

Alina Liersch, Iwona Bartkowiak-Broda, Maria Ogradowczyk
Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin, Zakład Roślin Oleistych w Poznaniu

Ocena plonowania i cech jakościowych różnego typu odmian mieszańcowych rzepaku ozimego

Evaluation of yielding ability and qualitative traits of different types of winter oilseed rape hybrids

Słowa kluczowe: rzepak ozimy, CMS *ogura*, CMS *polima*, typy mieszańców, plon, cechy jakościowe

Key words: winter oilseed rape, CMS *ogura*, CMS *polima*, types of hybrids, yield, quality traits

W Zakładzie Roślin Oleistych IHAR w Poznaniu prowadzone są badania nad różnego typu odmianami mieszańcowymi rzepaku ozimego stworzonymi w oparciu o dwa systemy genowocytoplazmatycznej męskiej niepłodności: CMS *ogura* i CMS *polima*. W doświadczeniu polowym założonym w trzech miejscowościach przebadano 23 mieszańce wytworzone przy wykorzystaniu systemu CMS *ogura*: 11 niezrestorowanych mieszańców złożonych, 7 zrestorowanych i 5 mieszanych oraz 7 mieszańców zrestorowanych utworzonych w oparciu o CMS *polima*. Stwierdzono, że plon badanych mieszańców, a także cechy jakościowe, takie jak zawartość oleju i glukozynolanów w nasionach, w sposób istotny zależą od genotypów i warunków środowiskowych. Wystąpiła również tendencja do lepszego plonowania mieszańców zrestorowanych i mieszanych utworzonych w oparciu o CMS *ogura*. Najniżej plonowały mieszańce typu CMS *polima*. U mieszańców zrestorowanych i mieszanych typu CMS *ogura* stwierdzono znaczny wzrost zawartości glukozynolanów alkenowych w nasionach zebranych z roślin pokolenia F₁ w stosunku do ich zawartości w nasionach siewnych.

In Oil Crop Department of Plant Breeding and Acclimatization Institute in Poznań the investigations were conducted on different types of hybrids developed using two genocyttoplasmic male sterility systems: CMS *ogura* and CMS *polima*. Different types of hybrids were examined in the field trials in three localities: 7 restored, 5 mixed and 11 composite hybrids developed using CMS *ogura* and 7 restored hybrids developed using CMS *polima*. It was stated that the yield of different types of hybrids and qualitative traits as oil and glucosinolate content are significantly dependent on genotypes and environmental conditions. A tendency to significantly higher yielding of restored and mixed hybrids developed on the CMS *ogura* system was also found. Hybrids of CMS *polima* type revealed the lowest yield. It was stated that in restored and mixed hybrids of CMS *ogura* type appeared significant increase of alkenyl glucosinolate content in seeds harvested from F₁ plants in comparison to glucosinolate content in sowing seeds.

Wstęp i cel pracy

Wysoki efekt heterozji w plonie nasion rzepaku w pokoleniu F_1 potwierdzony przez wielu badaczy (Bartkowiak-Broda 1977; Grant i in. 1985; Lefort-Buson 1982; Lefort-Buson i in. 1982, 1983; Krzymański i in. 1993, 1994, 1998) był przesłanką do rozwoju badań nad uzyskaniem odmian mieszańcowych rzepaku.

Od momentu zarejestrowania we Francji w 1994 r. (Pinochet 1995) pierwszej odmiany mieszańcowej złożonej Synergy, w Europie obserwuje się ciągle wzrost liczby zarejestrowanych różnego typu odmian mieszańcowych rzepaku oraz wzrost powierzchni, na której uprawia się te odmiany. W sezonie wegetacyjnym 1999/2000 w krajach Unii Europejskiej produkujących rzepak odmianami mieszańcowymi obsiane było około 22% powierzchni przeznaczonej pod uprawę tej rośliny: we Francji 24%, Niemczech 16%, Wielkiej Brytanii 21%, Danii 26% (Renard i in. 1997; Pinochet, Bertrand 2000). Poza Europą, w Kanadzie mieszańce zajmują 10% powierzchni uprawy rzepaku, a w Chinach 20%. W Polsce w 1999 roku zarejestrowano odmianę mieszańcową złożoną rzepaku jarego Margo, której powierzchnię uprawy szacuje się na około 5000 ha.

Wprowadzone do uprawy odmiany mieszańcowe charakteryzują się nie tylko wyższą plennością w porównaniu do najlepszych odmian populacyjnych, ale także lepszym wyrównaniem. Ze względu na równomierne ich dojrzewanie obserwuje się mniejsze straty podczas zbioru, a uzyskany dla przemysłu olejarskiego surowiec jest lepszej jakości. Rośliny mieszańcowe dzięki dynamicznemu rozwojowi jesienią także lepiej wykorzystują składniki pokarmowe z gleby.

Koszt produkcji materiału siewnego nasion odmian mieszańcowych jest wyższy od produkcji nasion odmian populacyjnych, dlatego aby ich uprawa była opłacalna, plon odmian mieszańcowych musi być znacząco wyższy dla zrekomensowania kosztów poniesionych na zakup materiału siewnego. W związku z tym poszukuje się takich systemów tworzenia odmian mieszańcowych, które zapewnią wysoki efekt heterozji w plonie nasion przy zachowaniu ich dobrych cech jakościowych.

W Zakładzie Roślin Oleistych IHAR w Poznaniu prowadzone są prace badawcze nad możliwością hodowli odmian mieszańcowych przy wykorzystaniu genowo-cytoplazmatycznej męskiej niepłodności CMS *ogura* i CMS *polima*.

Odkryty u rzodkwi przez Ogura (1968) system CMS *ogura* w pełni kontroluje zapylenie krzyżowe i może być wykorzystany do produkcji odmian mieszańcowych rzepaku. Czynnikiem ograniczającym dotąd możliwość wykorzystania CMS *ogura* do hodowli odmian mieszańcowych był brak wartościowych linii restorerów. Gen restorer poprzez krzyżowanie został wprowadzony do genotypu rzepaku z genotypu rzodkwi (Heyn 1976). Otrzymane linie restorery nie były ustabilizowane genetycznie, co powodowało obniżenie ich żeńskiej płodności, a także charakteryzowały się silnym sprzężeniem genu restorera z jednym z genów

warunkujących wysoką zawartość glukozyolanów (Pellan-Delourme, Renard 1988; Delourme i in. 1995). Ze względu na długi i trudny proces selekcji pożądanych linii restorerów dla systemu CMS *ogura* hodowane są różnego typu odmiany mieszańcowe: niezrestorowane mieszańce złożone, mieszańce mieszane, a dopiero od niedawna, po uzyskaniu pierwszych linii restorerów o ulepszonej jakości i plenności, mieszańce zrestorowane pokolenia F₁.

System CMS *polima* został odkryty w Chinach przez Fu (1981) w populacji rzepaku jarego odmiany Polima. Czynnikiem limitującym wykorzystanie tego systemu do produkcji mieszańców jest niska częstotliwość występowania genotypów utrzymujących linie CMS oraz rzadsza w porównaniu do CMS *ogura* częstotliwość występowania kombinacji mieszańcowych wykazujących wysoki efekt heterozji.

Celem przeprowadzonych doświadczeń było porównanie poziomu plonowania i cech jakościowych mieszańców rzepaku ozimego utworzonych w oparciu o systemy CMS *ogura* i CMS *polima* oraz różnych typów odmian mieszańcowych.

