

# **Odmiany roślin transgenicznych — wprowadzanie do uprawy i wykorzystanie**

***Magdalena Gawłowska, Wojciech K. Święcicki, Bogdan Wolko***

*Instytut Genetyki Roślin Polskiej Akademii Nauk*

*60-479 Poznań, ul. Strzeszyńska 34*

*tel. (0 61) 8 23 35 11, fax (48 61) 8 23 36 71*

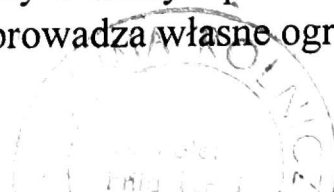
*e-mail: mgaw@igr.poznan.pl*

**Słowa kluczowe:** odmiany transgeniczne, testy polowe, obszar uprawy

## **Wstęp**

Produkty transgeniczne są już prawdopodobnie obecne na polskim rynku. Przekonamy się o tym, gdy obowiązek znakowania towarów pochodzących bezpośrednio z roślin transgenicznych lub wytworzonych z udziałem surowców transgenicznych zostanie wprowadzony do praktyki handlowej. Celem tej publikacji jest przedstawienie zakresu uprawy roślin transgenicznych na świecie, dynamiki rozwoju tego rynku oraz ocena, czy odmiany roślin transgenicznych mogą konkurować z odmianami tradycyjnymi.

We wstępie konieczne jest krótkie wyjaśnienie pojęć stosowanych w dalszej części pracy. Zanim odmiana transgeniczna trafi na rynek, przechodzi wiele etapów procedury rejestracji. W krajach Unii Europejskiej uregulowania te są skomplikowane, ponieważ opierają się na Dyrektywie 90/220, przyjętej w 1990 roku, po uchwaleniu przez kilka państw członkowskich swoich własnych zasad rejestracji odmian transgenicznych. W konsekwencji regulacja odnosząca się do tych odmian odbywa się zarówno na szczeblu danego kraju, jak i na forum Komisji Europejskiej. Wprowadzenie odmiany transgenicznej do produkcji wymaga respektowania dwóch poziomów uregulowań: po pierwsze pozwolenia na uprawę (Biosafety Clearance), opartego na Dyrektywie, po drugie rejestracji odmiany, takiej jak w wypadku odmian wytworzonych klasycznymi metodami. Procedura ta zajmuje przynajmniej 3 lata doświadczeń polowych. W praktyce firmy biotechnologiczne preferują rejestrację każdej odmiany w każdym państwie członkowskim UE oddzielnie. Zdarza się, że dane państwo wprowadza własne ograniczenia dla



F<sub>1</sub>C-2472

użytkowania określonej odmiany transgenicznej. Zanim produkt trafi na rynek, wymagane jest dodatkowo pozwolenie Komisji Europejskiej. Aktualnie nie obowiązuje żadna specjalna procedura legislacyjna w tym względzie, ale uzyskanie takiego pozwolenia jest bardzo skomplikowane [4].

Procedura prawna, pochodząca z przepisów amerykańskich, wydaje się najlepiej regulować obrót odmianami transgenicznymi. Pierwszym jej etapem jest uzyskanie zezwolenia na doświadczenie polowe (Release into the Environment), wydawane przez Animal and Plant Health Inspection Service (APHIS), organizację działającą w ramach United States Department of Agriculture (USDA). Przygotowuje ona oszacowanie środowiskowe (Environmental Assessment), w którym ocenia potencjalny wpływ na środowisko nowej odmiany transgenicznej. APHIS wydaje pozwolenie, jeżeli takiego wpływu nie stwierdza [11]. Regulacje odnoszące się do danej odmiany transgenicznej często wymagają aprobaty więcej niż jednej agencji w danym kraju, przy czym każda rozpatruje inny aspekt wykorzystania odmiany. Na terenie Stanów Zjednoczonych USDA/APHIS wydaje pozwolenia na doświadczenia polowe i później na użytkowanie rynkowe odmiany. W wypadku odmiany zawierającej gen tolerancji na pestycydy, wymagane jest również zatwierdzenie ze strony Environmental Protection Agency. Jeżeli produkt transgeniczny będzie wykorzystany jako produkt żywnościowy lub jako pasza dla zwierząt, wymagana jest zgoda Food and Drug Administration.

Od roku 1993 wprowadzono w USA system notyfikacji dla 6 gatunków roślin transgenicznych, odnośnie których USDA/APHIS ma już bogate doświadczenie w testowaniu i użytkowaniu odmian. Są to: kukurydza, pomidor, soja, ziemniak, bawełna i tytoń [4]. Procedura notyfikacji jest najprostszą drogą uzyskania pozwolenia APHIS na testy polowe lub import odmian zmodyfikowanych genetycznie i jest stosowana w większości wypadków odmian wyżej wymienionych gatunków [12]. Po przeprowadzeniu testów polowych można ubiegać się również o zwolnienie odmiany transgenicznej z procesu regulacyjnego (Deregulatory Petitions lub Petitions to Determination of Non-Regulated Status). Notyfikacja pozwala na uzyskanie statusu „non-regulated” odmianie zmodyfikowanej genetycznie, poddanej testom polowym i kandydującej do obrotu handlowego [12].

