

*Jan Boczek*

*Katedra Entomologii Stosowanej SGGW w Warszawie*

## **Wykorzystanie technik inżynierii genetycznej do zwalczania szkodników roślin**

### **Wstęp**

Dwie metody zwalczania szkodników roślin uprawnych — genetyczno-hodowlana i biologiczna — wykorzystują techniki inżynierii genetycznej. Celem stosowania obu tych metod jest ulepszanie. W pierwszym przypadku ulepszeniu podlegają rośliny uprawne, tak by stawały się bardziej odporne lub lepiej tolerowały porażenie przez zwierzęta roślinożerne. Natomiast w przypadku walki biologicznej ulepsza się naturalnych wrogów szkodników (jak dotychczas głównie wirusy, bakterie i drapieżce), aby były bardziej efektywne w zmniejszaniu populacji szkodników.

### **Genetyczne modyfikowanie roślin**

Metoda hodowli, a następnie uprawy roślin odpornych na szkodniki jest metodą najlepszą, niemal idealną [6]. Wiąże się to z tym, że:

- rośliny takie w ogóle nie są atakowane albo atakujący szkodnik nie może zakończyć rozwoju osobniczego i ginie zwykle jako świeżo wylęgła larwa, a więc nie powoduje żadnych uszkodzeń,
- rośliny odporne nie wymagają ochrony przez cały sezon wegetacji, a zwykle przez lata, jest to więc metoda kumulacyjna, chroni przed szkodnikiem w jego kolejnych pokoleniach,
- roślina jest chroniona niezależnie od pogody,
- chronione są jej wszystkie tkanki i organy,
- zwalczaniu ulegają tylko fitofagi, a chroni się ich wrogów naturalnych, jest to więc metoda selektywna,
- nie ma wpływu na środowisko i nie następuje jego zanieczyszczanie,
- nie wpływa na zdrowie ludzi i zwierząt domowych,
- jest to metoda tania, raz uzyskana odporność przez roślinę powoduje, że sama się broni przed szkodnikiem, często przez długi okres bez ponoszenia dodatkowych kosztów.

Amerykanie oceniają, że każdy dolar wydany na opracowanie hodowli roślin odpornych zwraca się w 50 dolarach (a tylko w 4 dolarach w przypadku metod chemicznych).

Hodowlę roślin odpornych na szkodniki prowadzi się podobnie jak hodowlę w kierunku uzyskania innych cech użytkowych, drogą selekcji lub przez krzyżowanie, a w ostatnim okresie — także wykorzystuje się techniki inżynierii genetycznej. Technika ta, stosowana dla otrzymywania odpornych na szkodniki odmian roślin uprawnych, stwarza nieograniczone możliwości, gdyż umożliwia wykorzystanie bardzo różnorodnych źródeł odporności, wprowadzanie genów do odmian posiadających cenne cechy użytkowe. Te cechy użytkowe zostają w roślinie transgenicznej zachowane, a zostaje ona wzbogacona o dodatkowe, konieczne przy uprawie cechy. Technika ta nie zastępuje więc, lecz jedynie rozszerza metody konwencjonalne hodowli roślin. Liczne gatunki roślin o znaczeniu dla różnych rejonów świata są w ten sposób przekształcane [25]. Wykorzystywanie odpornych na szkodniki transgenicznych roślin jest metodą uzyskiwania roślin uprawnych z istotnie zwiększonym poziomem odporności. Metoda ta, przynajmniej na razie, jest metodą komplementarną w integracji metod ochrony roślin przed szkodnikami w celu ograniczenia stosowania syntetycznych insektycydów. Jej rola będzie jednak wzrastać w przyszłości zarówno w krajach rozwijających się, jak i rozwiniętych. Metody otrzymywania takich roślin są już dość dobrze znane, nietrudno także o geny odporności. Zakres wykorzystywania tych roślin i ich plonów zależy będzie głównie od akceptowania ich przez konsumentów i przełamywania trudności w rejestrowaniu tych roślin.

Obecnie w procesie uzyskiwania transgenicznych roślin uprawnych odpornych na szkodniki wykorzystywane są dwie strategie.