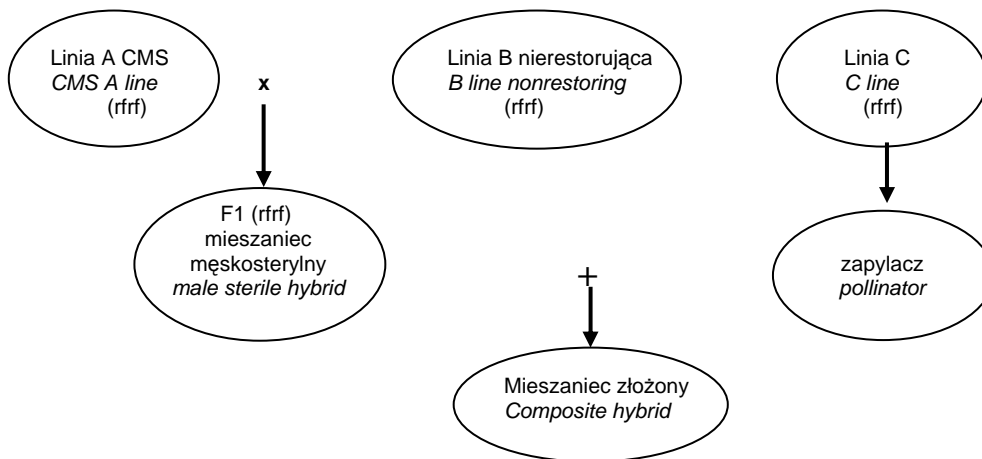
Material i metodyka

Materiał do badań stanowiły 23 różnego typu odmiany mieszańcowe utworzone w oparciu o CMS *ogura*:

- 11 niezrestorowanych mieszańców złożonych, będących mieszaniną nasion męskosterylnego mieszańca pokolenia F₁ i męskopłodnej linii zapylającej w proporcji 70% : 30%;
- 5 mieszańców mieszanych*, które są efektem krzyżowania pomiędzy męskosterylną linią CMS oraz linią z allelami genu restorera w stanie heterozygotycznym, a otrzymany mieszaniec zawiera 50% roślin męskopłodnych i 50% roślin męskosterylnych;
- 7 mieszańców zrestorowanych, składających się w 100% z roślin męskopłodnych,
- 7 mieszańców zrestorowanych wytworzonych na bazie CMS *polima*.

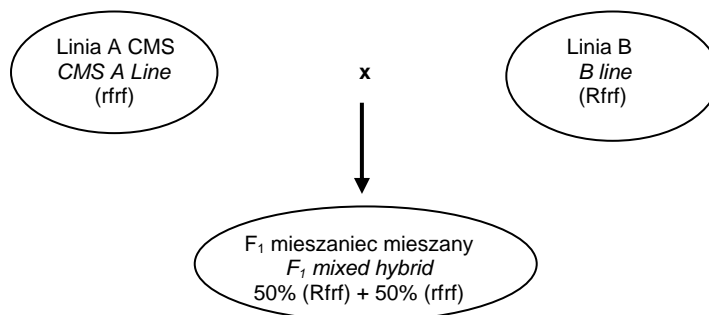
Sposób tworzenia różnych typów odmian mieszańcowych przedstawiają rysunki 1–3. Mieszańce te badano w sezonie wegetacyjnym 1998/99 w doświadczeniu polowym w trzech miejscowościach: Zakładach Doświadczalnych IHAR Borowo, Smolice (Łagiewniki) oraz w IHAR Radzików, założonym metodą bloków kompletnie zrandomizowanych w czterech powtórzeniach z wzorcem, którym był mieszaniec złożony POH 495. Drugim obiektem wzorcowym była odmiana populacyjna Kana.

* Mieszańce mieszane zostały wytworzone w Pracowni Genetyki i Hodowli Jakościowej przez mgr Teresę Piętkę.



rfrf — recesywne allele genu restorera — *recessive alleles of restorer gene*

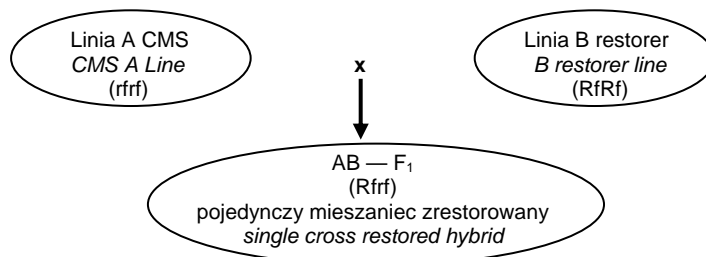
Rys. 1. Schemat produkcji nasion odmian mieszańcowych złożonych — *Scheme of composite hybrid seed production*



RfRf, rfrf — dominujące i recesywne allele genu restorera — *dominant and recessive alleles of restorer gene*

Rys. 2. Schemat produkcji nasion odmian mieszańcowych mieszanych — *Scheme of mixed hybrid seed production*

Uzyskane wyniki opracowano statystycznie przy pomocy programów Anvar i Sergen. Zawartość glukozyfuranów oznaczono metodą silylowych pochodnych glukozyfuranów za pomocą chromatografu firmy Perkin Elmer (Michalski i in. 1995). Zawartość oleju w nasionach określono przy pomocy analizatora NMR firmy Newport. Bonitacja cech fenotypowych została wykonana w skali 9-cio stopniowej, przy czym 9 stanowiło ocenę najlepszą.



RfRf, rfrf — dominujące i recesywne allele genu restorera — *dominant and recessive alleles of restorer gene*

Rys. 3. Schemat produkcji nasion mieszańcowych zrestorowanych — *Scheme of restored hybrid seed production*

Wyniki

Plon

W przeprowadzonym doświadczeniu wszystkie mieszańce utworzone przy wykorzystaniu CMS *ogura* plonowały wyżej od mieszańców utworzonych w oparciu o system CMS *polima*. Średni plon mieszańców CMS *ogura* wyniósł 24,57 dt/ha, a mieszańców CMS *polima* 17,11 dt/ha. Mieszańce zrestorowane i mieszane utworzone na bazie CMS *ogura* plonowały lepiej (zrestorowane 26,47 dt/ha i mieszane 27,03 dt/ha) od mieszańców złożonych, których średni plon wyniósł 22,24 dt/ha (rys. 4). Wykonana analiza wariancji dla średnich plonów poszczególnych typów mieszańców wykazała istotne statystycznie różnice w plonie nasion między nimi. Mieszańce zrestorowane CMS *polima* plonowały istotnie słabiej od wszystkich typów mieszańców CMS *ogura*. W grupie mieszańców CMS *ogura* najwyższe plonowały odmiany zrestorowane i mieszane, natomiast istotnie słabszy plon stwierdzono u odmian niezrestorowanych (tab. 1).

Plon nasion był w sposób istotny uzależniony od genotypów, z których utworzono mieszańce oraz od warunków środowiskowych (tab. 2). Uzyskane wyniki wskazują na silny wpływ środowiska na wysokość i wierność plonowania badanych obiektów.

Zawartość tłuszczu

Mieszańce CMS *ogura* charakteryzowały się wyższą zawartością tłuszczu w porównaniu do mieszańców typu *polima* (rys. 5). Zawartość oleju w nasionach zebranych z mieszańców F₁ wahała się od 42,8% do 47,2% przy średniej zawartości oleju dla mieszańców CMS *ogura* 45,96% oraz 44,31% dla mieszańców CMS *polima* i w sposób wysoce istotny zależała od genotypu i warunków środowiskowych oraz istotnie od współdziałania obu tych czynników (tab. 1 i 2).

