

Teresa Piętka, Krystyna Krótka, Jan Krzymański

Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin, Zakład Roślin Oleistych w Poznaniu

Ocena wartości kombinacyjnej mieszańców między liniami wsobnymi rzepaku ozimego i odmianami wykonana w układzie czynnikowym II. Pokolenia F_1 i F_2

Estimation of combining ability for hybrids between winter oilseed rape inbred lines and varieties made in factor design II. F_1 and F_2 generations

Słowa kluczowe: rzepak ozimy, krzyżowanie w układzie czynnikowym, ogólna zdolność kombinacyjna (OZK), specyficzna zdolność kombinacyjna (SZK), efekty krzyżowań odwrotnych, pokolenia F_1 i F_2

Key words: winter oilseed rape, *Brassica napus*, crossing in factor design, general combining ability (GCA), specific combining ability (SCA), reciprocal effects, F_1 and F_2 generations

Przedstawione wyniki badań dotyczą mieszańców pokolenia F_1 i F_2 . Są one kontynuacją prac wykonanych na pokoleniu F_1 (Krzymański i in. 1999a). Mieszańce F_2 oceniono w doświadczeniach polowych założonych w takim samym układzie jak z pokoleniem F_1 . Dla hodowli rodowodowej najważniejsze są ogólne zdolności kombinacyjne, będące wyrazem addytywnych działań genów. Z przeprowadzonych badań wynika, że ogólna zdolność kombinacyjna jest również istotna w pokoleniu F_2 dla plonu nasion i początku kwitnienia u linii wsobnych, w przypadku gdy są formami matecznymi i odmian gdy są formami ojcowskimi oraz dla zawartości tłuszczu, długości kwitnienia i oceny wartości gospodarczej tylko u form ojcowskich w mieszańcach linie wsobne \times odmiany. W krzyżowaniach odwrotnych ogólne zdolności kombinacyjne są wysoce istotne dla odmian użytych jako formy mateczne dla wszystkich cech z wyjątkiem długości kwitnienia. Linia PN 3462/95 charakteryzuje się, podobnie jak w pokoleniu F_1

Conducted study concerns hybrids of F_1 and F_2 generations. This study was a continuation of the works which were first done on F_1 generation only (Krzymański et al. 1999a). Hybrids of F_2 generation were examined in field trials in a similar pattern as it was done for F_1 generation. The most important for pedigree breeding is general combining ability which is the result of additive gene effects. GCA was significant also in F_2 for seed yield and for the beginning of flowering of inbred lines (maternal plant) and varieties (pollinators). It was also significant for fat content, length of flowering time and evaluation of expected yield but only for varieties (pollinators). In reciprocal crosses GCA was significant for varieties used as maternal plants for all traits except the length of flowering time. Inbred line PN 3462/95 and Wotan variety have significant positive GCA effects in both generations. Silvia variety was performing similarly but only in F_2 generation. GCA for varieties was well correlated, for example seed

dotatnią ogólną zdolnością kombinacyjną dla plonu nasion. Wśród odmian największą ogólną zdolność kombinacyjną wykazała w obu pokoleniach odmiana Wotan, a odmiana Silvia tylko w pokoleniu F_2 . Ogólne zdolności kombinacyjne pod względem poszczególnych cech są silnie skorelowane dla odmian, na przykład ogólna zdolność kombinacyjna dla plonu nasion jest skorelowana z ogólną zdolnością kombinacyjną dla zawartości tłuszczu ($r = 0,863$), ogólną zdolnością kombinacyjną dla oceny wartości gospodarczej ($r = 0,843$) oraz ogólną zdolnością kombinacyjną dla początku kwitnienia ($r = 0,679$). Wśród linii wsobnych brak korelacji pomiędzy ogólnymi zdolnościami kombinacyjnymi, z wyjątkiem dotyczących terminów początku i końca kwitnienia. Wysoce istotnie dodatnia specyficzna zdolność kombinacyjna w pokoleniu F_1 dla czterech kombinacji krzyżowań pod względem plonu nasion jest nieistotna w pokoleniu F_2 . Tylko jedna kombinacja z bardzo istotnie dodatniej stała się istotna. Prawdopodobnie zmiany te są uwarunkowane zmniejszającymi się w pokoleniu F_2 efektami heterozji.

yield was correlated with fat content ($r = 0.863$), with expected yield value ($r = 0.843$), with the beginning of flowering ($r = 0.679$). Correlation was not significant for inbred lines except for correlation between the beginning and the end of flowering. Specific combining abilities for five cross combinations which were significant in F_1 generation lost their significance in F_2 generation. Only one combination became significant. It was probably connected with the decrease of heterosis effects in this generation.

