

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

Analiza zmienności składników plonu oraz wielkości efektu heterozji mieszańców CMS *ogura* rzepaku ozimego (*Brassica napus* L.)*

Analysis of the variability of yield components and heterosis effect of CMS *ogura* hybrids of oilseed rape (*Brassica napus* L.)

Słowa kluczowe: rzepak ozimy, mieszańce, heterozja, plon, składniki plonu, korelacje

Hodowla odmian mieszańcowych w Polsce prowadzona jest w oparciu o system genowo-cytoplazmatycznej męskiej niepłodności CMS *ogura*. Uzyskiwane mieszańce doświadczalne F₁ plonują na zróżnicowanym poziomie, w związku z tym prowadzone są badania nad czynnikami decydującymi o plonie mieszańców. Celem przeprowadzonych badań była ocena plonowania i cech plonotwórczych mieszańców F₁ rzepaku ozimego oraz ich form rodzicielskich, określenie wielkości efektu heterozji w plonie nasion i jego składnikach, a także analiza cech jakościowych takich jak zawartość oleju i glukozynolanów w nasionach. W doświadczeniach polowych założonych w dwóch miejscowościach w sezonach wegetacyjnych 2001/2002 – 2003/2004 przebadano 14 mieszańców i ich formy rodzicielskie. Do badań wybrano wysokopienne odmiany mieszańcowe złożone Mazur, Kaszub, Pomorzanin i Lubusz, oraz zrestorowane mieszańce F₁ o różnym poziomie plonowania. Wykonano analizy statystyczne obejmujące analizy wariancji zbiorcze z wszystkich miejscowości, obliczenia średnich wartości cech, efektu heterozji, zakresu zmienności i współczynników zmienności. Wykonano także obliczenia korelacji pomiędzy badanymi cechami. Stwierdzono, że plon badanych mieszańców, a także zawartość tłuszczu i glukozynolanów w nasionach zależą od genotypów i warunków środowiska. Odmiany mieszańcowe złożone plonowały lepiej od mieszańców zrestorowanych. Stwierdzono występowanie zależności pomiędzy plonem mieszańców a średnim plonem form rodzicielskich oraz efektem heterozji.

Key words: winter oilseed rape, hybrids, heterosis, yield, yield components, correlations

The breeding of oilseed rape hybrid varieties in Poland is based on the CMS *ogura* system. Obtained experimental F₁ hybrids yield at different levels, therefore the investigations of factors deciding on hybrid yield are being carried out. The aim of this study was to evaluate yield and yield component variability of F₁ hybrids and their parental lines also heterosis effect, and qualitative traits such as oil and glucosinolate content in seeds. In the years 2001/2002 to 2003/2004 fourteen F₁ hybrids and their parental lines were examined in the field trials conducted in two localities. High yielding composite hybrid varieties Mazur, Kaszub, Pomorzanin, Lubusz and restored F₁ hybrids with different yield levels. Statistical analysis included a summary analysis of variance for locations, calculations of average, range, heterosis effect, coefficient of variability and matrix of correlation between investigated traits. It was stated that the yield of hybrids and qualitative traits such as oil and

* Badania częściowo wykonane w ramach projektu badawczego promotorskiego KBN 3 P06A 027 25

glucosinolate content in seeds are significantly depended on genotypes and environmental conditions. Composite hybrid varieties yielded higher than restored hybrids. It has been stated the correlations between yield of hybrids and mean yield of parental lines and heterosis effect.

Wstęp

Znaczny efekt heterozji występujący w plonie nasion (Lefort-Buson, Dattée 1982, 1983; Grant i Beversdorf 1985; Bartkowiak-Broda 1991; Krzymański i in. 1993, 1994) oraz odkrycie systemów kontrolujących zapylenie krzyżowe przyczyniło się do rozwoju hodowli odmian mieszańcowych.