Tabela 1

Porównanie różnych typów mieszańców — *Comparison of different hybrid types*

Plon nasion [dt/ha] — Seed yield					
Nasiona zebrane — średnia z 3 miejscowości — <i>Harvested seeds — mean from 3 localities</i>					
Rodzaj mieszańca — <i>Hybrid type</i>		średnia — <i>mean</i>	NIR _{0,05} — <i>LSD_{0,05}</i>		
CMS <i>pol</i>	mieszańce zrestorowane — <i>restored hybrids</i>	17,11	3,00	(1–2)	
CMS <i>ogu</i>	mieszańce niezrestorowane <i>non restored hybrids</i>	22,24	3,99	(2–3)	
CMS <i>ogu</i>	mieszańce zrestorowane — <i>restored hybrids</i>	26,47	4,59	(3–4)	
CMS <i>ogu</i>	mieszańce mieszane — <i>mixed hybrids</i>	27,03	3,94	(1–3)	
			3,44	(2–4)	
			1,72	(1–4)	
Analiza wariancji — <i>Variance analysis</i>					
Źródło wariancji <i>Source of variability</i>		stopnie swobody <i>degrees of freedom</i>	suma kwadratów <i>sum of square</i>	średni kwadrat <i>mean square</i>	F obl. <i>F cal.</i>
Pomiędzy rodzajami mieszańca — <i>Between hybrid types</i>		3	413,613	137,87	13,70**
W obrębie grup — <i>Within hybrid types</i>		26	261,643	10,06	
Razem — <i>Total</i>		29	675,256		
Zawartość tłuszczu [%] — Oil content					
Nasiona zebrane — średnia z 3 miejscowości — <i>Harvested seeds — mean from 3 localities</i>					
Rodzaj mieszańca — <i>Hybrid type</i>		średnia — <i>mean</i>	NIR _{0,05} — <i>LSD_{0,05}</i>		
CMS <i>pol</i>	mieszańce zrestorowane — <i>restored hybrids</i>	44,32	1,34	(1–2)	
CMS <i>ogu</i>	mieszańce mieszane — <i>mixed hybrids</i>	45,72	0,37	(2–3)	
CMS <i>ogu</i>	mieszańce zrestorowane — <i>restored hybrids</i>	45,88	0,79	(3–4)	
CMS <i>ogu</i>	mieszańce niezrestorowane <i>non restored hybrids</i>	46,12	1,14	(1–3)	
			0,92	(2–4)	
			1,19	(1–4)	
	F obl. = 6,37**				
Nasiona siewne — mieszaniec F ₁ — <i>Sowing seeds F₁ hybrids</i>					
CMS <i>ogu</i>	mieszańce niezrestorowane <i>non restored hybrids</i>	38,77	2,55	(1–2)	
CMS <i>pol</i>	mieszańce zrestorowane — <i>restored hybrids</i>	39,69	2,72	(2–3)	
CMS <i>ogu</i>	mieszańce mieszane — <i>mixed hybrids</i>	45,08	2,46	(3–4)	
CMS <i>ogu</i>	mieszańce zrestorowane — <i>restored hybrids</i>	48,41	3,08	(1–3)	
			2,07	(2–4)	
			2,51	(1–4)	
	F obl. = 31,12**				

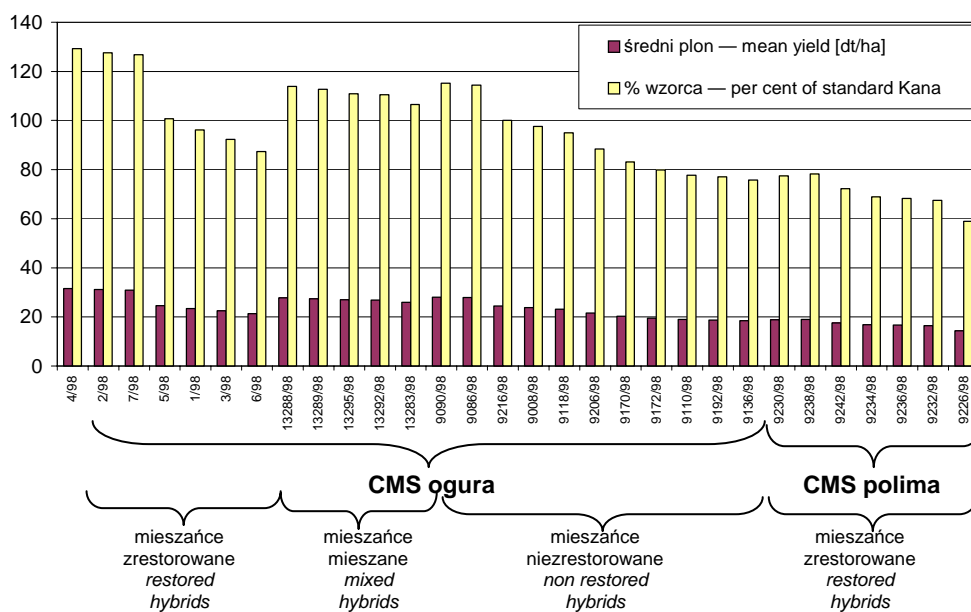
ciąg dalszy tabeli 1

Suma glukozynolanów [$\mu\text{M/g}$ nasion] — <i>Glucosinolate content</i>				
Nasiona zebrane — średnia z 3 miejscowości — <i>Harvested seeds — mean from 3 localities</i>				
Rodzaj mieszańca — <i>Hybrid type</i>		średnia — <i>mean</i>	NIR _{0,05} — <i>LSD_{0,05}</i>	
CMS <i>pol</i>	mieszańce zrestorowane — <i>restored hybrids</i>	8,31	1,75	(1–2)
CMS <i>ogu</i>	mieszańce niezrestorowane <i>non restored hybrids</i>	8,74	1,94	(2–3)
CMS <i>ogu</i>	mieszańce mieszane — <i>mixed hybrids</i>	13,13	3,60	(3–4)
CMS <i>ogu</i>	mieszańce zrestorowane — <i>restored hybrids</i>	13,61	1,13	(1–3)
F obl. = 11,95**			2,78	(2–4)
			3,12	(1–4)
Nasiona siewne — mieszaniec F ₁ — <i>Sowing seeds F₁ hybrids</i>				
CMS <i>ogu</i>	mieszańce mieszane — <i>mixed hybrids</i>	5,44	2,35	(1–2)
CMS <i>pol</i>	mieszańce zrestorowane — <i>restored hybrids</i>	7,20	2,32	(2–3)
CMS <i>ogu</i>	mieszańce zrestorowane — <i>restored hybrids</i>	7,57	2,31	(3–4)
CMS <i>ogu</i>	mieszańce niezrestorowane <i>non restored hybrids</i>	11,23	1,84	(1–3)
F obl. = 11,59**			2,44	(2–4)
			2,46	(1–4)
Glukozynolany alkenowe [$\mu\text{M/g}$ nasion] — <i>Aliphatic glucosinolate content</i>				
Nasiona zebrane — średnia z 3 miejscowości — <i>Harvested seeds — mean from 3 localities</i>				
CMS <i>pol</i>	mieszańce zrestorowane — <i>restored hybrids</i>	4,77	1,80	(1–2)
CMS <i>ogu</i>	mieszańce niezrestorowane <i>non restored hybrids</i>	5,08	2,10	(2–3)
CMS <i>ogu</i>	mieszańce mieszane — <i>mixed hybrids</i>	9,71	3,65	(3–4)
CMS <i>ogu</i>	mieszańce zrestorowane — <i>restored hybrids</i>	10,26	0,73	(1–3)
F obl. = 12,66**			2,89	(2–4)
			3,07	(1–4)
Nasiona siewne — mieszaniec F ₁ — <i>Sowing seeds F₁ hybrids</i>				
CMS <i>ogu</i>	mieszańce mieszane — <i>mixed hybrids</i>	3,44	1,74	(1–2)
CMS <i>ogu</i>	mieszańce zrestorowane — <i>restored hybrids</i>	4,29	1,84	(2–3)
CMS <i>pol</i>	mieszańce zrestorowane — <i>restored hybrids</i>	4,64	2,52	(3–4)
CMS <i>ogu</i>	mieszańce niezrestorowane <i>non restored hybrids</i>	7,45	1,76	(1–3)
F obl. = 6,31**			2,43	(2–4)
			2,78	(1–4)