Wstęp

Przedstawione wyniki badań dotyczą pokoleń F_1 i F_2 mieszańców i są kontynuacją prac wykonanych na pokoleniu F_1 (Krzymański i in. 1999a). Występowanie silnego efektu heterozji w pokoleniu F_1 , szczególnie w plonie nasion rzepaku, było badane przez wielu autorów (Bartkowiak-Broda 1981; Grabiec, Krzymański 1985; Krzymański i in. 1983, 1993, 1998; Pszczoła 1993; Woś i in. 1998). Fakt ten jest wykorzystywany w odmianach mieszańcowych (Bartkowiak-Broda 1994, 1998; Popławska 1992) i syntetycznych (Bartkowiak-Broda 1981; Krzymański i in. 1999b). Natomiast dla celów hodowli rekombinacyjnej bardzo ważna jest możliwość dokładniejszej oceny wartości zdolności kombinacyjnej linii i odmian. Jest to możliwe w pokoleniu F_2 , ponieważ zanika w nim znaczna część efektów heterozji. Badania w tym zakresie zostały przeprowadzone przy użyciu krzyżowań w układzie diallelicznym (Krzymański i in. 1994; Piętka i in. 1998). Natomiast w omawianych tu badaniach dla oceny zdolności kombinacyjnej materiałów hodowlanych próbowano zastosować krzyżowanie w układzie czynnikowym.

Materiały i metody

W dwu doświadczeniach polowych oceniano mieszańce F_2 z krzyżowań w układzie czynnikowym kompletnym. Nasiona do siewu uzyskano ze zbioru doświadczeń z mieszańcami pokolenia F_1 . Mieszańce otrzymano poprzez ręczne krzyżowanie w układzie czynnikowym, gdzie jednym czynnikiem były linie wsobne podwójnie ulepszone o ekstremalnie niskiej zawartości glukozyolanów, a drugim zarejestrowane odmiany krajowe i zagraniczne. Dokładny opis materiału roślinnego został podany w publikacji (Krzymański i in. 1999a). Doświadczenia założono w takim samym układzie jak z pokoleniem F_1 . Jesienią 1998 wysiano doświadczenia w dwóch powtórzeniach, w układzie zrandomizowanych bloków kompletnych z systematycznie umieszczonymi poletkami wzorcowymi (co piąte).

Na obu doświadczeniach badano następujące cechy:

- plon nasion (dt/ha),
- zawartość tłuszczu w nasionach (% s.m.),
- początek kwitnienia wyrażony w liczbie dni od 1.01.1999,
- długość okresu kwitnienia wyrażona w liczbie dni,
- ocena wartości gospodarczej w fazie dojrzałości technicznej wyrażona w skali 1–9 (najlepsza 9).

Uzyskane dla poszczególnych cech wyniki opracowano statystycznie. Poletka wzorcowe zostały wykorzystane do usunięcia wewnątrzblokowej zmienności glebowej. Korekty dokonano za pomocą analizy kowariancji. Skorygowane wartości dla różnych kombinacji krzyżowań posłużyły do obliczenia ogólnej i specyficznej zdolności kombinacyjnej oraz wykonania analizy ich wariancji. Obliczenia, podobnie jak dla pokolenia F_1 , wykonano w układzie North Caroline'a II (NCII) (Garretsen, Keuls 1985; Ubysz-Borucka i in. 1985).

Zawartość tłuszczu w nasionach oznaczono za pomocą analizatora NMR (Krzymański 1970).