- Źródłem odporności są geny *Bacillus thuringiensis* odpowiedzialne za produkcję delta-endotoksyny. Uzyskane w ten sposób transgeniczne rośliny uprawne "bronią się same" przed szkodnikami wrażliwymi na te toksyny.
- Źródłem odporności są geny odpowiedzialne za tworzenie w roślinach określonych enzymów, inhibitorów enzymów, toksyn lub insektycydów [10]. Geny te pochodzą z roślin innych gatunków, a uzyskane w ten sposób transgeniczne rośliny uprawne mają zmieniony skład biochemiczny i albo nie są w ogóle atakowane przez szkodnika, gdyż zawierają substancje repelentne czy antyfidantne, albo — jeśli są zasiedlane i atakowane — uniemożliwiają rozwój całego pokolenia, uszkodzenia są ograniczone, a szkodnik ginie [9, 26].

*Bacillus thuringiensis* jest bakterią znaną od pierwszych lat bieżącego wieku, izolowaną najpierw z jedwabnika morwowego i mkliką mącznego, a później z innych owadów, a także z gleby i liści wielu roślin. W czasie zarodnikowania produkuje delta-endotoksynę, która stanowi do 35% suchej masy w postaci białkowych kryształów. Po dostaniu się do przewodu pokarmowego owadów toksyna ta powoduje niszczenie nabłonka jelita, zaburzenie równowagi jonowej hemolimfy i owad przestaje żerować. Podgatunki czy szczepy tej bakterii działają na owady z rzędów motyli,

Tabela 1. Przykłady wykorzystywania *Bacillus thuringiensis* do zwalczania szkodników

Szkodnik	Uprawa/produkt/siedlisko
<b>Motyle — pole</b>	
<i>Euproctis chrysorrhoea</i>	sad
<i>Operophtera brumata</i>	sad
<i>Yponomeuta</i> spp.	sad
<i>Pieris</i> spp.	kapustne
<i>Plutella xylostella</i>	kapustne
<i>Ostrinia nubilalis</i>	kukurydza
<b>— przechowalnie</b>	
<i>Cadra cautella</i>	produkty spożywcze
<i>Plodia interpunctella</i>	produkty spożywcze
<i>Galleria melonella</i>	wosk pszczeli
<b>— lasy</b>	
<i>Malacosoma</i> sp.	drzewa liściaste
<i>Lymantria dispar</i>	drzewa leśne, parkowe
<i>Tortrix</i> spp.	drzewa liściaste
<b>Coleoptera</b>	
<i>Leptinotarsa decemlineata</i>	ziemniak
<b>Diptera</b>	
<i>Sciara</i> spp.	rośliny ozdobne
<i>Tipula</i> spp.	rośliny trawiaste
<b>Wektory chorób</b>	
<i>Anopheles, Aedes, Culex, Simulium</i>	rzeki, jeziora

muchówek i chrząszczy (tab. 1). Niestety, działanie tej bakterii jest bardzo selektywne (np. podgatunek *B.t. kurstaki* działa tylko na gąsienice motyli), przy opryskiwaniu upraw nie działa na owady żerujące wewnątrz roślin lub na korzeniach i łatwo inaktywuje się na słońcu.

Uzyskano dotychczas rośliny wielu gatunków z wprowadzonym genem odpowiedzialnym za produkcję endotoksyny *Bacillus thuringiensis*. Uzyskane tą drogą transgeniczne rośliny bywały, w zależności głównie od szczepu bakterii, w różnym stopniu odporne.

Jenkins i in. [18] badali rozwój słonecznicy (*Heliothis virescens*, *Lepidoptera*, *Noctuidae*) na transgenicznej bawełnie z genem *B.t. kurstaki*. Wzrost gąsienic na roślinach transgenicznych był z reguły powolniejszy, a przeżywalność niższa niż na roślinach nie zmienionych. Przeżywalność ta różniła się w zależności od szczepu wykorzystanej bakterii, natomiast ciężar gąsienic nie różnił się w zależności od szczepu. Żadna gąsienica z roślin transgenicznych nie przepoczwarczała się.

Benedict i in. [2] podobnie badali tę bawełnę jako pokarm dla gąsienic innej sówki (*Heliothis zea*). Stwierdzali krótszy okres żerowania, wcześniejsze opuszczanie roślin i mniejsze porażenie przez gąsienice roślin transgenicznych.