Badania nad efektem heterozji odnośnie różnych cech w pokoleniu F_1 mieszańców międzyliniowych, międzyrodowych, międzyodmianowych i liniowo-odmianowych były prowadzone wcześniej (Krzymański i in. 1993, 1994; Kudła 1996; Piętka i in. 2000). Jednak obecnie w Polsce hodowla odmian mieszańcowych została rozwinięta w oparciu o system genowo-cytoplazmatycznej CMS *ogura* (Bartkowiak-Broda 1994, 1998). Wyhodowano odmiany mieszańcowe złożone, a także rozwija się hodowla odmian mieszańcowych zrestorowanych (Bartkowiak-Broda i in. 2003; Popławska 2000; Popławska i in. 1999, 2001). Ze względu na fakt, że w liniach matecznych tych mieszańców występuje sterylna cytoplazma typu *ogura* oraz geny męskiej sterylności a liniach restorerach gen restorer przeniesiony do genotypu rzepaku z genotypu rzodkwi (Heyn 1976, Delourme i in. 1995, 1998, 1999) pożądane jest zbadanie w oparciu o te genotypy zależności plenności mieszańców od form rodzicielskich, od efektu heterozji, a także wpływu efektu heterozji na kształtowanie się cech decydujących o wartości nasion jako surowca dla przemysłu tłuszczowego i paszowego takich jak zawartość tłuszczu w nasionach i glukozyolanów w śrucie.

Celem niniejszej pracy była ocena plonowania i cech plonotwórczych mieszańców utworzonych przy pomocy genowo-cytoplazmatycznej męskiej niepłodności CMS *ogura*, określenie wielkości efektu heterozji w odniesieniu do form rodzicielskich badanych mieszańców, a także analiza zawartości tłuszczu i glukozyolanów w nasionach pokolenia F_1 .

Material i metody

Materiał do badań stanowiło 14 mieszańców F_1 rzepaku ozimego oraz ich linie rodzicielskie. Mieszańce zostały utworzone w oparciu o system genowo-cytoplazmatycznej męskiej sterylności CMS *ogura*. Wyboru mieszańców o zróżnicowanym poziomie plonowania dokonano na podstawie wcześniej przeprowadzonych doświadczeń. Do badań wybrano zarejestrowane wysokopienne odmiany mieszańcowe złożone: Mazur, Kaszub, Lubusz i Pomorzanie oraz zrestorowane

mieszańce F_1 PN 4534/01, PN 4538/01, PN4540/01 i PN 4556/01 utworzone z materiałów Zakładu Genetyki i Hodowli Roślin Oleistych IHAR w Poznaniu, a także mieszańce MR124, MR153, MR226, MR289, MR320, MR390 wyhodowane w Spółce Hodowla Roślin Strzelce, Oddział w Borowie (tab. 1).

Tabela 1

Mieszańce F_1 CMS *ogura* i ich formy rodzicielskie badane w doświadczeniach polowych w dwóch miejscowościach (Borowo i Zielęcín) w latach 2001/2002 – 2003/2004

F₁ CMS ogura hybrids and their parental lines investigated in field trials in two localities in the years 2001/2002 – 2003/2004

Mieszaniec <i>Hybrid</i>	Linia mateczna <i>Maternal line</i>	Linia ojcowska <i>Paternal line</i>
Odmiany mieszańcowe złożone — <i>Composite hybrid varieties</i>		
Mazur $F_1(s)$	Samuraj ISL	Borzap1
Kaszub $F_1(s)$	Samuraj ISL	Borzap2
Pomorzanie $F_1(s)$	Samuraj ISL	Borzap3
Lubusz $F_1(s)$	Samuraj ISL	Borzap4
Zrestorowane mieszańce F_1 — <i>Restored F₁ hybrids</i>		
PN 4538/01	PN 9294/98	PN 4537/01
PN 4540/01	PN 2824/99	PN 4539/01
PN 4534/01	PN 9288/98	PN 4533/01
PN 4556/01	PN 2850/99	PN 4555/01
MR 124	BO 83	PN 110RJ-4-103
MR 153	BO 120	PN 110RJ-4-103
MR 226	BO 238	PN 110RJ-4-103
MR 289	BO 83	PN 1265/00
MR 320	BO 120	PN 1265/00
MR 390	BO 238	PN 1265/00

Plon mieszańców i ich linii rodzicielskich oceniono w dwuletnich doświadczeniach polowych w sezonach wegetacyjnych 2001/2002, 2002/2003 i 2003/2004 na podstawie zbioru z całych poletek o wielkości 10 m² przy normie wysiewu 80 roślin/m². Doświadczenia przeprowadzono metodą bloków kompletnie zrandomizowanych, w czterech powtórzeniach w dwóch miejscowościach: w Zakładzie Doświadczalnym Wielichowo–Zielęcín oraz w Borowie — Oddział HR Strzelce. W celu określenia długości łuszczyn i liczby nasion w łuszczynie, dwa tygodnie przed zbiorem rzepaku pobrano z każdego poletka po 25 łuszczyn ze środkowej części pędu głównego, tj. po 100 łuszczyn z każdego obiektu. Określono długość łuszczyn, liczbę nasion w łuszczynie oraz masę 1000 nasion. Zawartość tłuszczu oznaczono za pomocą analizatora NMR firmy Newport, a zawartość glukozyolanów za pomocą chromatografii gazowej silnikowych pochodnych desulfoglukozyolanów (Michalski i in. 1995). Wyniki doświadczeń polowych zostały opracowane statys-