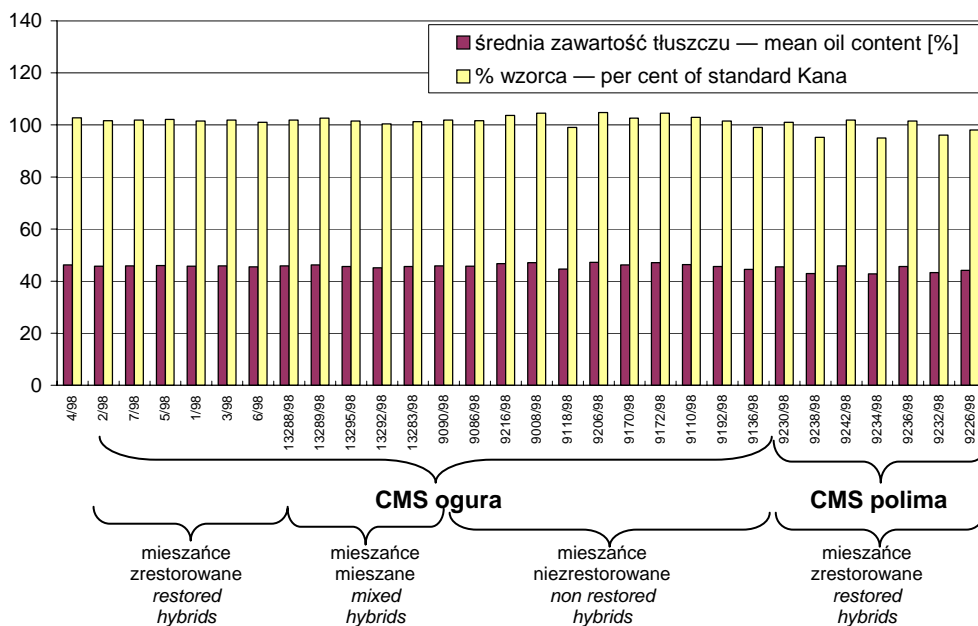
Tabela 2

Analiza wariancji badanych mieszańców w doświadczeniach polowych — 1998/99
Variance analysis of different types of hybrids in field trials — 1998/99

Źródło zmienności <i>Source of variability</i>	Liczba stopni swobody <i>Degrees of freedom</i>	Suma kwadratów <i>Sum of square</i>	Średni kwadrat <i>Mean square</i>	Statystyka F obl. <i>F cal.</i>
Plon nasion [dt/ha] — <i>Seed yield</i>				
Środowiska — <i>Environments</i>	2	4735,49	2367,75	616,95**
Genotypy — <i>Genotypes</i>	31	2043,84	65,93	17,17**
Interakcja genotypy * środowiska <i>Interaction genotypes x environments</i>	62	525,82	8,48	2,21**
Regresja względem środowiska <i>Regression on environment</i>	31	249,22	8,04	2,09**
Odchylenie od regresji — <i>Regress deviation</i>	31	276,60	8,92	2,32**
Błąd doświadczeń — <i>Experimental error</i>	279		3,84	
Zawartość tłuszczu [%] — <i>Oil content</i>				
Środowiska — <i>Environments</i>	2	428,64	214,32	764,63**
Genotypy — <i>Genotypes</i>	31	109,77	3,54	8,85**
Interakcja genotypy * środowiska <i>Interaction genotypes x environments</i>	62	24,18	0,39	1,39*
Regresja względem środowiska <i>Regression on environment</i>	31	12,28	0,40	1,43
Odchylenie od regresji — <i>Regress deviation</i>	31	11,90	0,38	1,37
Błąd doświadczeń — <i>Experimental error</i>	279		0,28	
Suma glukozynolanów [μM/g nasion] — <i>Glucosinolate content</i>				
Środowiska — <i>Environments</i>	2	50,37	25,18	11,47**
Genotypy — <i>Genotypes</i>	31	991,84	31,99	14,61**
Interakcja genotypy * środowiska <i>Interaction genotypes x environments</i>	62	275,74	4,45	2,03**
Regresja względem środowiska <i>Regression on environment</i>	31	172,94	5,58	2,55**
Odchylenie od regresji — <i>Regress deviation</i>	31	102,80	3,32	1,51*
Błąd doświadczeń — <i>Experimental error</i>	279		2,19	
Glukozynolany alkenowe [μM/g nasion] — <i>Aliphatic glucosinolate content</i>				
Środowiska — <i>Environments</i>	2	48,19	24,09	12,74**
Genotypy — <i>Genotypes</i>	31	1074,33	34,66	12,74**
Interakcja genotypy * środowiska <i>Interaction genotypes x environments</i>	62	295,69	4,77	18,34**
Regresja względem środowiska <i>Regression on environment</i>	31	195,39	6,30	2,52**
Odchylenie od regresji — <i>Regress deviation</i>	31	100,30	3,24	3,33**
Błąd doświadczeń — <i>Experimental error</i>	279		1,89	1,71



Rys. 4. Plonowanie różnych typów mieszańców rzepaku ozimego w doświadczeniach polowych w 1998/99 roku — *Yielding of different hybrid types of winter oilseed rape in field trials 1998/99*

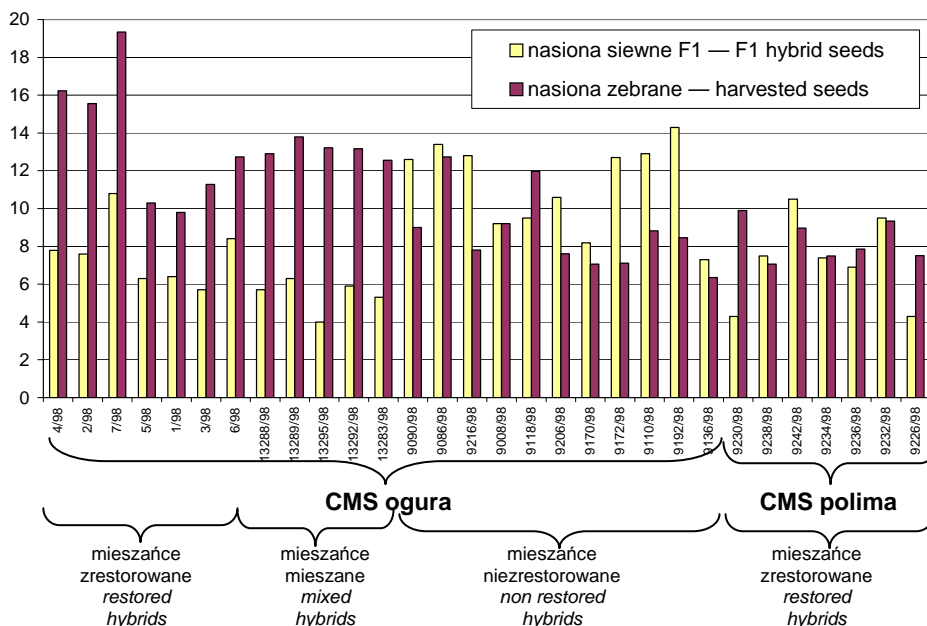


Rys. 5. Zawartość tłuszczu w różnych typach mieszańców rzepaku ozimego w doświadczeniach polowych w 1998/99 roku — *Oil content in different hybrid types of winter oilseed rape in field trials 1998/99*