Kaiser [19] i Macilwain [23] podają, że uzyskana przez firmę Monsanto transgeniczna bawełna z genem *Btk* dla zwalczania gąsienic 3 gatunków motyli (*Heliothis zea*, *H. virescens* i *H. zea*), uprawiana po raz pierwszy w 1996 r. na obszarze 800 000 ha w USA (13% wszystkich obsiewów bawełny) zawiodła w Teksasie. Wysiana tam na obszarze 8 000 ha była atakowana przez gatunek *H. zea*. Istnieje obawa, że w ten sposób powstał szybko biotyp szkodnika odporny na *Bt k*, a ponieważ rośliny produkują endotoksynę ciągle, odporny biotyp może się wykształcić szybciej niż po opryskiwaniu roślin biopreparatem na bazie *Bt k*. Do Agencji Ochrony Środowiska (EPA) wpłynął już w wyniku tego faktu wniosek, aby wstrzymać rejestrację bawełny z *Bt*. Bawełna ta prawdopodobnie nie produkuje tej toksyny w dostatecznej ilości i stąd osobniki bardziej odporne w populacji przeżywają. Inną przyczyną może być także krzyżowanie się populacji odpornej na *Btk* z populacją wrażliwą z otoczenia uprawy roślin transgenicznych, co może prowadzić do tworzenia odpornego biotypu. Fakt ten spowodował spadek ceny akcji firm rozprowadzających nasiona transgenicznej bawełny uzyskane w Monsanto (z 33 do 26 dolarów).

Hoffmann i in. [13, 14] porównywali śmiertelność gąsienic *H. zea* żerujących na transgenicznym tytoniu z genem *B.t. kurstaki* i na tytoniu nie zmienionym. Śmiertelność szkodników była istotnie wyższa, a uszkodzenia istotnie niższe na roślinach transgenicznych. Nie zauważono natomiast różnic w wystąpieniu innych gatunków roślinożerców ani drapieżców na dwóch typach roślin.

Privalle i in. [32] analizowali kukurydzę z wprowadzonym genem *B.t. kurstaki*. Obserwowali bardzo wysoką odporność tej kukurydzy na omacnicę prosowiankę (*Ostrinia nubilalis*).

Rośliny bronią się przed roślinożercami w różnoraki sposób. Wytwarzają grube powłoki z wosku, włoski lub kolce, lepkie wydzieliny i inne zabezpieczenia przed porażeniem. Przede wszystkim jednak wytwarzają różne związki chemiczne: nieorganiczne (związki selenu), metabolity (aromatyczne aminokwasy, kwas cytrynowy) lub związki specyficzne, jak alkaloidy, glikozydy itp. [14, 15]. Niektóre z tych związków są produktem pojedynczych genów i takie mogą być wykorzystywane do transformacji roślin uprawnych i uzyskiwania roślin transgenicznych odpornych na porażenie przez szkodniki. Oto kilka przykładów.

Halcomb i in. [11] porównywali bawełnę nie zmienioną i z wprowadzonym genem odpowiedzialnym za produkcję owadobójczego białka jako pokarm dla 2 gatunków motyli, ważnych szkodników bawełny. Okazało się, że transgeniczne rośliny były bardzo toksyczne dla młodych gąsienic (stadia L<sub>1</sub> do L<sub>4</sub>), natomiast najstarsze gąsienice były odporne. Toksyczność wyrażała się w zmniejszonym żerowaniu, mniejszym ciężarze gąsienic, długości życia i większej śmiertelności w czasie rozwoju.



Gatehouse i in. [8] porównywali dwie linie transgeniczných ziemniaków jako pokarmu dla mszycy brzoskwiowej (*Myzus persicae*). Transgeniczne ziemniaki miały wbudowany gen odpowiedzialny za produkcję białkowej chitinyazy fasoli (BCH), lektynę zawilca (GNA) i alfa-inhibitor amylazy pszenicy (WAI). Obie linie ziemniaka stanowiły znacznie gorszy pokarm dla mszyc niż rośliny nie zmienione. Na transgeniczných roślinach płodność była niższa i niższe były parametry demograficzne populacji mszyc niż na roślinach kontrolnych. Obecność w roślinie ziemniaka BCH wpływała na przeżywalność dorosłych owadów i ich płodność. GNA natomiast wpływało na płodność i długość życia mszyc. Mszyca ta, jako wektor wirusów, korzysta z bakteryjnych endosymbiontów. Jeśli uda się zmienić genetycznie te bakterie, mszyca nie będzie mogła replikować i przenosić wirusa [16].

Ishimoto i in. [17] badali transgeniczną fasolę (*Vigna angularis*) jako pokarm dla ziarnojada brazylijskiego (*Zabrotes subfasciatus*). Fasola miała wbudowany gen odpowiedzialny za produkcję w nasionach fasoli inhibitora alfa-amylazy (alfa AI). Brak tego związku w nasionach sprawia, że jest ona masowo niszczone przez różne strąkowce. Natomiast transgeniczne rośliny produkowały nasiona, które nie były uszkodzane przez strąkowce [28]. Liczne szkodniki reagują także śmiertelnością na obecność w pokarmie inhibitora trypsyny (tab. 2).