tycznie przy pomocy programu SERGEN (1998), Statistica oraz arkusza kalkulacyjnego MS Excel. Efekt heterozji wyliczono w procentach w stosunku do średniej linii rodzicielskich.

Wyniki i dyskusja

Plon nasion oceniony na podstawie doświadczeń przeprowadzonych w dwóch miejscowościach w latach 2001/2002 – 2003/2004 był wysoce istotnie (na poziomie $\alpha = 0,01$) zróżnicowany dla mieszańców oraz ich linii rodzicielskich (tab. 2).

Średni plon zarejestrowanych odmian mieszańcowych złożonych Kaszub, Mazur, Pomorzanie i Lubusz wynosił 43,31 dt/ha i wahał się od 40,75 do 45,13 dt/ha (tab. 2). Dla odmian tych średni efekt heterozji wyniósł 29,61% (od 27,88 do 32,09%).

Średni plon mieszańców zrestorowanych (40,16 dt/ha) był niższy od plonu mieszańców złożonych i wahał się od 32,32 (PN 4556/01) do 44,96 dt/ha (MR 124), natomiast średni efekt heterozji tej grupy był wyższy i wynosił 31,0% (tab. 2). Wielkość efektu heterozji była bardzo zróżnicowana od 11,31% dla mieszańca PN 4556/01 do 48,6% dla PN 4540/01.

Porównując plony kombinacji mieszańcowych ze średnią form rodzicielskich stwierdzono, że dla mieszańców złożonych przy stosunkowo wysokiej średniej form rodzicielskich uzyskano niższy efekt heterozji, ale mieszańce charakteryzowały się wysoką plennością. Natomiast niektóre kombinacje mieszańców zrestorowanych wykazywały dobrą plenność dzięki wysokiemu efektowi heterozji, przy niskim średnim plonie form rodzicielskich. W mieszańcach MR 124, MR 153, MR 226 linią ojcowską była linia restorująca BO 110-RJ-4-103, która w obu kolejnych sezonach wegetacyjnych była bardzo silnie porażona przez chorobę grzybową *Pseudocercospora capsellae*, co spowodowało znaczne obniżenie plonowania i wpłynęło na zmniejszenie średniego plonu form rodzicielskich.

Obliczony współczynnik korelacji liniowej mieszańców wykazał, że plon nasion mieszańców w sposób istotny jest uzależniony od plonu formy matecznej oraz wielkości efektu heterozji (tab. 3). Równanie regresji wielokrotnej wskazuje również na zależność plonu nasion mieszańców od plonu obu form rodzicielskich i wielkości efektu heterozji.

Równanie regresji wielokrotnej:

$$y = -16,01 + 0,73 x_1 + 0,71 x_2 + 0,51 x_3$$

gdzie: y — plon mieszańca; x_1 — plon linii matecznej;
 x_2 — plon linii ojcowskiej; x_3 — efekt heterozji.

Jest to wynik odmienny od uzyskanego dla plonu mieszańców F_1 między rodami rzepaku ozimego podwójnie ulepszanego (Krzymański i in. 1994), który nie był skorelowany z plonem rodziców, ale był wysoce istotnie zależny od efektu heterozji.

Tabela 2
Plon nasion i efekt heterozji mieszańców F₁ w stosunku do średniej form rodzicielskich w doświadczeniach polowych — *Seed yield and heterosis effect in F₁ hybrids in field trials in comparison with mean of parental lines*

