrocław

⁴ Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin – Państwowy Instytut Badawczy
Radzików, 05-870 Błonie

Wstęp / Introduction

Po ponad 50 latach od pierwszego zastosowania biopreparatów opartych o *Bacillus thuringiensis* (Bt), osiągnięcia genetyki molekularnej pozwoliły na opracowanie nowego, jeszcze bardziej skutecznego wykorzystania toksyn Cry w ochronie roślin przed szkodnikami. Metoda ta została oparta na włączeniu genu tej bakterii do genomu rośliny, która ma być chroniona przed uszkodzeniami powodowanymi przez wybrany gatunek szkodnika. Obecnie oznaczono 231 holotypów krystalicznych białek, wyodrębnionych w 70 Cry i 3 Cyt rodzinach. Spośród nich, 40% należy jeszcze przetestować pod kątem ich toksycznego działania na szkodniki różnych rzędów. W założeniu, wytwarzane białko Cry w danej części rośliny zjadanej przez wrażliwe gatunki szkodników (gatunki docelowe), jest dla nich toksyczne. Nie powinno być jednak toksyczne dla innych fitofagów żerujących na roślinie, jak i organizmów pożytecznych (gatunki niedocelowe).

Każdy ze zidentyfikowanych szczepów *B. thuringiensis* działa selektywnie na wąskie spektrum gatunków owadów i nicieni. Selektywność opiera się głównie na działaniu krystalicznych białek (powszechnie określanymi jako toksyny Cry), występujących w komórkach bakterii. Na przykład, toksyny grupy Cry1Ab działają aktywnie na gąsienice motyli (Lepidoptera), a białka Cry3 są toksyczne dla chrząszczy, m.in. stonki kukurydzianej (*Diabrotica virgifera virgifera* Le Conte), ale nigdy odwrotnie. Ta selektywność toksycznego działania decyduje o wyższości tych środków nad syntetycznymi pestycydami, które niewłaściwie stosowane niszczą gatunki szkodliwe, ale również pożyteczne owady zapylające, pasożytniki i drapieżce.

Obecnie uprawy roślin genetycznie zmodyfikowanych charakteryzują się tolerancją na herbicydy (soja, bawełna, rzepak, kukurydza, burak cukrowy, lucerna), odpornością na wybrane grupy szkodników (kukurydza, bawełna) i lepszymi cechami użytkowymi (ziemniak). Od 1999 roku obserwuje się stały wzrost arealu uprawy odmian zmodyfikowanych genetycznie (określanymi powszechnie jako GM – genetically modified), osiągając powierzchnię około 160 mln ha w 2011 roku (James 2012). Jest to 94-krotny wzrost arealu w stosunku do roku 1999. W krajach Unii Europejskiej (UE) opinia społeczna jest jednak zaniepokojona ewentualnym wpływem tych roślin na środowisko, w tym na organizmy niedocelowe (działanie uboczne).

Analizując korzyści i zagrożenia wynikające z uprawy odmian GM należy brać pod uwagę nie tylko krytyczne podejście części społeczeństwa, różnych organizacji pozarządowych i pewnej grupy naukowców w Europie, ale przede wszystkim zaspokojenie potrzeb żywieniowych rosnącej populacji ludzi w skali światowej.

Efektywność działania kukurydzy zmodyfikowanej genetycznie na omacnicę prosowiankę / Effectiveness of genetically modified maize on European corn borer

Gąsienice omacnicy prosowianki (*Ostrinia nubilalis* Hbn.), motyla z rodziny wachlarzykowatych (Crambidae), uszkadzają zasiewy kukurydzy w Polsce od lat 50. XX wieku. Gatunek ten początkowo notowano na kukurydzy

jedynie w południowo-zachodniej części kraju, gdzie koncentrowała się uprawa tej rośliny (Kania 1961). Wraz z upowszechnianiem się uprawy kukurydzy, zaczął również systematycznie wzrastać zasięg występowania szkodnika. W 1994 roku, omacnica prosowianka pojawiła się po raz pierwszy na kukurydzy w południowo-wschodniej części kraju oraz zaczęła migrować w kierunku północnym (Lisowicz 2001). Do końca 2008 roku owad zasiedlał już obszar 185 powiatów położonych w obrębie 14 województw (dolnośląskie, kujawsko-pomorskie, lubelskie, lubuskie, łódzkie, małopolskie, mazowieckie, opolskie, podkarpackie, podlaskie, śląskie, świętokrzyskie, wielkopolskie oraz zachodnio-pomorskie) (Bereś i Konefał 2010).