**Tabela 2.** Zestawienie szkodników reagujących na inhibitory trypsyny fasoli *Vigna angularis*

Rząd	Gatunek	Uprawy porażane
<b>Uprawy polowe</b>		
<i>Lepidoptera</i>	<i>Heliothis virescens</i>	tytoń, bawełna
	<i>Helicoverpa zea</i>	kukurydza, bawełna, fasola
	<i>Helicoverpa armigera</i>	kukurydza, bawełna, fasola
	<i>Spodoptera litoralis</i>	kukurydza, ryż, tytoń
	<i>Autographa gamma</i>	burak cukrowy, sałata, fasola, ziemniak
	<i>Manduca sexta</i>	pomidor, tytoń, ziemniak
<i>Orthoptera</i>	<i>Locusta migratoria</i>	polifag
<i>Coleoptera</i>	<i>Diabrotica undecimpunctata</i>	kukurydza
	<i>Anthonomus grandis</i>	bawełna
<b>Szkodniki przechowalni</b>		
<i>Coleoptera</i>	<i>Callosobruchus maculatus</i>	fasola, soja
	<i>Tribolium confusum</i>	mąka

## Genetyczne modyfikowanie wrogów naturalnych szkodników

Wrogami naturalnymi szkodników są patogeny (głównie wirusy, bakterie i grzyby) oraz pasożyty i drapieżce. Każdy szkodnik ma wiele gatunków organizmów, które redukują i regulują jego populacje, czyli są jego wrogami. Często jednak działanie tych organizmów nie wystarcza i roślinożerca osiąga na uprawie liczebność populacji przekraczającą próg szkodliwości i wtedy musi być zwalczany. Patogeny, jak i pasożyty i drapieżce działają w porównaniu do zoocydów powoli, co zniechęca producentów do ich stosowania. Ich działanie jest w dużym stopniu uzależnione od warunków klimatycznych, stosowanego biotypu, warunków masowej hodowli i innych czynników. Techniki inżynierii genetycznej mogą przyczynić się do ulepszenia tych organizmów i prowadzić do zwiększenia efektywności ich działania.

Od wielu lat do zwalczania kilkunastu gatunków szkodliwych owadów stosowane są bioinsektycydy sporządzane na bazie bakulowirusów [22] (tab. 3). Wirusy te wyizolowano z ponad 600 gatunków owadów (muchówek, motyli i błonkówek). Podobnie jak inne bioinsektycydy działają one powoli w porównaniu z insektycydami, co zniechęca producentów do ich stosowania. Próbowano przyspieszać ich działanie przez wprowadzanie do genomu bakulowirusa genów odpowiedzialnych za produkcję hormonów lub enzymów, a także inhibitorów enzymów, neuropeptydów, selektywnie działających toksyn owadów [37]. Żadnego przyspieszenia działania nie uzyskano wprowadzając gen delta-endotoksyny *Bacillus thuringiensis*, a uzyskiwano przyspieszenie rzędu 40% w przypadku genów odpowiedzialnych za produkcję toksyn owadów [27].

Cory i in. [7] wprowadzili do wirusa nuklearnej poliedrozy motyla *Autographa californica* gen odpowiedzialny za produkcję neurotoksyny skorpiona *Androctonus australis*. Kapusta opryskana zmodyfikowanym wirusem była istotnie mniej porażona

**Tabela 3.** Przykłady bakulowirusów wykorzystywanych do zwalczania szkodników

Szkodnik	Uprawa	Kraj
<i>Autographa californica</i>	lucerna	USA
<i>Heliothis</i> spp.	bawełna	USA
<i>Lymantria dispar</i>	lasy	USA
<i>Mamestra brassicae</i>	kapusta	Francja
<i>Neodiprion sertifer</i>	lasy	Finlandia
<i>Neodiprion lecontei</i>	lasy	Kanada
<i>Orgyia pseudotsugata</i>	lasy	USA
<i>Spodoptera litoralis</i>	bawełna	Francja
<i>Trichoplusia ni</i>	kapusta	USA
<i>Cydia pomonella</i>	jabłoń	Niemcy
<i>Agrotis segetum</i>	warzywa	Dania