Mieszaniec <i>Hybrid</i>	Plon nasion <i>Seed yield</i> [dt/ha]	Linia mateczna <i>Maternal line</i> [dt/ha]	Linia ojcowska <i>Paternal line</i> [dt/ha]	Średnia rodziców <i>Mean of parents</i> [dt/ha]	Efekt heterozji* <i>Heterosis effect</i> [%]
Mazur F ₁ (s)	40,75	21,19	34,83	28,01	32,09
Kaszub F ₁ (s)	42,84	21,19	38,62	29,91	30,27
Pomorzanie F ₁ (s)	45,13	21,19	44,01	32,60	27,88
Lubusz F ₁ (s)	44,51	22,71	37,80	30,26	28,22
PN 4538/01	33,41	18,57	24,02	21,29	38,85
PN 4540/01	38,67	17,26	23,71	20,49	48,60
PN 4534/01	41,30	20,02	34,55	27,29	38,85
PN 4556/01	32,32	26,58	31,38	28,98	11,31
MR 124	44,96	39,89	15,39	27,64	39,23
MR 153	44,64	35,59	15,39	25,49	43,64
MR 226	41,36	37,75	15,39	26,57	36,92
MR 289	44,67	39,89	30,46	35,17	20,85
MR 320	40,60	35,59	30,46	33,02	18,45
MR 390	39,65	37,75	30,46	34,10	13,35
Średnia — <i>Mean</i>	41,06	28,23	29,03	28,63	30,61
Minimum	32,32	17,26	15,39	20,49	11,31
Maksimum	45,13	39,89	44,01	35,17	48,60
Wsp. zmienności <i>Coefficient of variation</i>	9,92	31,45	31,40		36,97
F _{obl.} — F _{cal.}	12,57**	33,61**	40,74**		

* — efekt heterozji liczony w stosunku do średniej form rodzicielskich
heterosis effect calculated in comparison with mean of parental lines

Tabela 3
Współczynnik korelacji plonu nasion mieszańców z plonem ich form rodzicielskich i efektem heterozji — *Correlation coefficient of seed yield of hybrids with yield of their parental lines and with heterosis effect*

Cecha — <i>Trait</i>	Współczynnik korelacji — <i>Correlation coefficient</i>
Plon mieszańca — plon linii matecznej <i>Yield of hybrid — yield of maternal line</i>	0,33**
Plon mieszańca — plon linii ojcowskiej <i>Yield of hybrid — yield of paternal line</i>	0,07
Plon mieszańca — efekt heterozji <i>Yield of hybrid — heterosis effect</i>	0,20*

Spośród składników plonu najwyższą zmienność dla mieszańców i ich linii rodzicielskich odnotowano dla długości łuszczyń oraz liczby nasion w łuszczyń: odpowiednio dla mieszańców — 32,57 i 28,45, dla linii matecznych — 24,58 i 42,78, a dla linii ojcowskich 34,49 w przypadku liczby nasion w łuszczyń. Natomiast pod względem długości łuszczyń linie ojcowskie były mniej zróżnicowane (tab. 4). Niską zmienność mieszańców i ich form rodzicielskich stwierdzono dla masy 1000 nasion (5,17, 13,31, 5,70). Średni efekt heterozji dla składników plonu najwyższy był dla długości łuszczyń, a najniższy dla masy 1000 nasion. Podobne wyniki otrzymał Kudła (1996) badając efekty heterozji u mieszańców F₁ linii wsobnych rzepaku ozimego.

Tabela 4

Charakterystyka mieszańców pokolenia F₁ i ich form rodzicielskich w doświadczeniach polowych w dwóch miejscowościach w latach 2001/2002 – 2003/2004 — *Characteristic of F₁ hybrids and their parental lines in field trials in two localities in the years 2001/2002 – 2003/2004*

Cecha <i>Trait</i>	Mieszaniec <i>Hybrid</i>	Linia mateczna <i>Maternal line</i>	Linia ojcowska <i>Paternal line</i>	Efekt heterozji <i>Heterosis effect</i> [%]
Plon nasion — <i>Seed yield</i> [dt/ha]				
Średnia — <i>Mean</i>	41,06	28,23	29,03	30,61
Minimum	32,32	17,26	15,39	11,31
Maksimum	45,13	39,89	44,01	48,60
Współczynnik zmienności <i>Coefficient of variation</i>	9,92	31,44	31,40	36,97
Średnia w doświadczeniu — <i>Mean in experiment</i>				
Borowo 2001/2002	44,53	19,66	28,25	46,20
Zielęcin 2001/2002	30,63	16,89	24,35	32,68
Borowo 2002/2003	20,91	14,83	11,04	38,14
Zielęcin 2002/2003	32,25	27,93	20,43	25,02
Borowo 2003/2004	67,98	42,08	50,95	31,58
Zielęcin 2003/2004	50,05	47,99	39,18	12,92
Masa 1000 nasion — <i>Weight of 1000 seeds</i> [g]				
Średnia — <i>Mean</i>	5,08	5,03	4,78	3,44
Minimum	4,79	4,15	4,34	-7,17
Maksimum	5,57	6,34	5,03	10,91
Współczynnik zmienności <i>Coefficient of variation</i>	5,17	13,31	5,70	
Średnia w doświadczeniu — <i>Mean in experiment</i>				
Borowo 2001/2002	4,34	5,44	3,90	-7,60
Zielęcin 2001/2002	5,27	5,32	4,90	3,04
Borowo 2002/2003	5,45	5,59	5,15	1,47
Zielęcin 2002/2003	5,00	4,63	4,81	5,60
Borowo 2003/2004	4,69	4,71	4,36	3,30
Zielęcin 2003/2004	5,74	4,48	5,56	12,54