Omówienie wyników

Obliczone dla mieszańców pokolenia F_2 wartości ogólnej zdolności kombinacyjnej oraz testy statystyczne ich istotności porównano z wynikami pokolenia F_1 . Wyniki uzyskane w doświadczeniach „linie wsobne podwójnie ulepszone × odmiany” przedstawiono w tabeli 1, natomiast w tabeli 2 zamieszczono wyniki doświadczeń z pokoleniem F_2 mieszańców uzyskanych w wyniku krzyżowań odwrotnych.

Tabela 1

Ogólne zdolności kombinacyjne różnych cech dla doświadczeń z mieszancami pokoleń F₁ i F₂ — linie wsobne × odmiany, ocenione w układzie czynnikowym — *General combining abilities for experiments with F₁ and F₂ generations — inbred lines × varieties in the factor design for different traits*

Linia/odmiana <i>Line/variety</i>	Plon nasion <i>Seed yield</i>		Zawartość tłuszczu <i>Oil content</i>		Początek kwitnienia <i>Beginning of flowering</i>		Długość okresu kwitnienia <i>Length of flowering time</i>		Ocena wartości gosp. <i>Expected yield evaluation</i>	
	F ₁	F ₂	F ₁	F ₂	F ₁	F ₂	F ₁	F ₂	F ₁	F ₂
<i>Rośliny mateczne — Maternal plants</i>										
PN 3181/95	-11,56**	-4,43**	-0,34	0,19	-0,86**	-1,06**	0,87	0,16	-0,33*	-0,13
PN 3451/95	5,28	-1,09	0,14	-0,24	0,14	0,74**	-0,73	-0,14	0,37*	0,07
PN 3455/95	-8,02*	-2,97*	0,27	0,55	0,44**	0,44	-0,03	-0,04	-0,03	0,17
PN 3462/95	11,51**	5,05**	0,33	-0,57	-0,01	0,20	0,60	0,08	0,05	-0,02
PN 3707/95	-0,62	-1,61	0,34	0,39	-0,16	-0,26	0,07	0,16	-0,03	0,07
PN 3710/95	1,34	-2,14	0,03	0,36	0,44**	0,94**	0,27	-0,34**	0,17	0,27
PN 3734/95	1,12	2,32	-0,04	0,71	-0,06	-0,56*	0,17	-0,04	-0,03	0,07
PN 3999/95	-1,75	-0,05	-0,12	-0,79	-0,26	-0,46	-0,33	0,16	0,17	-0,23
PN 4043/95	10,54**	-0,15	0,24	0,43	-0,16	-0,16	0,17	-0,04	0,37*	0,07
PN 4272/95	-4,31	3,20*	-0,51	0,09	0,34*	-0,06	-1,13*	-0,04	-0,63**	-0,33*
PN 4287/95	-3,54	1,85	-0,34	-1,11**	0,14	0,24	0,07	0,06	-0,03	-0,03
NIR(1) _{0,05}	6,06	2,89	0,52	0,82	0,27	0,47	0,88	0,20	0,31	0,33
NIR(2) _{0,05}	8,99	4,29	0,78	1,22	0,40	0,70	1,31	0,30	0,46	0,49
F	5,05**	3,55**	1,18	1,91	6,92**	5,75**	1,49	2,08*	3,23**	1,03
<i>Zapylacze — Pollinators</i>										
Wotan	7,36**	3,60**	0,05	0,93**	0,12	0,10	-0,35	-0,13*	0,15	0,31**
Silvia	-4,24*	1,86*	0,28	0,19	0,19**	0,36*	0,03	-0,03	-0,18	0,22*
Lirajet	0,97	-0,37	0,22	-0,05	0,08	0,47**	0,38	-0,13*	0,15	-0,15
Polo	1,03	-0,48	0,08	-0,60*	0,17*	0,38*	-0,30	0,01	0,19	-0,19
Mar	-5,12**	-4,62**	-0,62**	-0,47	-0,56**	-1,31**	0,24	0,28**	-0,31**	-0,19
NIR(1) _{0,05}	3,83	1,83	0,33	0,52	0,17	0,30	0,56	0,13	0,20	0,21
NIR(2) _{0,05}	6,06	2,89	0,52	0,82	0,27	0,47	0,88	0,20	0,31	0,33
F	5,50**	9,15**	3,79**	4,42**	10,78**	20,08**	1,07	5,66**	4,37**	4,48**