W Polsce w listopadzie 1996 r. Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju Wsi w porozumieniu z Ministerstwem Środowiska, Ministerstwem Zdrowia i Opieki Społecznej oraz Komitetem Badań Naukowych powołało Zespół Konsultacyjny ds. Organizmów Transgenicznych. Celem jego działania było przygotowanie rozwiązań prawnych dotyczących organizmów transgenicznych oraz ocena i opiniowanie wniosków dotyczących wprowadzania organizmów transgenicznych do środowiska. Drugim organem powołanym przez Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju wsi jest komisja ds. Rejestracji Środków Biotechnicznego i Biologicznego Zwalczania oraz Roślin Transgenicznych. Oba zespoły ściśle ze sobą współpracują. Przyjęto, że polskie prawodawstwo związane z wykorzystaniem organizmów modyfikowanych genetycznie powinno być zbieżne z uregulowaniami Unii Europejskiej [10].

W wypadku wniosku o wprowadzenie genetycznie modyfikowanych roślin do środowiska rozpatrywana jest zasadność tego przedsięwzięcia i wydawane zezwolenie na przeprowadzenie testów polowych. Aby uzyskać takie zezwolenie wnioskujący musi przedstawić informacje dotyczące charakteru genetycznie zmodyfikowanego organizmu, zamierzonego celu zastosowania, wyników testów potencjalnych zagrożeń, lokalizację czasową i geograficzną planowanego eksperymentu, przewidywane zanieczyszczenie środowiska i możliwości zagrożenia dla różnorodności biologicznej oraz metody kontroli.

## Testy polowe

---

Jednym z kryteriów oceny postępu inżynierii genetycznej w różnych gatunkach roślin transgeniczných jest liczba wykonanych testów polowych. Pod tym względem istnieje duże zróżnicowanie pomiędzy krajami rozwiniętymi a rozwijającymi się. Większość doświadczeń polowych przeprowadza się w Ameryce Północnej i Europie. Jeszcze większe zróżnicowanie istnieje w liczbie odmian transgeniczných wytwarzanych w różnych państwach. Kraje rozwijające się służą raczej jako miejsce sezonowej produkcji nasion dla międzynarodowych firm biotechnologiczných i nasienných. Wyjątek stanowią Chiny i Kuba, które wytwarzają i testują własne odmiany transgeniczne. Sytuacja ta powoli zaczyna się zmieniać. Również inne kraje rozwijające się zaczynają opracowywać własne odmiany, co dowodzi, że zaczynają one adaptować nowe technologie do własnych potrzeb [14].

W okresie od 31.12.1998 do 25.04.2000 roku zarejestrowano na terenie USA 1535 podań o zezwolenie na przeprowadzenie doświadczeń polowych. Spośród nich 1482 to podania o notyfikację, z których 1163 zatwierdzono. Z pozostałych 53 podań o zezwolenie na przeprowadzenie doświadczeń polowych (poza procedurą notyfikacyjną) zatwierdzono 27. W sumie w wymienionym okresie wydano 1190 pozwoleń na testy polowe. Nie zatwierdzono natomiast podania typu *Deregulatory Petition* [13]. Aby uzyskać pełniejszy obraz rynku roślin transgeniczných, należy przeanalizować informacje pochodzące z kilku lat.

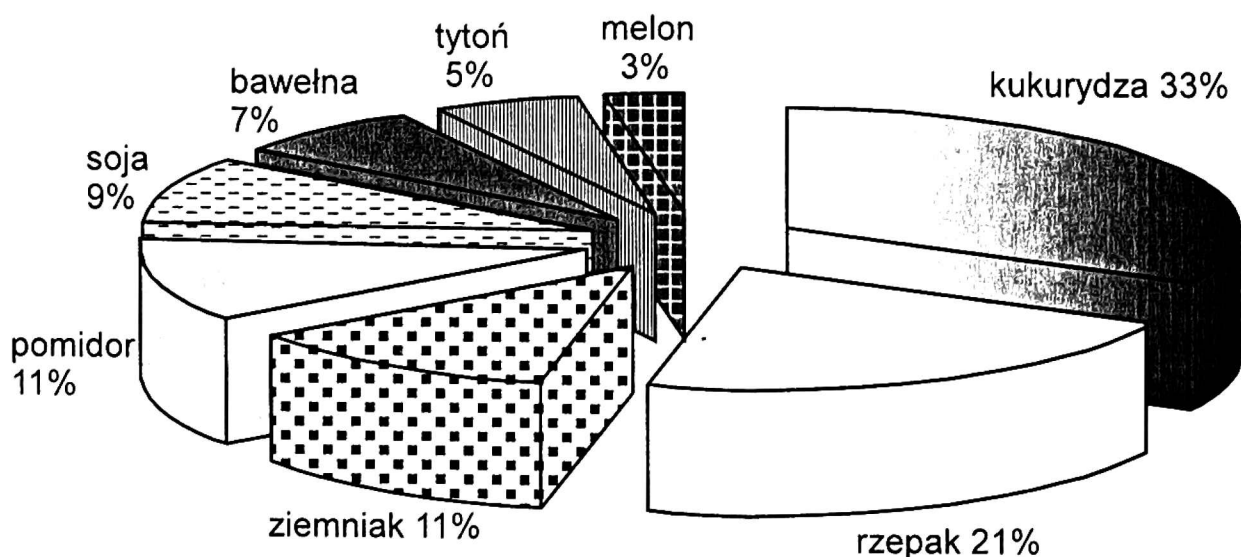
Dane dotyczące liczby doświadczeń polowych z różnymi gatunkami roślin transgeniczných w Stanach Zjednoczonych, Kanadzie i większości krajów europejskich są dostępne np. w bazie danych OECD [9]. Porównywalne wyliczenia dla Afryki, Azji, Ameryki Łacińskiej i Wysp Karaibskich są trudniejsze do uzyskania. Najczęściej pochodzą z informacji zbieranych przez *Green Industry Biotechnology Platform* (GIBP), będącą stowarzyszeniem większości europejskich firm biotechnologiczných. Dla krajów o ustalonych mechanizmach rejestracji, dane na temat doświadczeń polowych pochodzą z oficjalnych informacji, uzyskiwanych z agencji rządowych. Również UE ma dane na temat pozwoleń na przeprowadzanie doświadczeń na terenie krajów członkowskich [4].