niż nie traktowana żadnym wirusem lub traktowana wirusem o nie zmienionym genomie. Ponadto gąsienice żerujące na roślinach traktowanych transgenicznym wirusem zamierały o 10–15% szybciej niż na roślinach traktowanych wirusem nie zmodyfikowanym. Zauważono także, że gąsienice żerujące na kapuście traktowanej zmodyfikowanym wirusem — w przeciwieństwie do tych na kapuście z wirusem nie zmienionym — spadały z roślin na ziemię przed zamieraniem. Patogeniczność dwóch typów wirusów nie różniła się początkowo, natomiast była istotnie wyższa w kilkanaście dni po zabiegu opryskiwania w przypadku nie zmienionego wirusa. Wynikało to stąd, że pozostałe na roślinach gąsienice porażone wirusem o nie zmienionym genomie ulegały po zamarcu rozpadowi, a uwolnione wirusy porażały inne gąsienice. Natomiast opadłe na ziemię, sparaliżowane przez wirus gąsienice nie powodowały dalszych infekcji zdrowych larw na roślinie.

Podobnie wykorzystano gen z maleńkiego (dł. 0,2 mm) roztocza *Pyemotes ventricosus*, którego jad jest w stanie paraliżować owady 150 000 razy większe od niego. Paraliż następuje w ciągu kilku sekund. Gen ten wbudowano do bakulowirusa i patogen ten powodował natychmiastowy paraliż gąsienic *Trichoplusia ni* [37].

Possee i King [31] podają kilka dalszych przykładów ulepszania mikroorganizmów dla zwiększenia ich skuteczności. Mikroorganizmy związane z korzeniami roślin uprawnych zmienia się przez wprowadzenie genów *Bt*. Bakteria *Pseudomonas fluorescens* z genem *Btk* zabijała gąsienice *Manduca sexta*. Natomiast bakteria ta z wprowadzonym genem odpowiedzialnym za produkcję endotoksyny działającej na muchówkę niszczyła 10–30% larw komarnicy *Tipula oleracea*, żyjących w glebie. Przez wprowadzenie genu *Bt israelensis* do bakterii brodawkowych (*Bradyrhizobium* sp.) grochu (*Cajanus cajan*) uzyskano obniżenie porażenia brodawek o 40% przez muchówkę *Riviella angulata*.

Były także próby wykorzystania zmienionych bakulowirusów dla zaburzenia metamorfozy owadów. W miarę rozwoju larwalnego owadów następuje w nich spadek poziomu hormonów juwenilnych na skutek zwiększonego poziomu produkowanej esterazy hormonu juwenilnego. Brak tej esterazy hamuje przepoczwarczenie, a nadmiar — przedwczesne przepoczwarczenie. Uzyskano bakulowirus produkujący w gąsienicach *Trichoplusia ni* esterazę, wskutek czego żerowały one słabiej. Efekt działania wirusa ujawniał się jednak tylko u larw najmłodszych [12].

Zdolność penetracji kutykuli owadów jest podstawowym warunkiem skuteczności grzybów jako patogenów. Proces ten jest związany z enzymatycznymi i fizycznymi mechanizmami. Ulepszanie owadobójczych grzybów można uzyskiwać dwoma drogami: wymieniając cechy korzystne dla zwalczania owadów pomiędzy szczepami przez płciową lub parapłciową rekombinację oraz metodą inżynierii genetycznej — wprowadzając do genomu grzyba geny odpowiedzialne za cechy decydujące o skuteczności lub odporności na fungicydy. Bernier i in. [3] (wg Possee i King [31]) uzyskali biotyp patogenicznego grzyba *Metarhizium anisopliae* odporny na benomyl.

Notuje się już pierwsze sukcesy w uzyskiwaniu transgenicznych entomofagów. Hoy [15, 16] uzyskała na Florydzie transgenicznego drapieżnego roztocza, dobroczynka, *Metaseiulus occidentalis*, z wprowadzonym genem odporności na organofosforowe insektycydy. W marcu 1996 roku uzyskała z Departamentu Rolnictwa Stanów Zjednoczonych pozwolenie na rozprzestrzenianie tego drapieżcy w celu zwalczania przędziorków w sadach, winnicach i na uprawach truskawek. Pomyślne wykorzystanie tego drapieżcy było możliwe dlatego, że dobrze znamy biologię, ekologię, sposoby masowej hodowli dobroczyneków, a jedyną przeszkodą w ich masowym wykorzystywaniu była wrażliwość na zoocydy. Dalsze prace są w toku (tab. 4). Hoy (15) wymienia także złotooka *Chrysoperla carnea* i parazytoidy: *Trioxys*

**Tabela 4.** Kierunki genetycznego ulepszania dobroczynkowatych (*Acari: Phytoseiidae*), drapieżców przędziorków i szpecieli