Do najważniejszych czynników wpływających na rosnącą ekspansję omacnicy prosowianki należy zaliczyć przede wszystkim wzrost powierzchni uprawy kukurydzy (w 2011 roku było to ponad 700 tysięcy ha), co z jednej strony zapewnia szkodnikowi nieograniczony dostęp do pokarmu, a z drugiej umożliwia jego masowe namnażanie się. Nie bez znaczenia jest także sposób prowadzenia uprawy, a w szczególności stosowanie uproszczeń agrotechnicznych, w tym wieloletniej monokultury (Bereś i Pruszyński 2008). Ponadto, korzystny układ warunków klimatycznych sprzyja rozwojowi omacnicy prosowianki, która w niektóre lata rozwija drugie, mało liczne pokolenie (Żołnierz i Hurej 2007; Bereś 2012). Brak wystarczającej liczby insektycydów (zwłaszcza o działaniu niezależnym od temperatury) i biopreparatów oraz specjalistycznych opryskiwaczy szkodliwych utrudnia skuteczną walkę ze szkodnikiem.

W 2007 roku, po raz pierwszy, na międzynarodowym forum, podano wyniki badań terenowych prowadzonych w Polsce południowej nad skuteczną ochroną kukurydzy przed gąsienicami omacnicy prosowianki z wykorzystaniem odmian transgenicznych tej rośliny (Bereś i Gabarkiewicz 2008; Twardowski i wsp. 2008). Z kolei dane, dotyczące zmniejszenia zawartości toksycznych dla zwierząt i człowieka mikotoksyn w plonie ziarna kilku odmian kukurydzy GM odpornych na *O. nubilalis* przedstawili Tekiel i Gabarkiewicz (2008). Jest to informacja ważna z racji obowiązku monitorowania mikotoksyn w produktach spożywczych, wymagana dyrektywą Komisji Europejskiej (Tekiel 2008).

W innych badaniach prowadzonych w Polsce, w latach 2006–2009, potwierdzono wysoką odporność odmian kukurydzy zawierających modyfikację Bt na uszkodzenia powodowane przez *O. nubilalis* w porównaniu do takich samych odmian nie wytwarzających białka Cry1Ab (tab. 1). Wysoką skuteczność ochrony kukurydzy MON 810 przed omacnicą prosowianką potwierdziły badania prowadzone w latach 2008–2010 na makroplotkach w czterech miejscowościach naszego kraju, w ramach projektu pt.: „Środowiskowe i ekonomiczne aspekty dopuszczenia uprawy roślin transgenicznych” (PBZ-MNiSW-06/1/2007), koordynowanego przez Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin – Państwowy Instytut Badawczy w Radzikowie. Ze względu na zmienność nasilenia występowania omacnicy w poszczególnych sezonach wegetacyjnych, korzyści wynikające z oddziaływania odmian GM na ten gatunek są różne (tab. 1). Dzięki temu odmiany kukurydzy Bt szybko zostały zaakceptowane przez farmerów w Stanach Zjednoczonych, a następnie w innych regionach świata.

Tabela 1. Uszkodzenia kukurydzy Bt i jej linii izogenicznej powodowane przez omacnicę prosowiankę (w %) w różnych częściach Polski

Table 1. The damages of Bt maize and their isogenic line caused by European corn borer (in %) in different parts of Poland

Województwo Voivodeship	Rok Year	Odmiana Cultivar	Procent uszkodzonych Percentage of damaged		Literatura References
			roślin plants	kolb cobs	
Podkarpackie	2006	DKC 3420	43,4	23,2	Bereś i Gabarkiewicz (2007)
		DKC 3421YG (Bt)	0,1	0,1	
		PR39D81	68,6	33,0	
		PR39D82 (Bt)	0,1	0,1	
	2007	DKC 3420	72,2	37,2	Bereś (2010a)
		DKC 3421YG (Bt)	3,7	0,7	
		Clarica	64,2	30,5	
		Bacilla (Bt)	2,7	0,5	
Lubelskie	2006	DKC 3420	40,5–42,0	20,2	Bereś i Gabarkiewicz (2008) Haliniarz i Bojarczyk (2007)
		DKC 3421YG (Bt)	0,2–0,5	0,0	
		Clarica	26,2–33,8	7,5	
		Bacilla (Bt)	0,0	0,0	
	2009	DKC 3420	40,8	23,5	obserwacje własne own observations
		DKC 3421YG (Bt)	0,5	0,0	
Małopolskie	2007	PR38F70	66,7	24,9	Bereś (2010b)
		PR38F71 (Bt)	0,4	0,2	
		ES Paroli	72,6	36,0	
		ES Paroli Bt (Bt)	0,7	0,0	
Wielkopolskie	2007	DKC 3420	16,2	5,9	
		DKC 3421YG (Bt)	0,0	0,0	
		PR39F58	25,5	10,5	
		PR39F56 (Bt)	0,2	0,0	
Dolnośląskie	2007	DKC 3420	55,0	14,0	Twardowski i wsp. (2008)
		DKC 3421YG (Bt)	3,0	1,0	
	2009	DKC 3420	44,6	29,1	Bereś i wsp. (2013)
		DKC 3421YG (Bt)	0,8	0,0	
Śląskie	2008	odmiana izogeniczna isogenic cultivar	24,5	brak danych no data	Sobiech i wsp. (2011)
		odmiana Bt Bt cultivar	0,6	brak danych no data	
Opolskie	2008	odmiana izogeniczna isogenic cultivar	29,5	brak danych no data	
		odmiana Bt Bt cultivar	0,2	brak danych no data	