**Tabela 1.** Gatunki transgenicznych roślin testowanych w doświadczeniach polowych na całym świecie w latach 1986–1995 [4]

Duża liczba doświadczeń polowych (>150 doświadczeń)	Średnia liczba doświadczeń polowych (25–150 doświadczeń)	Niska liczba doświadczeń polowych (1–25 doświadczeń)
bawełna, kukurydza, melon, pomidor, rzepak, soja, tytoń, ziemniak	burak cukrowy, dynia, goździk, kantalup, lucerna, len, ryż, słonecznik	belladonna, brzoza, cykoria, chryzantema, eukaliptus, gerbera, groch, jabłoń, jarzab, jęczmień, kalafior, kapusta, kiwi, koniczyna, łubin, malina, marchew, mietlica, oberżyna, ogórek, orzech włoski, orzech ziemny, papaja, papryka, petunia, pszenica, rzodkiewnik, sałata, słonecznik, słodki ziemniak, szparag, śliwa, świerk, topola, truskawka, trzcina cukrowa, winorośl, żurawina błotna

W latach 1986–1997 przeprowadzono blisko 25 000 doświadczeń polowych w 45 krajach z około 60 gatunkami roślin uprawnych, w których modyfikowano 10 cech [4]. W tabeli 1 zestawiono gatunki roślin transgenicznych charakteryzujące się różną liczbą prowadzonych doświadczeń polowych w okresie od 1986 do końca 1995 roku.

Liczbę doświadczeń polowych w latach 1986–1995 w poszczególnych krajach przedstawiono w tabeli 2. Z ogólnej liczby wszystkich doświadczeń 72% przeprowadzono w USA. W dalszej kolejności sytuują się Europa, Ameryka Łacińska, Azja oraz kilka doświadczeń przeprowadzono w Republice Południowej Afryki. W roku 1999 już 78,17% doświadczeń przeprowadzono w Stanach Zjednoczonych, 8,52% w Kanadzie, 7,39% we Francji, 1,45% w Holandii, 1,32% w Wielkiej Brytanii, 1,24% w Belgii. Poniżej 1% udziału w tej liczbie mają Hiszpania, Japonia, Niemcy, Australia, Nowa Zelandia, Szwecja, Dania, Brazylia i Republika Południowej Afryki [9]. Wynika z tego, że kolejność państw o największej liczbie przeprowadzonych doświadczeń polowych nie zmienia się znacząco.



**Rysunek 1.** Transgeniczne gatunki roślin uprawnych, najczęściej poddawane doświadczeniom polowym w latach 1986–1995 [4]



**Tabela 2.** Liczba doświadczeń polowych w poszczególnych krajach w latach 1986–1995 [4]

Kraj	Ogólna liczba doświadczeń polowych
USA	1952
Kanada	486
Francja*	253
Wielka Brytania	133
Holandia	113
Belgia	97
Argentyna	78
Włochy	69
Chiny	60
Niemcy	49
Australia	46
Chile	39
Meksyk	38
Hiszpania	30
Japonia	25
Węgry	22
Republika Południowej Afryki	22
Kuba	18
Szwecja	18
Kostaryka	17
Dania	16
Nowa Zelandia	15
Rosja	11
Finlandia	10
Boliwia	6
Belize	5
Portugalia	5
Bułgaria	3
Gwatemala	3
Egipt	2
Szwajcaria	2
Tajlandia	2
Norwegia	1
Zimbabwe	1
<b>Ogółem</b>	<b>3 647</b>

\*Pozwolenia na więcej lat badań liczono jak na 1 rok.

Najczęściej doświadczenia polowe dotyczyły kukurydzy (1024 doświadczenia), rzepaku (665 doświadczeń), ziemniaka (362 doświadczenia), pomidora (353 doświadczenia), soi (278 doświadczeń), bawełny (224 doświadczenia), tytoniu (161 doświadczeń) i melona (92 doświadczenia). Proporcje dotyczące liczby doświadczeń polowych dla poszczególnych gatunków obrazuje rysunek 1.

W Polsce, jak dotąd, brak jest oficjalnych danych na temat liczby prowadzonych testów polowych z roślinami modyfikowanymi genetycznie. Brak również informacji o gatunkach poddanych modyfikacjom genetycznym. Z zebranych informacji wynika, że liczba zezwoleń na testy polowe wzrastała z 3 w 1997 r., 11 w 1998 r. do 21 w 1999 r. W roku 2000 wydano zezwolenia na przeprowadzenie 11 testów.

## Odmiany transgeniczne w produkcji rolniczej

Podobnie jak wyżej omawiane dane, dotyczące wyłącznie doświadczeń polowych, interesujące są porównania odnośnie zasięgu uprawy odmian transgenicznych i ich udziału w całości obszaru uprawy poszczególnych gatunków. Obszar uprawy wszystkich odmian transgenicznych (wprowadzonych do sprzedaży) w 1997 roku wynosił 12,8 mln hektarów i w porównaniu z rokiem poprzednim wzrósł 4,5-krotnie [2]. Obszar uprawy odmian transgenicznych w różnych krajach w 1998 r. przedstawiono w tabeli 3.