Ciąg dalszy tabeli 4

Liczba nasion w łuszczyźnie — <i>Number of seeds in pod</i> [szt.]				
Średnia — <i>Mean</i>	18,62	16,01	17,85	9,08
Minimum	9,20	7,10	11,12	-11,74
Maksimum	24,04	22,71	26,72	47,11
Współczynnik zmienności <i>Coefficient of variation</i>	28,45	42,78	34,49	
Średnia w doświadczeniu — <i>Mean in experiment</i>				
Borowo 2001/2002	17,29	15,89	16,78	5,52
Zielęcín 2001/2002	17,55	15,43	16,62	8,69
Borowo 2002/2003	19,67	15,55	17,61	15,71
Zielęcín 2002/2003	17,69	15,30	17,91	6,13
Borowo 2003/2004	21,47	16,80	20,95	12,09
Zielęcín 2003/2004	18,05	17,10	17,25	4,85
Długość łuszczyzny — <i>Length of pod</i> [cm]				
Średnia — <i>Mean</i>	8,56	6,65	7,72	10,12
Minimum	5,79	3,52	6,89	-12,46
Maksimum	15,55	8,24	9,22	56,68
Współczynnik zmienności <i>Coefficient of variation</i>	32,57	24,58	7,51	
Średnia w doświadczeniu — <i>Mean in experiment</i>				
Borowo 2001/2002	7,46	6,74	6,88	8,71
Zielęcín 2001/2002	7,66	6,89	6,68	11,42
Borowo 2002/2003	9,68	6,90	8,46	20,66
Zielęcín 2002/2003	8,53	6,17	8,02	16,82
Borowo 2003/2004	9,04	6,51	8,08	19,30
Zielęcín 2003/2004	8,99	6,71	8,21	17,02
Zawartość tłuszczu — <i>Oil content</i> [%]				
Średnia — <i>Mean</i>	45,96	45,89	45,32	0,78
Minimum	45,32	43,40	43,86	-1,13
Maksimum	46,80	48,71	47,26	4,30
Współczynnik zmienności <i>Coefficient of variation</i>	0,97	3,05	2,46	
Średnia w doświadczeniu — <i>Mean in experiment</i>				
Borowo 2001/2002	46,74	44,69	45,27	3,77
Zielęcín 2001/2002	44,89	45,85	44,79	-0,96
Borowo 2002/2003	44,72	44,53	43,83	1,21
Zielęcín 2002/2003	46,85	46,52	46,46	0,77
Borowo 2003/2004	47,73	46,34	47,19	2,02
Zielęcín 2003/2004	44,84	47,39	44,39	-2,34

Ciąg dalszy tabeli 4

Suma glukozynolanów [$\mu\text{M/g}$ nasion] — <i>Total of glucosinolates [$\mu\text{M/g}$ seeds]</i>				
Średnia — <i>Mean</i>	10,02	10,82	8,71	2,54
Minimum	6,74	6,09	5,60	-31,79
Maksimum	16,83	16,64	12,13	21,62
Współczynnik zmienności <i>Coefficient of variation</i>	36,40	38,08	28,11	
Średnia w doświadczeniu — <i>Mean in experiment</i>				
Borowo 2001/2002	10,94	11,28	9,46	5,21
Zielęcin 2001/2002	9,93	12,07	9,12	-6,70
Borowo 2002/2003	12,20	13,04	10,48	3,61
Zielęcin 2002/2003	10,05	11,59	9,22	-3,53
Borowo 2003/2004	8,45	8,64	6,45	10,71
Zielęcin 2003/2004	8,57	7,92	7,54	9,80
Glukozynolany alkenowe [$\mu\text{M/g}$ nasion] — <i>Alkenyl glucosinolate content [$\mu\text{M/g}$ seeds]</i>				
Średnia — <i>Mean</i>	14,69	16,20	11,74	4,90
Minimum	5,30	6,78	6,53	-44,84
Maksimum	24,45	26,58	20,14	22,48
Współczynnik zmienności <i>Coefficient of variation</i>	49,74	44,82	43,23	
Średnia w doświadczeniu — <i>Mean in experiment</i>				
Borowo 2001/2002	17,09	15,93	12,73	16,15
Zielęcin 2001/2002	12,52	17,70	13,21	-23,44
Borowo 2002/2003	17,10	18,23	11,56	12,89
Zielęcin 2002/2003	15,13	17,85	13,85	-4,76
Borowo 2003/2004	12,78	14,28	8,87	9,43
Zielęcin 2003/2004	13,53	13,21	10,24	13,34