Korzyści wynikające z uprawy roślin zmodyfikowanych genetycznie / Benefits of cropping of genetically modified plants

Jak już wspomniano, w okresie do 1999 do 2011 roku, nastąpił 94-krotny wzrost areału upraw odmian GM na świecie, osiągając powierzchnię 160 mln ha (James 2012). Na uwagę zasługuje fakt, że w krajach rozwijających się

uprawiano blisko 50% odmian transgenicznych, w tym na 14,5 mln ha przez 15 mln małych rolników. W tej grupie wiodącymi krajami były: Chiny, Indie, Brazylia i Argentyna oraz Republika Południowej Afryki (łącznie 71,4 mln ha). W 2007 roku powierzchnia uprawy kukurydzy z genami Bt zajmowała 25% ogólnego areału uprawy tej rośliny w świecie (James 2007). W 2010 roku, areał ten wzrósł o 21% w stosunku do 2009 roku – 13%

wzrost uprawy odmian z transgenicznością wielokrotną i 7% tolerujących herbicydy (James 2010).

W 2011 roku, w sześciu krajach Unii Europejskiej: Hiszpanii, Portugalii, Czechach, Polsce, Słowacji i Rumunii, uprawiano kukurydzę GM odporną na szkodniki na obszarze 114,49 tys. ha (wzrost o 26% w stosunku do 2010 roku), a w dwóch krajach, tj. Niemczech i Szwecji ziemniak GM odmiany Amflora, głównie dla celów przemysłowych i paszowych (James 2011). W Polsce, w latach 2011–2012 uprawiano kukurydzę odporną na omacnicę prosowiankę (MON 810 zatwierdzoną do uprawy na terenie UE) na areale około 3000 ha (Monsanto 2011, 2012). W Hiszpanii, gdzie w niektórych regionach kraju *O. nubilalis* i *Sesamia nonagrioides* (Lefebvre), powodowały znaczne straty ekonomiczne w plonach kukurydzy, nastąpił systematyczny wzrost areалу uprawy odmian z ekspresją toksycznego białka Cry1Ab z 58 tysięcy hektarów w 2004 roku do ponad 116 tysięcy w 2012 roku (James 2009; Albajes 2012).

Uprawy roślin GM odgrywają ważną rolę w zwiększeniu plonów, przy jednoczesnym zmniejszeniu nakładów produkcyjnych. James (2010) podaje, że korzyści ekonomiczne na poziomie gospodarstw rolnych wynosiły 65 miliardów dolarów USD w skali światowej w okresie od 1996 do 2009 roku. Z tej liczby, 45% pochodziło ze zmniejszenia nakładów produkcyjnych (mniejsza liczba zabiegów agrotechnicznych, zabiegów ochrony roślin, niższe nakłady siły roboczej), a 56% ze zwiększonych plonów wynoszących 229 mln ton. Wyższe zbiory uzyskano w przypadku soi – 83,5 mln ton, kukurydzy – 130,5 mln ton, bawełny – 10,5 mln ton oraz rzepaku – 4,8 mln ton.

Udowodniono, że uprawa odmian bawełny i kukurydzy zmodyfikowanych genetycznie z cechą odporności na szkodniki pozwala na zmniejszenie stosowania insektycydów o szerokim spektrum działania i na wprowadzenie biologicznych metod ochrony roślin. W Stanach Zjednoczonych, w przypadku odmian kukurydzy z ekspresją białka toksycznego dla omacnicy prosowianki, spadek zużycia insektycydów wyrażony w tonażu wyniósł 81% między 1990 a 2005 rokiem (USDA/NASS 2007). Ogólna liczba zabiegów wykonanych przy użyciu insektycydów po wprowadzeniu odmian kukurydzy i bawełny z cechą odporności na owady, w latach 1996–2006 spadła z około 6 do około 3.

W 2010 roku w Stanach Zjednoczonych uprawiano odmiany kukurydzy Bt z odpornością na omacnicę prosowiankę na obszarze 22,2 mln ha, co odpowiadało 63% ogólnej powierzchni uprawy tej rośliny. Uznano, że obserwowany spadek populacji omacnicy zarówno na odmianach Bt, jak i konwencjonalnych, był związany z uprawą odmian odpornych na tego szkodnika. Korzyści z mniejszych ogólnych strat powodowanych przez *O. nubilalis* w pięciu stanach (Illinois, Iowa, Nebraska, Minnesota i Wisconsin) w latach 2006–2009 wyniosły 6,9 mln dolarów USD, z tego 4,3 mln (62%) z tytułu mniejszych strat na odmianach konwencjonalnych (Hutchison i wsp. 2010). Udowodniono, że uprawa odmian odpornych na szkodniki daje oszczędności finansowe farmerom, nie niszczy wrogów naturalnych szkodników i zmniejsza zawartość szkodliwych metabolitów, w tym

mikotoksyn, np. aflatoksyn wytwarzanych przez patogeniczne grzyby i bakterie, rozwijające się na roślinach uszkodzonych przez szkodniki.