**Tabela 3.** Obszar uprawy odmian transgenicznych w różnych krajach w 1998 roku [3]

Kraj	Ogólny obszar uprawny w kraju [mln ha]	Obszar uprawy odmian transgenicznych [mln ha]	Uprawa odmian transgenicznych [% ogólnego obszaru upraw krajowych]	Udział w światowym areale uprawy odmian transgenicznych [%]
USA	418,2	20,5	4,90	74
Argentyna	169,2	4,3	2,54	15
Kanada	74,7	2,8	3,75	10
Australia	472,0	0,1	0,02	1
Meksyk	107,2	< 0,1	< 0,09	< 1
Hiszpania	30,1	< 0,1	< 0,33	< 1
Francja	29,9	< 0,1	< 0,33	< 1
Republika Południowej Afryki	99,7	< 0,1	< 0,10	< 1

W 1998 roku najbardziej dynamiczny przyrost obszaru uprawy odmian transgenicznych miał miejsce w Argentynie. Zanotowano tam 3-krotny przyrost arealu w porównaniu z rokiem 1997, podczas gdy w USA przyrost ten był 2,5-krotny, a w Kanadzie 2,1-krotny [3]. Jeszcze w 1996 i 1997 roku Chiny były drugim po USA ośrodkiem uprawy roślin transgenicznych (rok 1996 — 1,1 mln hektarów, czyli 39% światowego obszaru roślin transgenicznych; rok 1997 — 1,8 mln hektarów, czyli 14% światowego obszaru roślin transgenicznych) [2]. W 1998 roku nie uwzględniono obszaru Chin, ponieważ uzyskano dyskusyjne dane wskazujące na obszar poniżej 100 000 hektarów, czyli mniej niż 1% światowego obszaru upraw odmian transgenicznych [3]. W tabeli 4 zestawiono dane dotyczące obszaru upraw poszczególnych gatunków w latach 1996–1998. W Polsce jeszcze nie zarejestrowano żadnej odmiany transgenicznej, ani nie wydano oficjalnego zezwolenia na uprawę zagranicznych odmian roślin modyfikowanych genetycznie.

**Tabela 4.** Światowy obszar uprawy roślin transgenicznych w latach 1996–1998 [1, 2]

Gatunek	Światowy obszar uprawy gatunku [mln ha]	Uprawa odmian transgenicznych [mln ha]	Udział w światowym areale uprawy odmian transgenicznych [%]
<b>1996</b>			
Tytoń	4,6	1	35
Bawełna	34,5	0,8	27
Soja	61,6	0,5	18
Kukurydza	14,1	0,3	10
Rzepak	21,7	0,1	5
<b>1997</b>			
Tytoń	5,4	1,7	13
Bawełna	33,8	1,4	11
Soja	67,0	5,1	40
Kukurydza	142,3	3,2	25
Rzepak	23,6	1,2	10
<b>1998</b>			
Tytoń	5,4	—	—
Bawełna	33,2	2,5	9
Soja	70,5	14,5	52
Kukurydza	138,9	8,3	30
Rzepak	26,0	2,5	9

## Cechy modyfikowane w odmianach transgenicznych

W 1996 roku najczęściej wprowadzaną do odmian transgenicznych cechą była odporność na wirusy (40% odmian). W dalszej kolejności zajmowano się cechami odporności na owady (37% odmian), tolerancją na herbicyd (23% odmian) i poprawą cech jakościowych (poniżej 1% odmian). W roku 1997 stwierdzono następujące zmiany: 54% obszaru uprawy roślin transgenicznych zajmowały odmiany z cechą tolerancji na herbicyd, 31% stanowiły odmiany z cechą odporności na owady, 14% odmiany odporne na wirusy oraz mniej niż 1% odmian z ulepszonymi cechami jakościowymi [2]. Uszeregowanie to utrzymało się w roku 1998, ze zmianą poszczególnych udziałów procentowych: tolerancja na herbicyd 71%, odporność na owady 28%, odmiany z ulepszonymi cechami jakościowymi mniej niż 1% [3].

**Tolerancja na herbicyd.** Obecnie trwają doświadczenia polowe nad uzyskaniem odmian tolerujących zwiększone dawki herbicydów, takich jak: kwas 2,4-dichlorofenoksyoctowy, Asulam, Atrazyna, Bromoksynil, Fosametyn, Glufosinat/Fosfinothrycyna, Glifosat, Pirydyna, Sulfonilomocznik [4]. Stwierdzono paradoksalnie, że od-

**Tabela 5.** Niektóre odmiany transgeniczne roślin uprawnych o zwiększonej tolerancji na herbicyd [12]

Gatunek	Instytucja	Gen	Fenotyp
Kukurydza	Monsanto	EPSPS — dawca: <i>Agrobacterium</i>	tolerancja na Glifosat
Ryż	Monsanto	1. EPSPS — dawca: <i>Agrobacterium</i> 2. EPSPS — dawca: <i>Arabidopsis thaliana</i>	tolerancja na Glifosat
Ziemniak	Monsanto	1. CBI — dawca: CBI 2. Replikaza — dawca: PLRV	tolerancja na Glifosat odporność na stonkę ziemniaczaną odporność na PLRV
Bawełna	ARS	1. Monooksygenaza — dawca: <i>Alcaligenes eutrophus</i> 2. NptII*	tolerancja na 2,4-D

\* — marker selekcyjny; CBI — tajna informacja handlowa; EPSPS — syntaza enolopirogronian 3-fosfoszokimian; NptII — fosfotransferaza neomycynowa; ARS — Agricultural Research Service (prowadzi badania na terenie USA nad organizmami zmodyfikowanymi genetycznie); PLRV — luteowirus liściozwoju ziemniaka.

miany takie pozwalają na zredukowanie ilości stosowanych herbicydów. W Stanach Zjednoczonych wprowadzenie do uprawy odmian soi o zwiększonej tolerancji na herbicyd pozwoliło zmniejszyć o 33% poziom stosowanych herbicydów [5]. Kilka przykładów odmian o zwiększonej tolerancji na herbicyd, dla których wydano zgodę na doświadczenia polowe, zamieszczono w tabeli 5.