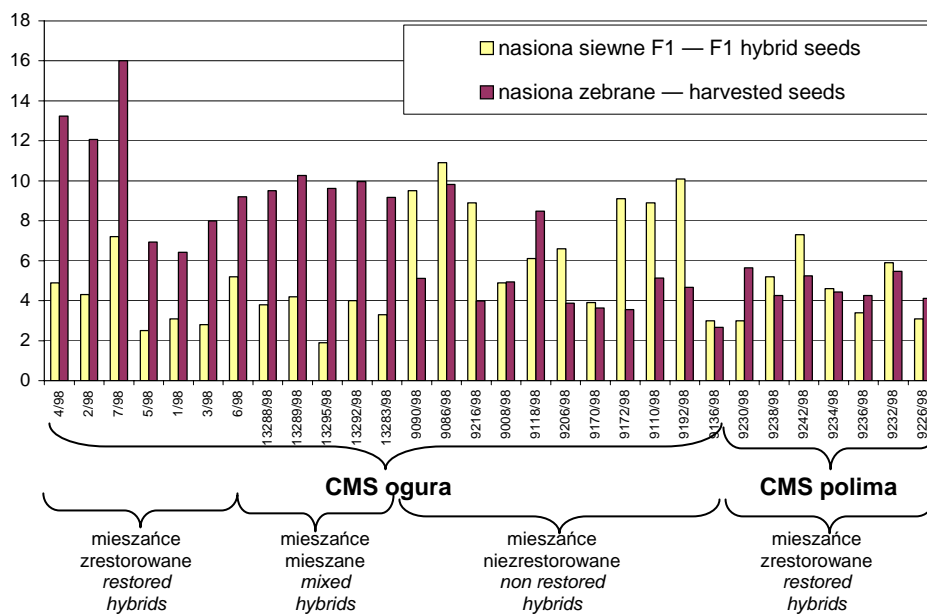
Mieszzańce typu *polima* oraz mieszane i złożone typu *ogura* charakteryzowały się wyższą zawartością tłuszczu w materiale zebrany w porównaniu do materiału siewnego. Jedynie w przypadku mieszańców zrestorowanych zaobserwowano obniżenie zawartości tłuszczu w porównaniu do materiału siewnego (tab. 1, rys. 5). Na podstawie analizy wariancji stwierdzono istotne statystycznie różnice w zawartości tłuszczu pomiędzy poszczególnymi typami mieszańców zarówno w materiale siewnym, jak i zebrany z mieszańców pokolenia F_1 .

Zawartość glukozyzolanów

Szczególnie ważna jest kontrola zawartości glukozyzolanów w nasionach siewnych oraz po zbiorze nasion handlowych z plantacji odmian mieszańcowych. W mieszańcach badanych w doświadczeniach poziom szkodliwych w żywieniu zwierząt glukozyzolanów był najniższy w nasionach zebranych z mieszańców CMS *polima*. Średnia zawartość glukozyzolanów w mieszańcach CMS *polima* wyniosła 8,31 $\mu\text{M/g}$ nasion, a w mieszańcach CMS *ogura* 11,18 $\mu\text{M/g}$ nasion. Niezrestorowane mieszajce złożone charakteryzowały się niższą zawartością glukozyzolanów 8,74 $\mu\text{M/g}$ nasion, podczas gdy mieszajce zrestorowane zawierały 13,61 $\mu\text{M/g}$ nasion, a mieszane 13,13 $\mu\text{M/g}$ nasion (tab. 1). Porównując zawartość glukozyzolanów w nasionach zebranych z mieszańców pokolenia F_1 i w nasionach siewnych odnotowano nieznaczny wzrost zawartości glukozyzolanów w mieszańcach zrestorowanych CMS *polima* z 7,20 $\mu\text{M/g}$ nasion do 8,31 $\mu\text{M/g}$ nasion, a w mieszańcach CMS *ogura* nastąpił nawet dwukrotny wzrost zawartości tych związków. W nasionach zebranych z mieszańców zrestorowanych zawartość glukozyzolanów wynosiła 13,61 $\mu\text{M/g}$ nasion, podczas gdy w nasionach siewnych tylko 7,57 $\mu\text{M/g}$ nasion, a w nasionach mieszańców mieszanych odpowiednio 13,13 $\mu\text{M/g}$ nasion i 5,44 $\mu\text{M/g}$ nasion. W nasionach mieszańców złożonych odnotowano spadek zawartości glukozyzolanów w materiale zebrany z doświadczenia w porównaniu z materiałem siewnym z 11,23 $\mu\text{M/g}$ nasion do 8,74 $\mu\text{M/g}$ nasion (rys. 6), podobnie u odmiany Kana. Analogicznie kształtowały się wyniki dla glukozyzolanów alkenowych w poszczególnych typach mieszańców (rys. 7). Wykonana analiza wariancji dla wszystkich mieszańców wykazała, podobnie jak w plonie nasion i zawartości tłuszczu, istnienie różnic istotnych statystycznie w zawartości sumy glukozyzolanów i glukozyzolanów alkenowych pomiędzy poszczególnymi typami mieszańców. Szczegółowe analizy zawartości glukozyzolanów wykazały, że wzrost ich zawartości w materiale zebrany z pokolenia F_1 w mieszańcach zrestorowanych i mieszanych typu *ogura* jest wynikiem wzrostu zawartości tylko glukozyzolanów alkenowych. Natomiast poziom zawartości glukozyzolanów indolowych nie uległ zmianie w żadnym z typów odmian mieszańcowych CMS *polima* i CMS *ogura* (tab. 3).



Rys. 6. Zawartość sumy glukozyzolanów (µM/g nasion) w różnych typach mieszańców rzepaku ozimego w doświadczeniach polowych w 1998/99 roku — Total glucosinolate content in different hybrid types of winter oilseed rape in field trials 1998/99 [µM/g seed]



Rys. 7. Zawartość glukozyzolanów alkenowych (µM/g nasion) w różnych typach mieszańców rzepaku ozimego w doświadczeniach polowych w 1998/99 roku — Aliphatic glucosinolate content in different types of winter oilseed rape in field trials 1998/99 [µM/g seed]

Tabela 3

Zawartość glukozynolanów alkenowych i indolowych w nasionach siewnych i zebranych z pokolenia F_1 — *Content of aliphatic and indolyl alkenyl glucosinolate in sowing and harvested seeds from F_1 progeny*

Rodzaj mieszańca <i>Hybrid type</i>	Glukonapina		Glukobrassica napina		Progoitryna		4 OH glukobrassicyna	
	A*	B*	A*	B*	A*	B*	A*	B*
CMS <i>pol</i> mieszańiec zrestorowany <i>restored hybrid</i>	2,17	1,36	0,36	0,17	3,21	2,29	2,40	3,45
CMS <i>ogu</i> mieszańce niezrestorowane <i>non restored hybrids</i>	1,92	1,45	0,20	0,28	4,86	2,54	3,58	3,49
CMS <i>ogu</i> mieszańce mieszane <i>mixed hybrids</i>	0,90	4,66	0,11	1,32	1,66	5,97	3,06	3,26
CMS <i>ogu</i> mieszańce zrestorowane <i>restored hybrid</i>	1,44	3,19	0,46	1,24	2,29	6,81	2,9	3,28
Średnia — <i>Mean</i>	1,69	2,16	0,33	0,65	3,34	4,05	3,06	3,39
Średnia wzorca — <i>Mean of standard</i>	5,30	2,18	1,30	0,28	13,60	5,34	3,60	3,22
$F_{obl.} - F_{cal.}$		40,8**		113,4**		58,7**		4,3**
$NIR_{0,05} - LSD_{0,05}$		0,32		0,16		0,66		0,31
Współczynnik korelacji <i>Coefficient of correlation</i>	-0,03		0,04		0,10		-0,12	