Gatunek	Kierunek
<i>Phytoseiulus persimilis</i>	odporność na insektycydy OP, tolerancja temperatury, płodność
<i>Amblyseius fallacis</i>	odporność na pyretroidy, karbaminiany, OP
<i>Metaseiulus occidentalis</i>	biotyp bez diapauzy

*pallidus* (wprowadzany do sadów migdałowych w Kalifornii) i *Aphytis melinus* (wprowadzany do sadów cytrusowych w Izraelu) jako gatunki ulepszone w ten sposób [15]. Ulepszenia będą dotyczyły także zwiększenia płodności, długości życia, poprawienia stosunku liczebności płci, odporności na niekorzystne czynniki środowiska, uzyskiwania biotypów niediapauzujących itp. Mnożą się doniesienia o uzyskiwaniu innych transgenicznych owadów, co także dobrze wróży wykorzystywaniu takich populacji dla zwalczania szkodników roślin. Należy przewidywać, że w przyszłości będą także wykorzystywane transgeniczne szkodniki. Zmieniona genetycznie populacja gatunku szkodliwego o niskiej płodności, o dużym procencie samców, nie tolerująca niekorzystnych warunków środowiska, ale agresywnie opanowująca uprawę, może wypierać szkodnika nie zmienionego genetycznie.

Olson i in. [30] informują o wytworzeniu komarów, które nie mogą replikować w swoich śliniankach wirusa dengi i wobec tego nie mogą przenosić tej groźnej choroby. Mahon [24] donosi o próbach wykorzystywania inżynierii genetycznej dla zwalczania muchówki, pasożyta owiec *Lucilia cuprina* w Australii.

Większość pestycydów jest rozkładana w środowisku przez mikroorganizmy. Bakterie spreparowane metodami inżynierii genetycznej mogą pomóc w oczyszczaniu gleby i wód skażonych pestycydami. W USA zidentyfikowano już geny kodujące enzymy rozkładające pestycydy [1].



## Sytuacja w Polsce

---

Od kilku lat zagadnienia biotechnologii i wykorzystania inżynierii genetycznej w ochronie roślin są przedmiotem artykułów i dyskusji [20, 21, 29].

W Instytucie Biochemii i Biofizyki PAN w Warszawie oraz w Instytucie Ochrony Roślin w Poznaniu są już prowadzone badania nad ulepszaniem bakulowirusów owadów drogą inżynierii genetycznej [33]. W IOR prowadzone są także prace nad genetycznym doskonaleniem owadobójczych nicieni *Neoaplectana feltiae* [34, 35, 36].

## Wnioski

---

1. Wydaje się, że technika inżynierii genetycznej zapewni w najbliższej przyszłości szereg nowych rozwiązań umożliwiających skuteczne zwalczanie szkodników roślin uprawnych. Około 10 lat minęło, zanim pojawiły się w handlu transgeniczne rośliny i pierwsze gatunki transgenicznych wrogów naturalnych. Ogromny rozwój badań na świecie wskazuje na przyspieszanie postępu, mimo iż są to badania kosztowne.
2. Ograniczenia w rozwijaniu tej metody wynikają z niedostatecznego poziomu wiedzy na temat powiązań między patogenami i szkodnikami a roślinami, a także braku wiadomości dotyczących biologii roślin, szkodników i ich wrogów naturalnych oraz mechanizmów odporności roślin na szkodniki.
3. Rozwój inżynierii genetycznej mogą ograniczać także trudności w uzyskaniu zgody na rozprzestrzenianie organizmów transgenicznych, brak regulacji prawnych dla rejestracji oraz uprzedzenia konsumentów co do plonów uzyskiwanych z roślin transgenicznych. Istnieje też niebezpieczeństwo przekazywania genów z jednego do innego gatunku (np. za pośrednictwem bakteryjnych endosymbiontów).

## Literatura

---

- [1] Alstein M., Aharonson N., Menn J.J. 1993. New targets for insect management in crop protection. *Arch. Ins. Biochem. Physiol.* 22: 5–12.
- [2] Benedict J.H., Sachs E.S., Altman D.W., Ring D.R., Stone T.B., Sims S.R. 1993. Impact of delta-endotoxin-producing transgenic cotton on insect-plant interactions with *Heliothis virescens* and *Helicoverpa zea* (Lepidoptera: Noctuidae). *Environ. Entomol.* 22: 1–9.
- [3] Bernier L., Cooper R.M., Charnley A.K., Clarkson J.M. 1989. Transformation of the entomopathogenic fungus *Metarhizium anisopliae* to benomyl resistance. *FEMS Microbiology letters* 60: 261–266.
- [4] Boczek J. 1984. Jak rośliny bronią się przed szkodnikami. *Ochrona Roślin* 6: 19–20.
- [5] Boczek J. 1992. Niechemiczne metody zwalczania szkodników. Wyd. SGGW, 243 s.