**Jakość produktu.** Prowadzone są intensywne badania nad uzyskaniem odmian roślin uprawnych o ulepszonych cechach jakościowych. Wprowadzane zmiany w roślinach transgenicznych można podzielić na trzy grupy: (1) — zmiany typu „input” (cechy użytkowe), (2) — zmiany typu „output” (od żywności do jakości przemysłowej) oraz (3) — produkcja substancji specjalnych. Oto przewidywany zakres wykorzystania tego typu zmian:

- wydłużenie okresu świeżości owoców i warzyw, co jest szczególnie ważne w krajach tropikalnych i w wypadku dalekiego transportu;
- zwiększenie zawartości zdrowych tłuszczów i oleju;
- podniesienie wartości odżywczych, np. zawartości witamin;
- podniesienie poziomu białek o charakterze antyrakowym, np. u soi;
- zwiększenie wartości pokarmowych, np. zmieniony skład aminokwasowy;
- inne zmiany, np. modyfikacja lignin, służąca zwiększonemu pozyskaniu włókien;
- produkcja nowych substancji, np. biodegradowalnych zamiast tworzyw sztucznych lub szczepionek [5].

Kilka przykładów odmian transgenicznych z modyfikacjami powyższego typu zamieszczono w tabeli 6.

**Cechy odporności.** Odmiany transgeniczne z genami odporności na owady mogą obecnie zastąpić część rynku środków owadobójczych o wartości 3 miliardów USD,



**Tabela 6.** Transgeniczne odmiany roślin uprawnych o zmodyfikowanych cechach związanych z jakością produktu [13]

Gatunek	Instytucja	Gen	Fenotyp
<b>Zmiany typu „output”</b>			
Soja	Uniwersytet Kentucky	1. białko zapasowe — dawca: kukurydza 2. $\beta$ -glukuronidaza* 3. fosfotransferaza hygromycynowa*	zmieniony skład aminokwasów
Soja	Monsanto	1. CBI — dawca: CBI 2. CBI*	podniesiony poziom białka
Soja	Monsanto	1. CBI — dawca: CBI 2. EPSPS*	zmieniony skład oleju
Soja	Calgene	1. tioesteraza — dawca: CBI 2. NptII*	zmienione składniki nasion
Kukurydza	Monsanto	1. CBI — dawca: CBI 2. NptII*	wzmocniony poziom fotosyntezy
Bawełna	Agracetus	1. CBI — dawca: CBI 2. $\beta$ -glukuronidaza* — dawca: <i>E. coli</i>	zmieniona jakość włókien
Bawełna	Calgene	1. białko wiążące miedź — dawca: <i>Streptomyces antibioticus</i> 2. tyrozynaza — dawca: <i>Streptomyces antibioticus</i> 3. NptII*	melanina produkowana we włóknach bawełny
Ziemniak	Calgene	1. CBI — dawca: CBI 2. $\beta$ -glukuronidaza* — dawca: <i>E. coli</i> 3. NptII*	podniesiony poziom węglowodanów
Kawa	Uniwersytet Hawajski	1. ksantozyno-N7-metyltransferaza antysensowna — dawca: kawa 2. NptII*	zredukowany poziom kofeiny
Pomidor	Zeneca	1. syntaza fitoenu — dawca: <i>Erwinia</i> spp. 2. NptII*	zmieniona zawartość karotenoidów
Pomidor	Zeneca	1. trehalaza — dawca: ziemniak 2. NptII*	podniesiony poziom suchej masy, wzrost plonu
Pomidor	Uniwersytet Floryda	1. antysens białkowego receptora etylenu — dawca: pomidor 2. NptII*	opóźnione dojrzewanie owoców
Pomidor	Campbell	1. antysens metylesterazy pektynowej — dawca: pomidor 2. NptII*	ulepszona jakość owoców
Pomidor	Uniwersytet Floryda	1. pyrofosforylaza ADP-glukozy — dawca: kukurydza 2. NptII*	podwyższony poziom skrobi

Ciąg dalszy tabeli 6.