Obserwowano także dużą zmienność całkowitej zawartości glukozynolanów i glukozynolanów alkenowych. Najslabiej różnicowała badane obiekty zawartość tłuszczu, współczynnik zmienności wahał się od 0,97 do 3,05. Bardzo niski efekt heterozji dla sumy glukozynolanów oraz dla sumy glukozynolanów alkenowych u mieszańców pokolenia F_1 pokazuje, że nie może on spowodować znaczącego wzrostu zawartości glukozynolanów w nasionach zebranych z roślin pokolenia F_1 w stosunku do ich zawartości w nasionach siewnych (tab. 4). Podobnie Krzymański i in. (1995, 1998) wykazali brak korelacji efektu heterozji plonu mieszańców F_1 linii rzepaku ozimego podwójnie ulepszanego z efektem heterozji glukozynolanów.

Plon nasion mieszańców oraz składniki plonu były w sposób istotny uzależnione od genotypów, z których wytworzono mieszańce oraz od warunków środowiskowych, a także wielkości interakcji między genotypem i środowiskiem. Jedynie długość łuszczyń jest niezależna od interakcji genotypu ze środowiskiem (tab. 5).

Zawartość oleju w nasionach, sumy glukozynolanów i glukozynolanów alkenowych w sposób wysoce istotny zależała od genotypu i warunków środowiskowych oraz od współdziałania obu tych czynników (tab. 5).

Tabela 5

Analiza wariancji doświadczeń polowych w dwóch miejscowościach w latach 2001/02 – 2003/04 — *Analysis of variance of field trials in two localities in the years 2001/02 – 2003/04*

Źródło zmienności <i>Source of variability</i>	Liczba stopni swobody <i>Degrees of freedom</i>	Średni kwadrat <i>Mean square</i>	F _{obl.} F _{cal.}
Plon nasion — <i>Seed yield</i> [dt/ha]			
Środowisko — <i>Environment</i>	3	3449,82	496,03**
Genotyp — <i>Genotype</i>	13	122,24	18,32**
Genotyp × środowisko <i>Genotype × environment</i>	39	54,77	7,88**
regresja względem środowiska <i>regression in relation environment</i>	13	127,35	
odchylenie od regresji <i>deviation from regression</i>	26	18,49	2,66**
Błąd doświadczenia — <i>Experimental error</i>	153	6,95	
Masa 1000 nasion — <i>Weight of 1000 seeds</i> [g]			
Środowisko — <i>Environment</i>	3	2,98	180,79**
Genotyp — <i>Genotype</i>	13	0,48	20,13**
Genotyp × środowisko <i>Genotype × environment</i>	39	0,05	3,13**
regresja względem środowiska <i>regression in relation environment</i>	13	0,04	
odchylenie od regresji <i>deviation from regression</i>	26	0,06	3,49**
Błąd doświadczenia — <i>Experimental error</i>	153	0,02	
Liczba nasion w łuszczyńce — <i>Number of seeds in pod</i> [szt.]			
Środowisko — <i>Environment</i>	3	16,98	8,36**
Genotyp — <i>Genotype</i>	13	135,76	66,88**
Genotyp × środowisko <i>Genotype × environment</i>	39	3,03	1,49*
regresja względem środowiska <i>regression in relation environment</i>	13	3,90	
odchylenie od regresji <i>deviation from regression</i>	26	2,60	1,28
Błąd doświadczenia — <i>Experimental error</i>	153	2,03	
Długość łuszczyzny — <i>Length of pod</i> [cm]			
Środowisko — <i>Environment</i>	3	5,46	12,69**
Genotyp — <i>Genotype</i>	13	27,94	64,98**
Genotyp × środowisko <i>Genotype × environment</i>	39	0,53	1,22
regresja względem środowiska <i>regression in relation environment</i>	13	0,88	
odchylenie od regresji <i>deviation from regression</i>	26	0,35	0,81
Błąd doświadczenia — <i>Experimental error</i>	153	0,43	