* — A — Nasiona siewne — mieszańiec F_1 — *Sowing seeds F_1 hybrid*

** — B — Nasiona zebrane — średnia z 3 miejscowości — *Harvested seeds — mean from 3 localities*

Istotnie wyższą zawartość glukozynolanów w nasionach zebranych z mieszańców pokolenia F_1 zrestorowanych i mieszanych można tłumaczyć faktem, że linie restorery charakteryzowały się wyższym poziomem tych związków w stosunku do matecznych linii CMS *ogura* oraz silnym sprzężeniem genu restorera z jednym z genów warunkujących wysoką zawartość glukozynolanów.

Cechy fenologiczne

Mieszańce CMS *polima* charakteryzowały się krótszym okresem kwitnienia w porównaniu do pozostałych mieszańców, były również bardziej wrażliwe na wyleganie (tab. 4). Krótszy okres kwitnienia mógł być jedną z przyczyn słabszego plonowania mieszańców typu *polima*.

Korelacje

Cechy jakościowe, takie jak zawartość tłuszczu i glukozynolanów alkenowych były silnie skorelowane z plonem nasion. Odnotowano również dodatnią korelację na poziomie istotności 0,01 między sumą zawartości glukozynolanów i glukozynolanów alkenowych a długością kwitnienia oraz poszczególnych glukozynolanów alkenowych z ogólną zawartością glukozynolanów (tab. 5).

Tabela 4

Charakterystyka różnych typów mieszańców w badanych doświadczeniach polowych 1998/99
Characteristic of different hybrid types investigated in the field trials in 1998/99

Typ mieszańca <i>Hybrid type</i>	Plon nasion — <i>Seed yield</i>			Kwitnienie — <i>Flowering</i>			Bonitacja wylegania <i>Score of lodging</i>
	[dt/ha]	% POH 789	% KANA	początek <i>beginning of flowering</i>	koniec <i>end of flowering</i>	długość <i>length of flowering</i>	
<i>CMS ogura</i>							
1/98	23,4	74,1	96,2	120,2	151,6	31,4	5,0
2/98	31,1	98,3	127,7	122,6	151,7	29,1	4,3
3/98	22,5	71,1	92,4	121,2	151,7	30,5	4,8
4/98	31,5	99,5	129,3	123,6	151,9	28,4	4,3
5/98	24,5	77,5	100,7	119,1	150,2	31,0	4,5
6/98	21,3	67,3	87,4	120,2	150,5	30,4	4,8
7/98	30,9	97,7	126,9	122,5	151,4	29,0	4,3
13289/98	27,5	86,8	112,8	120,4	150,5	30,1	4,5
13283/98	26,0	82,0	106,5	121,9	151,7	29,8	4,5
13295/98	27,0	85,5	111,0	122,1	151,7	29,5	4,8
13292/98	26,9	85,1	110,6	120,6	152,1	31,5	4,8
13288/98	27,8	87,7	114,0	121,7	151,5	29,9	4,8
9118/98	23,1	73,1	95,0	122,2	150,8	28,6	3,8
9008/98	23,8	75,2	97,6	124,1	150,7	26,5	4,3
9136/98	18,5	58,3	75,8	124,6	151,2	26,5	4,3
9090/98	28,1	88,7	115,2	119,4	149,5	30,1	5,0
9086/98	27,9	88,1	114,4	120,4	149,9	29,5	4,8
9216/98	24,4	77,0	100,0	122,9	150,8	27,9	3,8
9170/98	20,3	64,0	83,1	125,4	152,0	26,6	3,8
9206/98	21,6	68,1	88,5	122,4	151,1	28,8	4,8
9110/98	18,9	59,9	77,8	123,4	151,1	27,8	4,0
9172/98	19,5	61,5	79,9	124,3	151,4	27,1	4,5
9192/98	18,8	59,3	77,1	125,8	151,9	26,3	4,0
<i>CMS polima</i>							
9242/98	17,6	55,6	72,2	121,6	151,0	29,4	3,8
9226/98	14,4	45,4	59,0	124,2	153,3	29,1	3,3
9230/98	18,9	59,6	77,5	125,4	151,8	26,4	3,5
9232/98	16,5	52,0	67,5	121,3	151,7	30,4	3,0
9234/98	16,8	53,1	68,9	127,5	152,9	25,4	3,3
9236/98	16,6	52,6	68,3	121,8	151,0	29,3	4,0
9238/98	19,1	60,2	78,2	127,3	152,8	25,5	4,3
KANA	24,4	77,0	100,0	120,6	150,8	30,1	4,0
Średnia — <i>Mean</i>	22,9	72,4	94,0	122,6	151,4	28,8	4,2
Średnia wzorca <i>Mean of standard</i>	31,6	99,9	129,7	119,1	149,6	30,5	5,0
POH 485							
Maksimum	31,5	99,6	129,3	127,5	153,3	31,5	5,0
Minimum	14,4	45,5	59,1	119,1	149,5	25,4	3,0
$F_{obl.} - F_{cal.}$	7,8**			6,0**	4,4**	3,1**	3,2**
$NIR_{0,05} - LSD_{0,05}$	3,1			0,6	0,8	0,9	0,8

Tabela 5

Macierz korelacji badanych cech w doświadczeniu polowym 1998/99 — *Correlation matrix of investigated traits in trials 1998/99*
n-130

Cechy — Traits	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1. plon nasion <i>seed yield</i>	1											
2. początek kwitnienia <i>beginning of flowering</i>	-0,39**	1										
3. koniec kwitnienia <i>end of flowering</i>	-0,21*	0,39**	1									
4. długość kwitnienia <i>length of flowering</i>	0,31**	-0,87**	0,10	1								
5. I wartość gospodarcza <i>I economical value</i>	0,18	-0,06	-0,15	0,00	1							
6. tłuszcz — <i>oil</i>	0,40**	-0,14	-0,37**	-0,05	0,10	1						
7. suma glukozynolanów <i>total glucosinolates</i>	0,42**	-0,44**	0,10	0,54**	0,14	0,10	1					
8. glukozynolany alkenowe <i>aliphatic glucosinolates</i>	0,41**	-0,43**	0,13	0,54**	0,15	0,06	0,99**	1				
9. glukonapina <i>gluconapine</i>	0,42**	-0,47**	0,09	0,56**	0,16	0,07	0,96**	0,96**	1			
10. glukobrasycanapina <i>glucobrassicinapine</i>	0,42**	-0,34**	0,17	0,46**	0,09	0,06	0,86**	0,88**	0,86**	1		
11. progoitryna <i>progoitrine</i>	0,37**	-0,42**	0,13	0,54**	0,08	0,03	0,97**	0,97**	0,94**	0,81**	1	
12. 4 OH glukobrasycyna <i>4 OH glucobrassicine</i>	-0,01	0,03	-0,24*	-0,16	-0,15	0,30**	-0,13	-0,25**	-0,22*	-0,30**	-0,22*	1

Dyskusja

Otrzymane wyższe plony odmian mieszańcowych tworzonych w oparciu o CMS *ogura* w porównaniu do odmian uzyskanych przy wykorzystaniu CMS *polima* potwierdzają wcześniejsze wyniki badań oceniających wysoką wartość cytoplazmy typu CMS *ogura*. Badania przeprowadzone przez różnych autorów wykazały, że cytoplazma typu *ogura* nie wpływa negatywnie na plenność, co często ma miejsce w przypadku sterylnej cytoplazmy typu *polima* (Pelletier i in. 1987; Mc Vetty, Pinnish 1994; Bartkowiak-Broda 1998; Liersch i in. 1999).