Gatunek	Instytucja	Gen	Fenotyp
<b>Zmiany typu „input”</b>			
Pszenica	Uniwersytet Montana	1. pyrofosforylaza ADP-glukozy — dawca: kukurydza 2. transferaza acetylowa fosfinotrycyny *	wzrost plonu
Kukurydza	Plant Genetic Systems	1. CBI — dawca: CBI 2. transferaza acetylowa fosfinotrycyny — dawca: <i>Streptococcus hygroscopicus</i>	tolerancja na stres tolerancja na fosfinotrycynę
Wiechlina łąkowa	Uniwersytet Rutgers	1. białko późnej embriogenezy — dawca: jęczmień 2. fosfotransferaza hygromycynowa*	podniesiony poziom tolerancji na zasolenie tolerancja na suszę
Bawełna	Uniwersytet Texas Tech	1. peroksydaza askorbinowa — dawca: groch 2. reduktaza glutationu — dawca: <i>Arabidopsis thaliana</i> 3. NptII*	tolerancja na stres tlenowy
<b>Produkcja specyficznych substancji chemicznych lub środków farmaceutycznych</b>			
<i>Rhizobium</i>	Uniwersytet Wisconsin	trifolitoksyna — dawca: <i>Rhizobium leguminosarum</i>	produkcja antybiotyków
Soja	Agracetus	1. CBI — dawca: CBI 2. $\beta$ -glukuronidaza* — dawca: <i>E. coli</i>	produkcja nowego białka, produkcja przeciwciał
Soja	Monsanto	1. CBI — dawca: CBI 2. CBI*	produkcja enzymów przemysłowych
Soja	Monsanto	1. CBI — dawca: CBI 2. CBI*	produkcja polimerów
Kukurydza	ProdiGene	1. CBI — dawca: CBI 2. transferaza acetylowa fosfinotrycyny*	produkcja białek wykorzystanych przez farmację
Kukurydza	ProdiGene	1. CBI — dawca: CBI 2. transferaza acetylowa fosfinotrycyny *	produkcja antybiotyków
Ryż	Applied Phytologics	1. CBI — dawca: CBI 2. fosfotransferaza hygromycynowa*	produkcja białek wykorzystanych przez farmację
Pomidor	ProdiGene	NptII*	produkcja białek wykorzystanych przez farmację

\* marker selekcyjny;  
CBI — tajna informacja handlowa.

**Tabela 7.** Przykłady odmian transgenicznych z cechami odporności na owady, wirusy, grzyby lub bakterie

Gatunek	Instytucja	Gen	Fenotyp
<b>Odporność na owady</b>			
Kukurydza	Dow	1. CBI — dawca: Bt 2. CBI — dawca: CBI 3. transferaza acetylowa fosfinotrycyny*	odporność na chrząszcze <i>Coleoptera</i>
Pomidor	Uniwersytet Ohio	1. peroksydaza anionowa — dawca: tytoń 2. NptII*	odporność na owady
<b>Odporność na wirusy</b>			
Tytoń	Uniwersytet Kentucky	1. białko płaszczka — dawca: AMV 2. białko płaszczka — dawca: TVMV 3. NptII*	odporność na AMV, PVY, TEV, TVMV
Melon	Upjoin	1. białko płaszczka — dawca: CMV 2. białko płaszczka — dawca: PRSV 3. białko płaszczka — dawca: WMV2 4. białko płaszczka — dawca: ZYMV 5. $\beta$ -glukuronidaza* — dawca: <i>E. coli</i> 6. NptII*	odporność na cucumowirusy i potywirusy
<b>Odporność na grzyby</b>			
Kukurydza	Holdens	1. białko antygrzybowe — dawca: <i>Aspergillus giganteus</i> 2. transferaza acetylowa fosfinotrycyny — dawca: <i>Strep. viridochromogenes</i> 3. białko inaktywujące rybosomy — dawca: jęczmień	odporność na antraknozę, <i>Helminthosporium</i> , <i>Cercospora</i> , plamistość, tolerancja na fosfinotrycynę
Kukurydza	Uniwersytet Illinois	1. chitynaza — dawca: fasola 2. glukanaza — dawca: kukurydza 3. transferaza acetylowa fosfinotrycyny*	odporność na <i>Aspergillus</i> , tolerancja na fosfinotrycynę
<b>Odporność na bakterie</b>			
Ryż	Uniwersytet California Davis	1. receptor kinazowy — dawca: ryż 2. fosfotransferaza hygromycynowa* 3. NptII*	odporność na bakteryjną rdzę liści
Ziemniak	Frito Lay	1. CBI — dawca: CBI 2. NptII*	odporność na bakteryjną mięką zgniliznę

\* marker selekcyjny;

CBI — tajna informacja handlowa;

AMV — alfalfa mosaic virus; PVY — potato virus Y; TEV — tomato etation virus;

CMV — cucumber mosaic virus; TVMV — tobacco vein mottling potyvirus;

PRSV — papaya ringspot virus; WMV — watermelon mosaic virus; ZYMV — zucchini yellow mosaic virus.

podnosząc jednocześnie plon o 5–10%. W wypadku samej bawełny część tego rynku ma wartość 1,2 miliarda USD. Odporność na owady odmian transformowanych genem Bt pochodzącym z bakterii *Bacillus thuringiensis* jest porównywalna lub wyższa niż tradycyjnych odmian chronionych chemicznymi metodami zwalczania szkodników. Zmniejszone dawkowanie środków owadobójczych obniża koszty, oszczędza czas, redukuje ryzyko zanieczyszczenia środowiska i uszkodzenia zdrowia człowieka. Przyjmuje się, że toksyny Bt są wysoce specyficzne wobec określonych gatunków szkodników, nie wyrządzając szkody owadom zapylającym i pożytecznym. Nie można tego powiedzieć o innych środkach owadobójczych, np. pyretroidach [5]. Wybrane przykłady odmian transgenicznych ze zmodyfikowanymi cechami odporności na owady i czynniki chorobotwórcze przedstawiono w tabeli 7.