Ocena wpływu kukurydzy MON 810 na organizmy niedocelowe / Impact assesment of MON 810 maize on non-target organisms

W wielu krajach Europy, nie tylko członków Unii Europejskiej, podjęto w ostatnich 10 latach liczne badania nad niezamierzonymi oddziaływaniami odmian transgenicznych roślin na środowisko. Badaniami objęto różne odmiany i linie kukurydzy, rzepaku i ziemniaków zawierające geny odporności na szkodniki oraz inne grupy fitofagów (włącznie ze ślimakami), pasożytoidy i drapieżce. Analizowano też wpływ tych odmian, poprzez wydzielniny korzeniowe na organizmy glebowe, w tym mikroorganizmy. W latach 1996–2006 w Europie przeprowadzono 34 doświadczenia nad oddziaływaniem toksycznych białek Cry1Ab i Cry3 dla niedocelowych gatunków stawonogów roślinożernych, 32 dla gatunków drapieżców i 6 dla pasożytoidów w warunkach laboratoryjnych.

Dla większości drapieżców odżywiających się fitofagami żerującymi na roślinach GM lub pożywką zawierającą toksyczne białko Cry1Ab, nie stwierdzono negatywnych efektów. Przez oponentów odmian GM bardzo często cytowane są wyniki badań Hilbeck i wsp. (1998) oraz Dutton i wsp. (2002) o toksycznym wpływie białka Cry1Ab na rozwój larw złotooka pospolitego. Jednak inni autorzy nie potwierdzili bezpośredniej toksyczności tego białka na larwy Chrysopidae. Pomimo rozbieżności w ocenie działania toksycznych białek Cry na badane gatunki, obecnie uwaga badaczy skupia się na wyjaśnieniu przyczyn tych rozbieżności. Dobrym tego przykładem jest bezstronna analiza różnic w ocenie toksycznego (lub jego braku) oddziaływania białka Cry1Ab na rozwój złotooka pospolitego (Hilbeck i wsp. 2008). Aktualnie analizowany jest również przypadek obecności pyłku z kukurydzy MON 810 w miodzie. Większość badań wykazała brak toksycznego oddziaływania takiego pyłku na przeżywalność i zachowanie pszczoły miodnej, jednak nawet niewielkie jego zawartości budzą kontrowersje (EFSA 2011).

W Polsce badania polowe nad oceną wpływu kukurydzy MON 810 na organizmy niedocelowe podjęto w ramach projektu „Środowiskowe i ekonomiczne aspekty dopuszczenia uprawy roślin transgenicznych” w 2008 roku. Szczególną uwagę zwrócono na oddziaływanie roślin transgenicznych na wybrane gatunki chrząszczy biegaczowatych (Carabidae) i kusakowatych (Staphylinidae), pełniących ważną rolę w trójtroficznych zależnościach w agrocenozie kukurydzy. Owady te stanowią znane i często wykorzystywane w podobnych badaniach bioindykatory zmian w agrocenozach (Cameron i Leather 2012; Twardowski i wsp. 2012). Łącznie, w ciągu trzech lat badań prowadzonych w Budziszowie (Dolny Śląsk) i Głuchowie (Podkarpacie) odłowiono ponad 300 tysięcy biegaczowatych (tab. 2). Owady te stanowiły najliczniejszą grupę stawonogów notowanych w pułapkach Barbera.

Tabela 2. Całkowita liczebność wybranych grup organizmów niedocelowych w doświadczeniu prowadzonym w latach 2008–2010, w dwóch miejscowościach Polski południowej na kukurydzy Bt i jej linii izogenicznej

Table 2. Total number of selected group of non-target organisms in experiment conducted in two localities in 2008–2010, in southern Poland on Bt maize and their isogenic line

Grupa stawonogów Group of arthropods	Kukurydza Bt Bt maize		Kukurydza konwencjonalna Conventional maize	
	dolnośląskie	podkarpackie	dolnośląskie	podkarpackie
Odłowy do pułapek Barbera – Collection with pitfall traps				
Carabidae	30 777	26 807	27 608	25 093
Staphylinidae	3685	2987	2879	3273
Araneae	6009	2435	6560	2288
Obserwacje bezpośrednie na roślinach – Direct plant monitoring				
<i>Rhopalosiphum padi</i> L.	6383	1398	7464	1382
<i>Metopolophium dirhodum</i> Walker	12 661	512	11 404	454
Thysanoptera	1697	3527	603	2305
<i>Glischrochilus quadrisignatus</i> Say	36	33	34	77
Coccinellidae larwy – larvae	50	157	38	137

Zdecydowanie mniej licznie występowały pajęczaki (39 807 osobników) oraz kusakowate (35 696 osobników). W tym ogromnym przedsięwzięciu nie wykazano istotnych różnic w występowaniu epigeicznych Arthropoda między odmianą kukurydzy Bt a jej linią izogeniczną. Istotne różnice w liczebności stawonogów naziemnych dotyczyły tylko odmian porównawczych lub obiektów chronionych i niechronionych insektycydem. Sporadycznie (w przypadku Staphylinidae), stwierdzano różnice między odmianą Bt a pozostałymi. Nie wykazano natomiast istotnych różnic jakościowych w grupie Carabidae i Staphylinidae pomiędzy kukurydzą Bt a odmianami porównawczymi.