Ciąg dalszy tabeli 5

Zawartość tłuszczu — <i>Oil content</i> [%]			
Środowisko — <i>Environment</i>	3	25,05	216,75**
Genotyp — <i>Genotype</i>	13	0,90	7,50**
Genotyp × środowisko <i>Genotype × environment</i>	39	0,39	3,41**
regresja względem środowiska <i>regression in relation environment</i>	13	0,72	
odchylenie od regresji <i>deviation from regression</i>	26	0,23	2,01**
Błąd doświadczenia — <i>Experimental error</i>	153	0,12	
Suma glukozynolanów [$\mu\text{M/g}$ nasion] — <i>Total of glucosinolates [$\mu\text{M/g}$ seeds]</i>			
Środowisko — <i>Environment</i>	3	25,64	54,78**
Genotyp — <i>Genotype</i>	13	43,51	92,57**
Genotyp × środowisko <i>Genotype × environment</i>	39	1,51	3,22**
regresja względem środowiska <i>regression in relation environment</i>	13	2,67	
odchylenie od regresji <i>deviation from regression</i>	26	0,92	1,97**
Błąd doświadczenia — <i>Experimental error</i>	153	0,47	
Glukozynolany alkenowe [$\mu\text{M/g}$ nasion] — <i>Alkenyl glucosinolate content [$\mu\text{M/g}$ seeds]</i>			
Środowisko — <i>Environment</i>	3	37,95	23,80**
Genotyp — <i>Genotype</i>	13	237,97	149,6**
Genotyp × środowisko <i>Genotype × environment</i>	39	4,34	2,72**
regresja względem środowiska <i>regression in relation environment</i>	13	2,94	
odchylenie od regresji <i>deviation from regression</i>	26	5,04	3,16**
Błąd doświadczenia — <i>Experimental error</i>	153	1,59	

Podobne wyniki odnośnie plonu, zawartości tłuszczu i glukozynolanów uzyskano badając mieszańce F_1 , których formami rodzicielskimi były wcześniej wyhodowane linie CMS *ogura* i linie restorery (Ogrodowczyk i in. 2000, 2003; Liersch i in. 2000). Takie same również wyniki otrzymano dla mieszańców utworzonych na bazie systemu CMS *polima* (Liersch i in. 2000). Z badań tych wynika, że zależność ta występuje w przypadku wszystkich kombinacji mieszańców, niezależnie od genotypów linii rodzicielskich.

Podsumowanie

1. Dla uzyskania wysokoplonujących mieszańców istotny jest dobór plennych linii rodzicielskich. Występujący wysoki efekt heterozji pomiędzy gorzej plonującymi formami nie zapewnia odpowiednio wysokiego plonu mieszańców F₁.
2. Wysokość plonu nasion mieszańców F₁ i jego składników oraz zawartość glukozyzolanów i tłuszczu w nasionach jest silnie modyfikowana przez warunki środowiska. Z tego względu linie rodzicielskie mieszańców powinny być tak dobrane, aby plon nasion zebrany z roślin mieszańcowych spełniał normy dla cech jakościowych požądane przez przemysł tłuszczowy.