W przeprowadzonych doświadczeniach odmiany mieszańcowe zrestorowane i mieszane utworzone na bazie CMS *ogura* plonowały wyżej niż odmiany mieszańcowe złożone. Wynik ten jest nieco inny niż uzyskany w doświadczeniach we Francji, gdzie odmiany mieszańcowe złożone w warunkach sprzyjających do przenoszenia pyłku plonują na poziomie równym lub nieco wyższym niż odmiany mieszańcowe zrestorowane (Pinochet, Bertrand 2000). W badaniach niemieckich wyniki dotyczące odmian mieszańcowych złożonych i zrestorowanych były podobne (Sauer mann, Gronow i in. 1999).

Niższe plonowanie mieszańców złożonych może być wywołane faktem, że w polskich warunkach agroklimatycznych, podobnie jak w północno-wschodniej Francji czy Niemczech, warunki do przenoszenia pyłku są gorsze niż w południowej i centralnej Francji, gdzie z powodzeniem uprawia się odmiany mieszańcowe złożone i zajmują one tam już 80% powierzchni uprawy rzepaku. Jednak ze względu na większą niezależność plonowania od czynników decydujących o przenoszeniu pyłku wszędzie preferuje się uprawę odmian mieszańcowych zrestorowanych pokolenia F₁. W 2000 roku 90% uprawianych w Europie mieszańców to niemieckie odmiany mieszańcowe zrestorowane oparte na systemie NPZ Lembke, jak Joker, Pronto, Olbel, Talent, Banjo oraz odmiany utworzone w oparciu o CMS *Ogura*-INRA, takie jak Elite, Consort, Extra oraz półkarłowa odmiana Lutin (Pinochet 2000).

Mieszańce CMS *ogura* charakteryzowały się wyższą zawartością oleju i szkodliwych w żywieniu zwierząt glukozyolanów w porównaniu do mieszańców CMS *polima*. Zawartość oleju w nasionach zależała od genotypu użytego do tworzenia mieszańców, ponieważ jest częściowo determinowana przez genotyp rośliny matecznej i częściowo przez genotyp zarodka, a także przez warunki środowiskowe. Badania nad liniami CMS i liniami dopełniającymi wykazały, że zawartość oleju w nasionach linii CMS zależy wyraźnie od genotypu linii dopełniającej (Liersch i in. 1999). Zawartość szkodliwych w żywieniu zwierząt glukozyolanów determinowana jest przez genotyp rośliny matecznej i w sposób istotny modyfikowana przez warunki środowiskowe (Krzymański 1970; Bartkowiak-Broda i in. 1983; Champolivier i in. 1999). Zatem informację o efekcie krzyżowania w przypadku zawartości glukozyolanów uzyskuje się dopiero w nasionach zebranych z pokolenia F₁. Wysoka zawartość glukozyolanów

w nasionach jest cechą dominującą, a efekty cytoplazmatyczne nie mają znaczenia w ich dziedziczeniu. Ogólna zawartość glukozynolanów jest warunkowana przez co najmniej trzy pary genów głównych (Kudła 1997). W hodowli występują problemy ze wzrostem zawartości glukozynolanów przy tworzeniu mieszańców pokolenia F_1 . Opisuje się to zjawisko jako występowanie heterozji dla tej cechy. Przeprowadzone w Zakładzie Roślin Oleistych badania zawartości glukozynolanów w pokoleniu F_1 mieszańców diallelicznych rzepaku ozimego podwójnie ulepszonych wykazały, że heterozja w zawartości glukozynolanów nie była skorelowana z heterozją w plonie nasion (Krzymański i in. 1995, 1998).

Uzyskane różnice w zawartości glukozynolanów w nasionach pokolenia F_1 oraz nasionach zebranych z roślin tego pokolenia wynikają z różnej zawartości tych związków w nasionach komponentów badanych mieszańców. W przypadku mieszańców zrestorowanych utworzonych w oparciu o CMS *polima* oraz mieszańców niezrestorowanych otrzymanych w oparciu o CMS *ogura* zarówno linie mateczne jak i ojcowskie charakteryzowały się podobną niską zawartością glukozynolanów. W związku z tym różnice pomiędzy pokoleniem F_1 i nasionami zebranymi z tego pokolenia nie są znaczące. Natomiast linie ojcowskie mieszańców zrestorowanych i mieszanych typu *ogura* cechowały się podwyższoną zawartością glukozynolanów w porównaniu do linii CMS, co spowodowało wzrost zawartości tych związków w nasionach zebranych z pokolenia mieszańcowego F_1 . Wzrost ten wystąpił tylko w grupie glukozynolanów alkenowych, natomiast glukozynolany indolowe pozostały na niezmiennym poziomie. Wynika to z faktu, że glukozynolany te dziedziczą się niezależnie i w genotypach niskoglukozynolanowych rzepaku obniżeniu uległy tylko glukozynolany alkenowe.

Problemy wysokiej zawartości glukozynolanów w pierwszych zrestorowanych mieszańcach pokolenia F_1 typu CMS *ogura* oraz w nasionach z nich zebranych wystąpiły we wszystkich ośrodkach hodowli rzepaku. Jednak poprzez krzyżowanie wypierające mające na celu zmniejszenie w genomie rzepaku wielkości introgresji fragmentu genomu rzodkwi, w którym znajdują się allele genu restorera możliwe jest obniżenie zawartości glukozynolanów w liniach restorerach i w następnym etapie otrzymanie zrestorowanych mieszańców pokolenia F_1 o zawartości glukozynolanów nie przekraczającej $15 \mu\text{M/g}$ nasion (Delourme i in. 1999; Bartkowiak-Broda i in. 1999; Popławska 2000). Zawartość tych związków w składnikach mieszańców F_1 : liniach restorerach i liniach CMS powinna być niska. Poziom zawartości glukozynolanów jest bowiem modyfikowany przez różne warunki środowiskowe. Ponadto stopień zaopatrzenia roślin w siarkę ma wyraźny wpływ na ilość nagromadzonych glukozynolanów w nasionach i ich skład. Wraz ze wzrostem dawki siarki wzrasta udział glukozynolanów alkenowych (Wielebski 1997; Wielebski, Wójtowicz 1998).

Wnioski

- Uzyskane wyniki wskazują na możliwość wyselekcjonowania wysoko plonujących zrestorowanych mieszańców pokolenia F₁ typu CMS *ogura*.
- Stwierdzono istotny wzrost zawartości glukozynolanów alkenowych w nasionach zebranych z pokolenia mieszańcowego F₁ mieszańców mieszanych i zrestorowanych utworzonych w oparciu o CMS *ogura*. W żadnym z badanych typów mieszańców nie odnotowano wzrostu zawartości glukozynolanów indolowych.
- Dla uzyskania wartościowych pod względem jakości odmian mieszańcowych zrestorowanych należy przede wszystkim wyselekcjonować linie restorery o bardzo niskiej zawartości glukozynolanów.