W omawianych badaniach na roślinach kukurydzy najliczniej występowały mszyce: *Rhopalosiphum padi* L. i *Metopolophium dirhodum* (Walk.) oraz przyłżeńce (Thysanoptera). Pozostałe fitofagi, a także organizmy pożyteczne były mniej liczne. Istotne różnice w liczebności poszczególnych grup stawonogów dotyczyły głównie odmian konwencjonalnych kukurydzy. Pomiędzy kukurydzą zawierającą gen Bt, a pozostałymi obiektami badawczymi istotne różnice stwierdzano sporadycznie. W badaniach własnych najwięcej mszyc odnotowano w przypadku odmiany referencyjnej Bosman i DKC 3420 (niechronionej insektycydem). W przypadku kukurydzy konwencjonalnej Bosman, *R. padi* była obserwowana zwłaszcza pod koniec wegetacji tej odmiany (rośliny te były wtedy wciąż zielone – faza rozwojowa BBCH 73), podczas gdy w innych kombinacjach doświadczenia rośliny zasychały – BBCH 97. W sezonowej dynamice obserwowano zwykle dwa liczne naloty *R. padi* (przełom czerwca i lipca oraz początek września). *M. dirhodum* licznie występowała tylko raz w sezonie, tj. na początku sierpnia. Inne fitofagi, na wszystkich odmianach, występowały zwykle mało licznie (głównie *Oulema* spp., *Glischrochilus quadrisignatus*, *Oscinella frit*, Heteroptera). Podobnie, w niedużej liczebności występowały organizmy pożyteczne na obserwowanych roślinach kukurydzy.

Na podstawie uzyskanych w omawianym doświadczeniu wyników, nie stwierdzono wpływu kukurydzy Bt (MON 810) na badane organizmy niedocelowe, zarówno

fitofagiczne, jak i pożyteczne. Podobne wyniki wskazujące na brak istotnych, negatywnych oddziaływań kukurydzy MON 810 na organizmy niedocelowe uzyskano w 14-letnich obserwacjach prowadzonych w Hiszpanii i 9-letnich wykonanych w Niemczech (Albajes 2012; Rauschen 2012).

Potencjalne ograniczenia uprawy odmian kukurydzy GM / Potential limitations of cultivation of GM maize

W wielu krajach świata wieloletnie wykorzystanie na szeroką skalę odmian kukurydzy oraz bawełny z ekspresją toksycznych białek Bt wskazuje, że ta metoda ochrony roślin powinna być stosowana jako jeden z ważnych elementów w integrowanej ochronie roślin. Jednocześnie nie powinna być stosowana jako jedyna metoda, w izolacji od innych sposobów ochrony roślin. Wykorzystanie odmian GM, tak jak inne metody ochrony roślin, ma też swoje ograniczenia.

Przed wszystkim zwrócono uwagę na możliwość powstawania populacji odpornych szkodników na odmianach z ekspresją toksycznego białka Cry. Jednak analizując częstotliwość występowania alleli w populacjach omacnicy prosowianki odpowiedzialnych za wzrost odporności na działanie białka Cry1Ab występującego w odmianach z cechą MON 810, nie stwierdzono zagrożenia dla przełamania tej odporności (Ferré i van Rie 2002). Teoretycznie, takie zjawisko może wystąpić po 10-letniej masowej uprawie odmian transgenicznych. Pojawienie się takiej populacji *Busseola fusca* – szkodnika drążącego pędy kukurydzy – na izolowanych terenach intensywnej uprawy tej rośliny w Afryce Południowej, potwierdza taką możliwość. Celem uniknięcia takiej sytuacji, zarówno w Stanach Zjednoczonych, jak i Europie, zaleca się wysiewanie odmian tradycyjnych (wrażliwych) kukurydzy na obszarze 20%, stwarzając warunki do krzyżowania się osobników wrażliwych i odpornych omacnicy prosowianki na toksynę Bt. Takie potomstwo jest wrażliwe na białka Cry1Ab.