Literatura

- Bartkowiak-Broda I. 1991. Studia nad systemami męskiej niepłodności u rzepaku *Brassica napus* L. var. *oleifera*. Hodowla Roślin Aklimatyzacja i Nasiennictwo, 35, 3/4: 3-60.
- Bartkowiak-Broda I. 1994. Hodowla odmian mieszańcowych. Rośliny Oleiste – Oilseed Crops, XV (1): 11-20.
- Bartkowiak-Broda I. 1998. Odmiany mieszańcowe rzepaku – osiągnięcia i perspektywy. Rośliny Oleiste – Oilseed Crops, XIX (2): 359-370.
- Bartkowiak-Broda I., Popławska W., Fürguth A., Mikołajczyk K. 2003. Double low restorer lines of winter rapeseed for CMS *ogura* system. Rośliny Oleiste – Oilseed Crops, XXIV (2): 343-352.
- 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, 4-7.07.1995, Vol. 1: 6-8.
- Delourme R., Foisset N., Horvais R., Barret P., Champagne G., Cheung W.Y., Landry B.S., Renard M. 1998. Characterisation of the radish introgression carrying the *Rfo* restorer gene for the *Ogu* – INRA cytoplasmic male sterility in rapeseed (*Brassica napus* L.). Theor. Appl. Genet., 97/1-2: 129-134.
- 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, 26-29.09.1999, CD ROOM.
- Heyn F.W. 1976. Transfer of restorer genes from *Raphanus* to cytoplasmic male sterile *Brassica napus*. Cruciferae Newsletter, Eucarpia, 1: 15-16
- 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.
- Krzymański J., Piętka T., Krótka K. 1993. Zdolność kombinacyjna i heterozja mieszańców diallelicznych rzepaku ozimego podwójnie ulepszanego. I. Pokolenia 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 – Oilseed Crops, XV (1): 21-32.

- Krzymański J., Piętka T., Krótka K., Michalski K. 1995. Zawartość glukozyzolanów u mieszańców F₁ rzepaku ozimego podwójnie ulepszanego. *Rośliny Oleiste – Oilseed Crops*, XVI (1): 13-24.
- Krzymański J., Piętka T., Krótka K., Michalski K. 1998. Współzależność między plonem nasion a zawartością glukozyzolanów u pokolenia F₁ mieszańców rzepaku ozimego. *Rośliny Oleiste – Oilseed Crops*, XIX (2): 389-398.
- Kudła M. 1996. Ogólna wartość kombinacyjna linii wsobnych I efekty heterozji mieszańców F₁ i F₂ rzepaku ozimego. *Rośliny Oleiste – Oilseed Crops*, XVII (1): 61-72.
- Liersch A., Bartkowiak-Broda I., Ogrodowczyk M. 2000. Ocena plonowania i cech jakościowych różnego typu odmian mieszańcowych rzepaku ozimego. *Rośliny Oleiste – Oilseed Crops*, XXI (2): 341-358.
- Lefort-Buson M., Dattée 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., Dattée Y. 1983. L'Hétérosis chez le colza oleagineux (*Brassica napus* L.). Proc. 6th. Int. Rapeseed Conference, 17-19 May, Paris, 1: 558-564.
- Michalski K., Kołodziej K., Krzymański J. 1995. Quantitative analysis of glucosinolates in seeds of oilseed rape: effect of sample preparation on analytical results. Proc. of 9th Intern. Rapeseed Congress, Cambridge, 3: 911-913.
- Ogrodowczyk M., Liersch A., Bartkowiak-Broda I. 2000. Analiza zmienności składników plonu mieszańców złożonych rzepaku ozimego. *Biuletyn Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roślin*, 216: 483-490.
- Ogrodowczyk M., Liersch A., Bartkowiak-Broda I. 2003. Badanie zależności plonu nasion od cech biometrycznych u odmian mieszańcowych i populacyjnych rzepaku ozimego. *Biuletyn Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roślin*, 226/227/2: 415-424.
- Piętka T., Krótka K., Krzymański J. 2000. Ocena wartości kombinacyjnej mieszańców między liniami wsobnymi rzepaku ozimego i odmianami wykonana w układzie czynnikiemowym. II. Pokolenia F₁ i F₂. *Rośliny Oleiste – Oilseed Crops*, XXI (2): 329-340.
- 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. Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin, ZRO Poznań.
- Popławska w., Bartkowiak-Broda I., Liersch A., Fürguth A. 2001. Ocena jakościowa linii restorerów dla CMS *ogura* i ich przydatności do tworzenia zrestorowanych mieszańców pokolenia F₁ rzepaku ozimego (*Brassica napus* L.). *Rośliny Oleiste – Oilseed Crops*, XXII (2), 335-348.
- Popławska W., Bartkowiak-Broda I., Ogrodowczyk M., Jędrzejowska H. 1999. Badania nad metodą hodowli linii restorerów dla genowo-cytoplazmatycznej męskiej niepłodności typu CMS *ogura* u rzepaku ozimego. *Rośliny Oleiste – Oilseed Crops*, XX (1): 29-42.
- SERGEN 1998. Program "Analiza serii doświadczeń odmianowych i genetyczno-hodowlanych", autorzy Caliński T., Czajka S., Kaczmarek Z., Krajewski P., Siatkowski I., Instytut Genetyki Roślin PAN w Poznaniu.