- [6] Boczek J. 1994. Biologiczne metody zwalczania szkodników a biotechnologia. *Post. Nauk Roln.* 3: 3–11.
- [7] Cory J.S., Hails R.S., Williams T., Hirst M.L., Goulson D., Green B.M. 1995. Field evaluation of a genetically improved baculovirus insecticide. *Proc. 3rd Int. Symp. on the biosafety results of field tests of genetically modified plants and microorganisms.* 389–392.
- [8] Gatehouse A.M.R., Down R.E., Powell K.S., Sauvion N., Rahbe Y., Newell C.A., Merryweather A., Hamilton W.D.O., Gatehouse J.A. 1996. Transgenic potato plants with enhanced resistance to the peach-potato aphid *Myzus persicae*. *Entomol. exp. appl.* 79: 295–307.
- [9] Gatehouse A.M.R., Hilder V.A. 1994. Genetic manipulation of crops for insect resistance. In: Marshall G., Walters D. (eds). *Molecular biology in crop protection:* 177–201.
- [10] Gutierrez C., Garcia-Casado G., Sanchez-Monge R., Gomez L., Castanera P., Salcedo G. 1993. Three inhibitor types from wheat endosperm are differentially active against alfa-amylases of Lepidoptera pests. *Entomol. exp. appl.* 66: 47–52.
- [11] Halcomb J.L., Benedict J.H., Cook B., Ring D.R. 1996. Survival and growth of bollworm and tobacco budworm on nontransgenic and transgenic cotton expressing a CryIA insecticidal protein (Lepidoptera: Noctuidae). *Environ. Entomol.* 25: 250–255.
- [12] Hammock B.D., Bonning B.C., Possee R.D., Hanzlik T.N., Maeda S. 1990. Expression and effects of the juvenil hormone esterase in a baculovirus vector. *Nature* 344: 458–461.
- [13] Hoffmann M.P., Zalom F.G., Wilson L.T., Smilanick J.M., Malyj L.D., Kiser J., Hilder V.A., Barnes W.M. 1992. Growth and survival of *Heliothis virescens* (Lepidoptera: Noctuidae) on transgenic cotton containing a truncate form of the delta endotoxin gene from *Bacillus thuringiensis*. *J. Econ. Entomol.* 86: 181–185.
- [14] Hoffmann M.P., Zalom F.G., Wilson L.T., Smilanick J.M., Malyj L.D., Kiser J., Hilder V.A., Barnes W.M. 1992a. Field evaluation of transgenic tobacco containing gene encoding *Bacillus thuringiensis* delta-endotoxin of cowpea trypsin inhibitor: efficacy against *Helicoverpa zea* (Lepidoptera: Noctuidae). *J. Econ. Entomol.* 85: 2516–2522.
- [15] Hoy M.A. 1994. *Insect molecular genetics. An introduction to principles and applications.* Academic Press, 546 pp.
- [16] Hoy M.A. 1996. Population genetics and dynamics of transgenic arthropod natural enemies: an overview of potential risk and logistical issues. *Proc. XX Int. Congr. Entomol, Firenze:* 291.
- [17] Ishimoto M., Sato T., Chrispeels J., Kitamura K. 1996. Bruchid resistance of transgenic azuki bean expressing seed alfa-amylase inhibitor of common bean. *Entomol. Exp. Appl.* 79: 309–315.
- [18] Jenkins J.N., Parrott W.L., McCarty J.C., Callahan F.E., Berberich S.A., Deaton W.R. 1993. Growth and survival of *Heliothis virescens* (Lepidoptera: Noctuidae) on transgenic cotton containing a truncated form of the delta endotoxin gene from *Bacillus thuringiensis*. *J. Econ. Entomol.* 86: 181–185.
- [19] Kaiser J. 1996. Pests overwhelm Bt cotton crop. *Science* 273: 423.
- [20] Lipa J.J. 1990. Wywoływanie odporności na pestycydy i temperaturę u entomofagów i akarifagów dla celów biologicznego zwalczania. *Ochrona Roślin* 1: 7–8.
- [21] Lipa J.J., Nawrot J. 1994. Biotechnologie w nowoczesnej ochronie roślin. *Mat. XXXIV Sesji Nauk. Ochr. Roślin* 1: 18–25.
- [22] Łukaszyński D., Olejnik A. 1996. Biologiczne zwalczanie owadów — zastosowanie bakulowirusów jako bioinsektycydów. *Post. Nauk Roln.* 4: 91–98.
- [23] Macilwain C. 1996. Bollworms chew hole in gene-engineered cotton. *Nature* 382: 289.
- [24] Mahon R.J. 1996. Analysis of the genetic control program for the Australian sheep blowfly *Lucilia cuprina* in Australia: a paradigm for releases of transgenic pest arthropods. *Proc. XX Int. Congr. Entomol, Firenze:* 292.
- [25] Malepszy S. 1995. Rośliny transgeniczne w uprawie polowej i hodowli roślin. *Kosmos* 44: 737–746.
- [26] Marshall G., Walters D (eds.). 1994. *Molecular biology in crop protection.* Chapman and Hall, London, 283 pp.