Możliwość oddziaływania pyłku kukurydzy GM na gąsienice niedocelowych gatunków motyli, rozwijających się na roślinach w otoczeniu pól kukurydzy / Possibility of the GM maize pollen effects on lepidopterous larvae feeding on plants growing in surroundings of the GM crop

Zarówno wnikliwe badania w Stanach Zjednoczonych, jak i ocena zagrożenia różnych gatunków motyli w Anglii i Niemczech wykazała potencjalny, minimalny, negatywny wpływ na faunę różnych gatunków. Pierwsze powszechnie cytowane wyniki doświadczeń laboratoryjnych Loseya i wsp. (1999), wskazujące na wysoką toksyczność pyłku odmiany GM z cechą MON 176 na gąsienice motyla monarcha (*Danaus plexippus* L.), opierały się na błędnej metodyce (Hellmich i wsp. 2001). Okazało się też, że większość stosunkowo ciężkiego pyłku kukurydzy opada na chwasty rosnące wewnątrz pola, a ilości te gwałtownie zmniejszają się już w odległości 2–3 m od brzegu pola (Raynor i wsp. 1972). Również szczegółowe analizy nad występowaniem roślin żywicielskich gąsienic motyla monarcha i okresem pylenia kukurydzy w różnych stanach i warunkach klimatycznych, wskazały na niewielkie zagrożenia dla tego motyla i to tylko na pewnych obszarach (Oberhauser i wsp. 2001). W krajach UE opinie co do priorytetów prowadzenia badań polowych nad wpływem upraw kukurydzy Bt na populacje motyli są podzielone. Szczególną wagę przywiązali do tego ekolodzy węgierscy, opierając swoje zastrzeżenia głównie na wynikach doświadczeń laboratoryjnych Loseya i wsp. (1999) (EFSA 2008).

Grupa robocza „Oddziaływanie GMO na bioróżnorodność poza polem uprawnym” (Biodiversity implications off-crop) Międzynarodowej Organizacji Walki Biologicznej (Lang 2004), jak i wyniki późniejszych badań (Gathmann i wsp. 2006) wskazują, że aby oceniać możliwość zagrożeń wynikających z uprawy odmian GM na niedocelową faunę motyli, powinno się postępować według następujących zasad:

- występowanie roślin żywicielskich w pobliżu pól uprawy odmian GM a zasięg potencjalnego przeniesienia pyłku z roślin GM (Gathmann i wsp. 2006);
- przestrzenne nakładanie się lokalizacji brzegów pól z biotopem występowania larw motyli w otoczeniu pól uprawnych;
- określenie prawdopodobieństwa synchronizacji okresu występowania larw cennych gatunków motyli i okresu pylenia danej odmiany GM;
- określenie gatunków motyli, których gąsienice rozwijają się na roślinach rosnących w bezpośrednim otoczeniu upraw kukurydzy. Pomimo, że białka Cry1 działają na gąsienice Lepidoptera, to istnieją różnice we wrażliwości larw różnych gatunków tych owadów na toksyny Bt;

- potwierdzenie istniejących danych analiz o zawartości toksycznego białka w pyłku odmian zmodyfikowanych genetycznie. Stwierdzono rozbieżności w poziomie ekspresji toksycznych białek Cry w uprawach w Stanach Zjednoczonych i Europie;
- w testach laboratoryjnych nad toksycznością, bezwzględne zachowanie warunków symulujących rzeczywiste stężenie ziaren pyłku na testowanych roślinach [uniknąć niekontrolowanego „nasypywania”, stosowanego w testach Losey’a i wsp. (1999)].

Opracowano również odpowiednie modele matematyczne dla oceny potencjalnego oddziaływania pyłku odmian kukurydzy Bt na gąsienice motyli, żerujące na roślinach rosnących w otoczeniu upraw kukurydzy GM (Perry i wsp. 2010).

Innym ewentualnym następstwem masowej uprawy odmian genetycznie zmodyfikowanych jest możliwość wzrostu populacji szkodników, tzw. wtórnych. Zjawisko wzrostu liczebności owadów z rodziny tasznikowatych (Miridae) w uprawie bawełny z ekspresją białka Cry1Ab (odpornej na gąsienice motyli z rodzaju *Helicoverpa*) zaobserwowano w Stanach Zjednoczonych (w Kalifornii) i w niektórych prowincjach Chin. Stosunkowo szybka akceptacja nowych, odpornych odmian i ich powszechna uprawa pociągnęła za sobą wyeliminowanie z użycia insektycydów o szerokim spektrum działania. Należy pamiętać, że w każdym regionie uprawy bawełny, jest ona narażona na szkody ekonomiczne powodowane przez liczne gatunki szkodników (Stany Zjednoczone – 10, Afryka – 6).

W przypadku kukurydzy szkodliwa fauna obejmuje głównie gąsienice motyli (południowa Europa – 2, Afryka – 3–4, Ameryka – 3–4), stąd prawdopodobieństwo pojawienia się szkodników wtórnych w uprawach kukurydzy Bt jest minimalne. Jednoczesne wyeliminowanie stosowania insektycydów zachowa faunę parazytoidów oraz drapieżców i w przypadku okresowego wzrostu populacji innego gatunku fitofaga mogą one ograniczyć jego rozwój.