### **Korzyści ekonomiczne związane z uprawą odmian transgenicznych**

---

Dynamikę rozwoju rynku roślin transgenicznych możemy obserwować na podstawie bardzo zaskakujących zmian, jakie zaszły między rokiem 1997 i 1998. Biorąc pod uwagę 3 czynniki, tj. odmianę, cechę rośliny transgenicznej oraz kraj uprawy, można stwierdzić, że pierwsze miejsce zajmowała soja o zwiększonej tolerancji na herbicyd, uprawiana na terenie USA, której obszar uprawy wzrósł w ciągu roku z 3,6 mln ha do 10,2 mln ha, co stanowiło 36% ogólnego obszaru uprawy soi w tym kraju. Kolejne miejsce zajmowała soja o zwiększonej tolerancji na herbicyd, uprawiana na terenie Argentyny, której obszar uprawy wzrósł z 1,4 mln ha do 4,3 mln ha, co stanowiło ponad 60% obszaru uprawy soi w tym kraju. Następne miejsce zajmowała kukurydza odporna na owady, której areal w USA wzrósł z 2,8 mln ha do 6,5 mln ha, stanowiąc 22% całego obszaru uprawy kukurydzy w USA. Kolejnym przykładem może być rzepak o zwiększonej tolerancji na herbicyd, którego uprawa w Kanadzie zwiększyła się w ciągu roku z 1,2 mln ha do 2,4 mln ha, osiągając 50% krajowego obszaru uprawy rzepaku. W krajach Unii Europejskiej rozpoczęto uprawę odmian transgenicznych dopiero w 1998 roku — w Hiszpanii (20 000 ha) i Francji (2000 ha) [3].

W końcu 1997 roku zatwierdzono do sprzedaży 48 odmian transgenicznych należących do 12 gatunków uprawnych i obejmujących modyfikacje 6 cech. Należały one do 22 właścicieli technologii, w tym 20 pochodzących z sektora prywatnego [2]. Coraz częściej powstają firmy — potentaci w dziedzinie „life science”, które zajmują się zarówno wytwarzaniem nasion, jak i żywności lub produktów zdrowotnych. Dzieje się tak, ponieważ w rozwiniętych systemach rynkowych można uzyskać największe zyski, zajmując się cechami transgenicznymi typu „output”, szczególnie jeżeli łańcuch produkcji jest dobrze zintegrowany. W krajach rozwijających się postęp biotechnologii roślin jest inaczej ukierunkowany. Największy zysk osiągany jest



tam poprzez wprowadzanie na rynek odmian o ulepszonych cechach agronomicznych, czyli typu „input”. W przyszłości prawdopodobnie zyskają na znaczeniu modyfikacje cech związanych z ulepszaniem jakości żywności. Prognozy na następną dekadę przewidują integrację i konsolidację potentatów biotechnologii. W dalszej kolejności przewiduje się otwarcie perspektyw przed mniejszymi firmami, zajmującymi się produktami specjalnymi dla szczególnych wymagań klientów [5].

W 1998 roku do czołowych firm na rynku agrobiotechnologii należały:

Firma	Sprzedaż [mln USD]	Zmiana [% w stosunku do roku 1997]
Novartis (Szwajcaria)	4,152	-1,1
Monsanto (USA)	4,032	23
DuPont (USA)	3,156	26
Zeneca (Wielka Brytania)	2,897	8,3
AgrEvo (Niemcy)	2,410	2,5
Bayer (Niemcy)	2,273	0,2
Rhône-Poulenc (Francja)	2,266	2,9
Cyanamid (USA)	2,194	3,5
Dow Agro-Sci. (USA)	2,132	11
BASF (Niemcy)	1,945	4,9

Największym przyrostem zysków ze sprzedaży w roku 1998 poszczycić się może firma DuPont (USA). Połączyła ona sprzedaż produktów agrochemicznych i biotechnologicznych. Na drugim miejscu uplasowała się firma Monsanto, która osiągnęła znaczne zyski dzięki zwiększeniu o 1/4 sprzedaży glifosatu i potrojeniu obszaru uprawy swoich odmian transgenicznych. Firma Novartis okazała się liderem w sprzedaży pestycydów i nasion. Jednak poniosła znaczne straty z powodu niższej niż zakładano sprzedaży herbicydów, spowodowanej niższymi cenami towaru, warunkami pogodowymi oraz innymi czynnikami. Podobne trudności miały firmy Cyanamid, Rhône-Poulenc i Zeneca [7].

Głównym argumentem zwolenników roślin transgenicznych jest zysk, jaki może uzyskać rolnik z ich uprawy. Zysk ten kształtuje się różnie, w zależności od roku uprawy, odmiany, gatunku, lokalizacji uprawy, nasilenia obecności szkodników, natężenia występowania choroby lub zagęszczenia chwastów, a także ośrodka prezentującego dane (tab. 8).

Szacowania dokonane przez prywatne firmy odnośnie zysku z uprawy roślin transgenicznych były następujące:

- plon — 10–20 bu. · ac.<sup>-1</sup> (buszli z 1 akra, tj. około 0,9–1,8 t · ha<sup>-1</sup>),
- ceny: Novartis odmiany standardowe — 134 USD / 80 000 jednostek zbożowych  
odmiany Bt — 156 USD / 80 000 jednostek zbożowych  
Pioneer odmiany Bt — 186 USD / 80 000 jednostek zbożowych.

Oszacowania odnośnie odmian kukurydzy z genem Bt i jej podatności na porażenie omacnicą prosowianką (european corn borer) dokonał również Regionalny Komitet

**Tabela 8.** Oszacowanie zysków osiągniętych przy uprawie odmian transgenicznych niektórych roślin uprawnych

Odmiana/kraj	Zysk [mln USD]	
	1996	1997
<b>USA</b>		
Bawełna Bt	128	133
Kukurydza Bt	19	119
Soja (tolerancja na herbicyd)	12	5
Ziemniak Bt	—	1
<b>Kanada</b>		
Rzepak (tolerancja na herbicyd)	5	48
Kukurydza Bt	—	5*

\* [3].

tet Badawczy USDA, gromadzący członków z 20 stanów USA, Meksyku i Kanady. Oszacowanie to odnosiło się do rejonu Ontario, jako modelowego rejonu USA (tab. 9). Komitet podkreślił, że mniejsze straty ponosi rolnik płacący więcej za nasiona odpornej odmiany transgenicznej w wypadku ataku omacnicy prosowianki, nawet przy niskim poziomie występowania szkodnika [6].