- [27] Merryweather A.T., Weyer W., Harris M.P.G., Hirst M., Booth T., Possee R.T. 1990. Construction of genetically engineered baculovirus insecticides containing the *Bacillus thuringiensis* subsp. *kurstaki* HD-73 delta endotoxin. *J. General Virology* 71: 1535–1544.
- [28] Minney B.H.P., Gatehouse M.R., Dobie P., Dendy J., Cardona C., Gatehouse J.A. 1990. Biochemical bases of seed resistance to *Zabrotes subfasciatus* (bean weevil) in *Phaseolus vulgaris* (common bean); a mechanism for arcelin toxicity. *J. Insect Physiol.* 36: 757–767.
- [29] Nawrot J., Lipa J. 1933. Priorytetowa dla Polski problematyka z zakresu biotechnologii w zastosowaniu do ochrony roślin. Mat. I Ogólnopols. Konf. Biotechn. Roślin i Przetw. Żywn., Warszawa, 27–28 X 1993: 18–25.
- [30] Olson K.E., Higgs S., Gaines P.J. Powers A.M., Davis B.S., Kamrud K.I., Karlson J.O., Blair C.D., Beaty B.J. 1996. Genetically engineered resistance to dengue 2 virus transmission in mosquitoes. *Science* (Wash.) 272: 884–886.
- [31] Possee R.D., King L.A. 1994. Molecular approaches to the design of biotic crop protection agents. In: Marshall G., Walters D. (eds). *Molecular biology in crop protection*: 68–97.
- [32] Privalle L.S., Fearing P.L., Brown D.L., Vlachos D. 1995. Characterization of Bt protein expression in transgenic maize. Proc. 3rd Int. Symp. on the biosafety results of field tests on genetically modified plants and microorganisms D.D. Jones (ed): 471–473.
- [33] Sobótka W., Michalik J., Ziemnicka J., Konopińska D. 1994. Proekologiczne insektycydy przyszłości. Mat. XXXIV Sesji Nauk. Inst. Ochr. Roślin I: 26–36.
- [34] Tomalak M. 1994. Genetic improvement of *Steinernema feltiae* for integrated control of the Western flower thrips, *Frankliniella occidentalis*. IOBC/WPRS Bull. 17: 17–20.
- [35] Tomalak M. 1994. New mutant and recombinant phenotypes of infective juvenils in *Steinernema feltiae*. Proc. V Int. Coll. on Invert. Path. and Micr. Control: 120–125.
- [36] Tomalak M. 1995. Biocontrol potential of new, genetically altered strains of an entopathogenic nematode, *Steinernema feltiae*. Abstract: XIII Int. Pl. Prot. Congr., The Hague, European J. Pl. Path. 620.
- [37] Tomalski M.D., Miller L.K. 1991. Insect paralysis by baculovirus — mediated expression of a mite neurotoxin gene. *Nature* 352: 82–85.

## Insect control with genetically engineered crops or enemies

### Summary

Genetic engineering is instrumental in two methods of pests control on cultivated plants: plant resistance and biological one. In both cases the aim is to improve the methods. Transgenic plants of enhanced resistance contain introduced genes of *Bacillus thuringiensis* responsible for the production of delta-endotoxin or genes encoding certain enzymes, enzyme inhibitors, toxins or insecticides. Such transgenic bean, cotton, tobacco, maize and other plants are cultivated in some countries.

Also genetically improved baculovirus, bacteria, some parasites and predators were obtained. The improvement may deal with various traits like resistance to pesticides, tolerance to temperature, virulence, fecundity, non-diapausing strains etc. Transgenic bacteria decomposing pesticide residues in the environment may be also expected in the future.