Podsumowanie / Summation

W wielu krajach, w tym w Europie, wykazano, że w rejonach regularnego występowania populacji omacnicy prosowianki powodującej straty ekonomiczne w plonach kukurydzy, uprawa roślin zmodyfikowanych genetycznie z ekspresją toksycznych białek Bt jest uzasadniona. Jednocześnie uprawa tych odmian powinna być jednym z elementów integrowanej ochrony roślin w celu opóźnienia powstania populacji odpornych i pojawienia się szkodników, tzw. wtórnych, które do tej pory nie powodowały znacznych uszkodzeń, a ich populacje były kontrolowane przez insektycydy stosowane w ochronie kukurydzy przed omacnicą prosowianką.

Literatura / References

- Albajes R. 2012. Assessing the effects of GM crops on non-target arthropods: 14 years of field testing Bt maize in Spain. p. 25–26. Mat. Konf. „Non-target organisms and GM crops: Assessing the effects of Bt proteins”. COGEM/EFSA, Amsterdam, 29–30.11.2012, 50 pp.

- Bereś P.K. 2012. Flight dynamics of *Ostrinia nubilalis* Hbn. (Lep., Crambidae) based on the light and pheromone trap catches in Nienadówka (south-eastern Poland) in 2006–2008. *J. Plant Prot. Res.* 52 (1): 130–138.
- Bereś P.K., Gabarkiewicz R. 2007. Podatność kukurydzy Bt oraz jej form wyjściowych na uszkodzenia powodowane przez omacnicę prosowiankę (*Ostrinia nubilalis* Hbn.). [Susceptibility of Bt maize and its maternal forms to damage caused by European corn borer (*Ostrinia nubilalis* Hbn.)]. *Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Roślin* 47 (4): 117–121.
- Bereś P.K., Gabarkiewicz R. 2008. Preventing spread of *Ostrinia nubilalis* Hbn. by cultivation of Bt transgenic maize – First field experiments in southeastern Poland. *IOBC/WPRS Bull.* 33: 31–35.
- Bereś P.K., Konefał T. 2010. Distribution range of the European corn borer (*Ostrinia nubilalis* Hbn.) on maize in 2004–2008 in Poland. *J. Plant Prot. Res.* 50 (3): 326–334.
- Bereś P.K., Pruszyński G. 2008. Ochrona kukurydzy przed szkodnikami w integrowanej produkcji. *Acta Sci. Pol., Agricultura* 7 (4): 19–32.
- Cameron K.H., Leather S.R. 2012. How good are carabid beetles (Coleoptera, Carabidae) as indicators of invertebrate abundance and order richness? *Biodiversity Conservation* 21: 763–779.
- Dutton A., Klein H., Romeis J., Bigler F. 2002. Uptake of Bt-toxin by herbivores feeding on transgenic maize and consequences for the predator *Chrysoperla carnea*. *Ecol. Entomol.* 27: 441–447.
- European Food Safety Authority (EFSA). 2008. Environmental Risk Assessment of Genetically Modified Plants – Challenges and Approaches. European Food Safety Authority, Parma, Italy, 150 pp.
- European Food Safety Authority (EFSA). 2011. EFSA panel on genetically modified organisms – Scientific opinion: Statement on the safety of MON 810 maize pollen occurring in or as food. *Journal* 2011, 9 (11), p. 2434.
- Ferré J., van Rie J. 2002. Biochemistry and genetics of insects resistance to *Bacillus thuringiensis*. *Annu. Rev. Entomol.* 47: 501–533.
- Gathmann A., Wirooks L., Hothorn L.A., Bartsch D., Schuphan I. 2006. Impact of Bt maize pollen (MON 810) on lepidopteran larvae living on accompanying weeds. *Mol. Ecol.* 14: 2677–2685.
- Hellmich R.L., Siegfried B.D., Sears M.K., Stanley-Horn D.E., Daniels M.J., Mattila H.R., Spencer T., Bidne K.G., Lewis L.C. 2001. Monarch larvae sensitivity to *Bacillus thuringiensis* – purified proteins and pollen. *PNAS* 98: 11025–11930.
- Hilbeck A., Jänsch S., Meier M., Römbke J. 2008. Analysis and validation of present ecotoxicological test methods and strategies for the risk assessment of genetically modified plants. Federal Agency for Nature Conservation, Bonn, Germany, 4 Appendices, 116 pp.
- Hilbeck A., Moar W.J., Pusztai-Carey M., Filippini A., Bigler F. 1998. Toxicity of *Bacillus thuringiensis* Cry 1Ab toxin to the predator *Chrysoperla carnea* (Neuroptera: Chrysopidae). *Environ. Entomol.* 27 (5): 1255–1263.
- Hutchison W.D., Burkess E.C., Mitchell P.D., Moon R.D., Leslie T.W., Fliescher S.J. 2010. Areawide suppression of European corn borer with Bt maize reaps savings to non-Bt maize growers. *Science* 330: 222–225.