**Tabela 9.** Zyski z uprawy odmian kukurydzy z genem Bt [6]

Stopień porażenia przez prosowiankę	Nadwyżka plonu odmian Bt w stosunku do plonu odmian standardowych [bu. · ac. <sup>-1</sup> ]	Obniżka plonu u odmian standardowych [bu. · ac. <sup>-1</sup> ]	Straty [USD · ac. <sup>-1</sup> ]	Nadwyżka cenowa odmian Bt [USD · ac. <sup>-1</sup> ]
Niski	3–5	5–6	12,5–15,0	
Średni	5–8	—	—	9–14
Wysoki	10–15	120–140	20,0–37,5	

Ekspertki podkreślają trudność takiego oszacowania ze względu np. na rodzaj gleby i klimat, w jakim uprawiana jest dana odmiana, lub ze względu na poziom występowania szkodników. Stwierdzono, że na oszacowanie zysku mają wpływ następujące cechy producenta: wielkość gospodarstwa, wykształcenie i doświadczenie rolnika, a także inne czynniki, takie jak: szkodnik, wobec którego stosowany jest pestycyd, warunki pogodowe, cena materiału siewnego, stosunek środków zainwestowanych do kredytów, marketing lub kontrakty produkcyjne, cena zbytu i udział konsultantów. Znaczenie tych zmiennych waha się w zależności od odmiany i technologii. W wypadku uprawy bawełny istotnym problemem jest walka z chwastami, wymagająca dwu lub więcej oprysków w okresie wegetacyjnym. Zysk związany z zastosowaniem odmian o zwiększonej tolerancji na herbicyd pochodził głównie ze wzrostu plonu, natomiast nie zano-

towano znaczącej różnicy w zużyciu herbicydu. W wypadku uprawy odmian soi o zwiększonej tolerancji na herbicyd (17% całego obszaru uprawy soi) zanotowano niewielki wzrost plonu i tym samym niewielki zysk. W wyniku uprawy odmian transgenicznych wzrosło zużycie glifosatu, zmalało jednak stosowanie innych związków chemicznych. Pozwoliło to na zmniejszenie ogólnego zużycia herbicydów. Zastosowanie odmiany Bt zwiększyło plon, a tym samym i zysk oraz umożliwiło ograniczenie zastosowania niektórych typów insektycydów [8].

## Literatura

---

- [1] FAOSTAT. 1998.
- [2] James C. 1997. Global Status of Transgenic Crops in 1997. ISAAA Briefs No. 5.
- [3] James C. 1998. Global Review of Commercialized Transgenic Crops: 1998. ISAAA Briefs No. 8.
- [4] James C., Krattiger A.F. 1996. Global Review of the Field Testing and Commercialization of Transgenic Plants: 1986 to 1995, The First Decade of Crop Biotechnology. ISAAA, Ithaca, NY. pp. 31.
- [5] Krattiger A. 1998. The Importance of Ag-biotech to Global Prosperity.
- [6] PLANT BREEDING NEWS — EDITION 071, Decembre 23, 1998.
- [7] PLANT BREEDING NEWS — EDITION 098 May 10, 1999.
- [8] Smith K., Heimlich R. 1999. Impacts of Adopting Genetically Engineered Crops in the US — Preliminary Results.
- [9] Summary of Data from OECD's Database of Field Trials. 1999.
- [10] Twardowski T. 1997. Inżynieria genetyczna w hodowli roślin. Materiały z I Krajowej Konferencji „Hodowla Roślin”, 19–20 listopada Poznań: 269–375.
- [11] USDA Agricultural Biotechnology — Background on the Environmental Releases Database. 2000.
- [12] USDA Agricultural Biotechnology — Permitting, Notification and Deregulation. 2000.
- [13] USDA Agricultural Biotechnology — Field Release Database Online. 2000.
- [14] Virgin I. Field Testing and Commercialisation of Genetically Modified Plants in Developing Countries. 2000.

## **Transgenic cultivars — introduction into farming and utilization**

---

**Key words:** transgenic plants, field tests, cultivation area

### Summary

A number of preliminary field tests and a growing area show an importance of transgenic cultivars. About 25 000 field tests in 45 countries with 60 crops and 10 characters were conducted in 1986–1997. Over 70% of all tests were conducted in the USA. A transformed maize, potatoes, tomato, soybean, cotton, tobacco and melon were most frequently under these tests. Most frequently modified characters were: the tolerance to herbicides (about 70% of all cultivars), resistance to insect and viruses and the qualitative characters, too.

A growing area of transgenic cultivars increased substantially in past years and reached 12.8 mln ha in 1997 (4.5 fold increase in comparison to 1996) and 28 mln ha in 1999. However, it happened just in 3 countries — in USA (74% of world growing area of transgenic cultivars), Argentina (15%) and Canada (10%). These cultivars covered 4.9% of total growing area in the USA, 2.54% in Argentina and 3.75% in Canada. By now the EU countries started to grow transgenic cultivars in 1998 with 20 000 ha in Spain and 2000 ha in France.

Transgenic cultivars of some crops cover a substantial area. For example, in 1998 the transgenic soya with an increased tolerance to herbicides covered 36% of total soya acreage in the USA and 60% in Argentina.