Literatura

- Bartkowiak-Broda I., Krzymański J., Ogródowczyk M. 1983. Inheritance of glucosinolate content and composition in seeds of winter rape (*Brassica napus* L.). Proc. 6th Intern. Rapeseed Congress, Paris, France, vol. I: 305-310.
- Bartkowiak-Broda I. 1977. Ocena heterozji i zdolności kombinacyjnej kilku linii wsobnych rzepaku bezerukowego. Biul. IHAR 146: 109-111.
- Bartkowiak-Broda I., 1998. Odmiany mieszańcowe rzepaku – osiągnięcia i perspektywy. Rośliny Oleiste XIX (2): 359-370.
- Bartkowiak-Broda I., Popławska W. 1999. Characteristics of double low winter rapeseed lines with introduced restorer gene for CMS *ogura*. Proc. 10th Intern. Rapeseed Congress, Canberra, Australia. CD ROM.
- Champolivier L., Merrien A. 1999. Comparison of growth, yield, yield components and seed quality of an „hybrid-line” composite versus a classical line. Proc. 10th Intern. Rapeseed Congress, Canberra, Australia. CD ROM.
- Delourme R., Horvais R., Vallé P., Renard M. 1999. Double low restored F₁ hybrids can be produced with the Ogu-INRA CMS in Rapeseed. Proc. 10th Intern. Rapeseed Congress, Canberra, Australia. CD ROM.
- Delourme R., Eber F., Renard M. 1995. Breeding double low restorer lines in radish cytoplasmic male sterility of rapeseed (*Brassica napus* L.). Proc. 9th Intern. Rapeseed Congress, Cambridge, UK, vol. 1: 6-8.
- Fu T.D. 1981. Production and research of rapeseed in the Peoples Republic of China. Cruciferae Newsletter 6: 6-7.
- Grant I., Beversdorf W.D. 1985. Heterosis and combining ability estimates in spring-planted oilseed rape (*Brassica napus* L.). Can. J. Genet. Cytol. 27: 472-478.
- Heyn F.U. 1976. Transfer of restorer genes from *Raphanus* to cytoplasmic male sterile *Brassica napus*. Cruciferae Newsletter 1: 15-16.
- Kudła M. 1997. Zagadnienie glukozynolanów w hodowli jakościowej rzepaku (*Brassica napus*). Rośliny Oleiste XVIII (1): 119-134.
- Krzymański J. 1970. Genetyczne możliwości ulepszania składu chemicznego nasion rzepaku ozimego. Hodowla Roślin, Aklimatyzacja i Nasiennictwo 14 (2): 95-133.

- Krzymański J., Piętka T., Krótka K. 1993. Zdolność kombinacyjna i heterozja mieszańców diallelicznych rzepaku ozimego podwójnie ulepszanego. I. Pokolenie F₁. Postępy Nauk Rolniczych 5: 41-52.
- Krzymański J., Piętka T., Krótka K. 1994. Zdolność kombinacyjna i heterozja mieszańców diallelicznych rzepaku ozimego podwójnie ulepszanego. II. Pokolenie F₁ i F₂. Rośliny Oleiste XV (1): 21-32.
- Krzymański J., Piętka T., Krótka K., Michalski K. 1995. Zawartość glukozynolanów u mieszańców F₁ polskiego rzepaku ozimego podwójnie ulepszanego. Rośliny Oleiste XVI (1): 13-24.
- Krzymański J., Piętka T., Krótka K., Michalski K. 1998. Współzależność między plonem nasion a zawartością glukozynolanów u pokolenia F₁ mieszańców rzepaku ozimego podwójnie ulepszanego (*Brassica napus* L.). Rośliny Oleiste XIX (2): 389-398.
- Lefort-Buson M. 1982. Heterosis in summer rapeseed. Cruciferae Newsletter Eucarpia 7: 16-17.
- Lefort-Buson M., Datté Y. 1982. Genetic study of some agronomic characters in winter oilseed rape (*Brassica napus* L.). I. Heterosis. Agronomie 2 (4): 315-322.
- Lefort-Buson M., Datté Y. 1983. L' hétérosis chez le colza oleagineux (*Brassica napus* L.). Proc. 6th Intern. Rapeseed Congress, Paris, France. vol. 1: 558-564.
- Liersch A., Bartkowiak-Broda I., Krótka K. 1999. Charakterystyka linii CMS *ogura* rzepaku ozimego i ich linii rekurencyjnych. Rośliny Oleiste XX(2): 311-324.
- Mailer R.J., Wratten N. 1987. Glucosinolate variability in rapeseed in Australia. Proc. 7th Intern. Rapeseed Congress, Poznań, Polska, vol. 3: 671-675.
- McVetty P.B.E., Pinnisch R. 1994. Comparison of the effect of *nap* and *pol* cytoplasm on the performance of three summer oilseed rape cultivar-derived isoline pairs. Can J. Plant Sci. 74: 729-731.
- Michalski K., Kołodziej K., Krzymbański J. 1995. Quantitative analysis of glucosinolates in seeds of oilseed rape. Effect of sample preparation on analytical results. Proc. 9th Intern. Rapeseed Congress, Cambridge, UK, vol. 1: 6-8.
- Ogura H. 1968. Studies on the new male-sterility in Japanese radish with special reference to the utilization of this sterility towards the practical raising of hybrids seeds. Mem. Fac. Agric. Ragostrima Univ. 6 (2): 39-78.
- Pellan-Delourme R., Renard M. 1988. Cytoplasmic male sterility in rapeseed (*Brassica napus*): female fertility of restored rapeseed with „*ogura*” and cybrids cytoplasm. Genome, vol. 30: 234-238.
- Pelletier G., Primard C., Vedel F., Chétrit P., Renard M., Pellan-Delourme R., Mesquida J. 1987. Molecular, phenotypic and genetic characterization of mitochondrial recombinants in rapeseed. Proc. 7th Intern. Rapeseed Congress, Poznań, Polska, vol. (1): 113-118.
- Pinochet X. 1995. Arrivé de matériel de type cybride en France. Bulletin GCIRC 11: 32-37.
- Pinochet X., Bertrand R. 2000. Oilseed rape grain yield productivity increases with hybrid varietal types: a first balance sheet with post registration tests in France and in Europe. OCL, vol. 7: 11-16.
- Pinochet X. 2000. Les hybrides restaurés: état des lieux et perspectives. Colza, Les Rencontres Annuelle du CETIOM “Colza” Paryż, 30.11.2000: 24-29.
- Popławska W. 2000. Badania nad formami restorującymi genowo-cytoplazmatyczną męską niepłodność typu *polima* i *ogura* u rzepaku ozimego (*Brassica napus* L. var. *oleifera*). Praca doktorska wykonana w Zakładzie Roślin Oleistych IHAR Poznań.
- Renard M., Delourme R., Pierre J. 1997. Mise sur le marché d'hybrides de colza. Bulletin GCIRC 14: 114-122.
- Sauermann W., Gronow J. 1999. Optimale Saatstärke von Hybridraps. Raps 3: 124-127.
- Wielebski F. 1997. Wpływ wzrastających dawek siarki na skład glukozynolanów zawartych w nasionach dwóch odmian rzepaku ozimego. Rośliny Oleiste XVIII (1): 179-186.
- Wielebski F., Wójtowicz M. 1998. Zależność między koncentracją siarki w liściach a zawartością glukozynolanów w nasionach dwóch odmian rzepaku ozimego przy wzrastającym nawożeniu siarką. Rośliny Oleiste XIX (1): 71-80.