- James C. 2007. Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops: 2007. ISAAA Brief No. 37. ISAAA: Ithaca, NY, 143 pp.
- James C. 2009. Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops: 2009. ISAAA Brief No. 41. ISAAA: Ithaca, NY, 23 pp.
- James C. 2010. Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops: 2010. ISAAA Brief No. 42. ISAAA: Ithaca, NY, 20 pp.
- James C. 2011. Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops: 2011. ISAAA Brief No. 43. ISAAA: Ithaca, NY, 29 pp.
- James C. 2012. Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops: 2012. ISAAA Brief No. 44. ISAAA: Ithaca, NY, 9 pp.
- Kania C. 1961. Z badań nad omacnicą prosowianką – *Pyrausta nubilalis* (Hbn.) na kukurydzy w okolicach Wrocławia w latach 1956–1959. *Pol. Pismo Entomol., Seria B*, 3–4 (23–24): 165–181.
- Lang A. 2004. Workshop report – Biodiversity implications off-crop. *IOBC/WPRS Bull.* 27 (3): 197–201.
- Lisowicz F. 2001. The occurrence of economically important maize pests in south-eastern Poland. *J. Plant Prot. Res.* 41 (3): 250–255.
- Losey J.E., Rayor L.S., Carter M.E. 1999. Transgenic pollen harm monarch larvae. *Nature* 399, p. 214.
- Monsanto. 2011. Annual monitoring report on the cultivation of MON 810 in 2010 – Czech Republic, Poland, Portugal, Romania, Slovakia and Spain. Monsanto Europe S.A., July 2011, Belgium, 29 pp. http://ec.europa.eu/food/food/biotechnology/docs/report_mon_810_en.pdf. Accessed: 27.03.2013.
- Monsanto. 2012. Annual monitoring report on the cultivation of MON 810 in 2011 – Czech Republic, Poland, Portugal, Romania, Slovakia and Spain. Monsanto Europe S.A., July 2012, Belgium, 30 pp. http://ec.europa.eu/food/food/plant/gmo/reports_studies/docs/report_2012_mon_810_en.pdf. Accessed: 27.03.2013.
- Oberhauser K.S., Prysby M., Mattila H.R., Stanley-Horn D.E., Sears M.K., Dively G.P., Olson E., Pleasants J.M., Lam W.-K.F., Hellmich R.L. 2001. Temporal and spatial overlap between monarch larvae and corn pollen. *Proc. Nat. Acad. Sci. USA* 98: 11913–11918.
- Perry J.N., Devos Y., Arpaia S., Bartsch D., Gathmann A., Hails R.S., Kiss J., Lheureux K., Manachinbi B., Mestdagh S., Neemann G., Ortego F., Schiemann J., Sweet J.B. 2010. A mathematical model of exposure of non-target Lepidoptera to Bt-maize pollen expressing Cry 1 Ab within Europe. *Proc. Royal Soc. B.* <http://rspb.royalsocietypublishing.org/content/277/1686/1417.short>. Accessed: 27.03.2013.
- Rauschen S. 2012. Conclusions from 10 years of publicly funded field trials research with genetically engineered Bt-maize in Germany. p. 23–24. *Mat. Konf. “Non-target organisms and GM crops: Assessing the effects of Bt proteins”*. COGEM/EFSA, Amsterdam, 29–30.11.2012, 50 pp.
- Raynor G.S., Ogden E.C., Hayes J.V. 1972. Dispersion and deposition of corn pollen from experimental sources. *Agron. J.* 64 (4): 420–427.
- Tekiela A. 2008. Zagrożenie zanieczyszczenia pasz i żywności produkowanych z kukurydzy uprawianej w Polsce przez mikotoksyny w świetle obowiązującej Dyrektywy UE. *Wiś Jutra* 1 (114): 56–58.
- Tekiela A., Gabarkiewicz R. 2008. Reduction of mycotoxin threats to mammals and birds through the cultivation of Bt maize cultivars in Poland. *IOBC/WPRS Bull.* 33: 111–116.
- Twardowski J., Bereś P., Hurej M., Klukowski Z., Dąbrowski Z., Sowa S., Warzecha R. 2012. The quantitative changes of ground beetles (Col., Carabidae) in Bt and conventional maize crop in South Poland. *J. Plant Prot. Res.* 52 (4): 404–409.
- Twardowski J.P., Hurej M., Kordas L. 2008. Impact of transgenic Bt corn on European corn borer (*Ostrinia nubilalis* Hübner) in Lower Silesia, Poland. Preliminary results. *IOBC/WPRS Bull.* 33: 129–132.
- USDA/National Agricultural Statistics Service (USDA/NASS). 2007. Agricultural chemical usage report. www.nass.usda.gov. Data and Statistics, accessed: 18.11.2007, 86 pp.
- Żołnierz R., Hurej M. 2007. Porównanie odłowów omacnicy prosowianki przy użyciu pułapek świetlnej i feromonowych. [Comparison of European corn borer catches in light and pheromone traps]. *Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Roślin* 47 (4): 267–271.