NIR(1)_{0,05} — efekt istotnie różny od 0 — *LSD(1)_{0,05} — effect significantly different from zero*

NIR(2)_{0,05} — różnice istotne dla porównania odmian lub linii — *LSD(2)_{0,05} — significant differences for comparison of varieties or lines*

Tabela 2

Ogólne zdolności kombinacyjne różnych cech dla doświadczeń z mieszańcami pokoleń F₁ i F₂ — odmiany × linie wsobne, ocenione w układzie czynnikowym — *General combining abilities for experiments with F₁ and F₂ generations — varieties × inbred lines in the factor design for different traits*

Linia/odmiana <i>Line/variety</i>	Plon nasion <i>Seed yield</i>		Zawartość tłuszczu <i>Oil content</i>		Początek kwitnienia <i>Beginning of flowering</i>		Długość okresu kwitnienia <i>Length of flowering time</i>		Ocena wartości gosp. <i>Expected yield evaluation</i>	
	F ₁	F ₂	F ₁	F ₂	F ₁	F ₂	F ₁	F ₂	F ₁	F ₂
<i>Rośliny mateczne — Maternal plants</i>										
Wotan	2,81	1,56	-0,22	0,30	0,14	0,13	0,26	0,09	0,26*	0,23*
Silvia	-2,87	2,07*	0,86**	0,69**	0,26	0,40**	0,04	-0,14	-0,08	0,22*
Lirajet	2,61	-0,05	-0,16	-0,09	-0,04	0,16	0,22	0,05	-0,06	0,05
Polo	-0,56	-1,47	-0,48**	-0,39*	0,23	0,40**	-0,10	0,00	-0,01	-0,09
Mar	-1,99	-2,10*	0,01	-0,50**	-0,59**	-1,08**	-0,42	0,00	-0,11	-0,41**
NIR(1) _{0,05}	3,91	1,69	0,35	0,35	0,32	0,30	0,51	0,18	0,24	0,20
NIR(2) _{0,05}	6,19	2,67	0,55	0,56	0,51	0,47	0,81	0,28	0,38	0,31
F	1,43	3,75**	6,82**	6,34**	3,84**	13,79**	0,92	0,76	1,21	5,83**
<i>Zapyłacze — Pollinators</i>										
PN 3181/95	-6,12	-1,31	-0,15	-0,73*	-0,09	0,07	0,05	0,03	-0,06	0,16
PN 3451/95	-3,64	1,46	0,84**	0,88**	0,21	-0,24	-0,25	0,23	0,14	0,06
PN 3455/95	1,59	0,53	0,05	-0,39	0,51*	0,39	-0,55	-0,07	0,34	0,16
PN 3462/95	7,42*	-0,52	-0,26	-0,01	0,11	0,08	1,25**	-0,27	-0,26	0,16
PN 3707/95	3,97	2,31	-0,40	-0,03	-0,69**	-0,49*	0,35	-0,07	-0,16	-0,14
PN 3710/95	0,30	-0,13	0,78**	0,52	0,21	0,67**	-0,85*	-0,07	-0,26	0,16
PN 3734/95	1,63	-0,30	0,64*	0,29	-0,02	-0,69**	-0,64	0,32*	-0,20	-0,36*
PN 3999/95	-6,77*	-1,40	-1,00**	-0,10	-0,09	0,09	-0,35	-0,07	-0,16	-0,14
PN 4043/95	-2,17	-0,88	0,06	0,33	0,21	0,12	0,85*	-0,07	0,24	-0,04
PN 4272/95	2,64	-0,20	-0,69*	-0,55	-0,49	-0,72**	-0,15	-0,07	0,04	-0,24
PN 4287/95	1,15	0,43	0,15	-0,20	0,11	0,73**	0,25	0,13	0,34	0,26
NIR(1) _{0,05}	6,19	2,67	0,55	0,56	0,51	0,47	0,81	0,28	0,38	0,31
NIR(2) _{0,05}	9,18	3,96	0,82	0,83	0,75	0,70	1,21	0,42	0,57	0,46
F	1,77	0,66	4,15**	2,67*	1,65	4,00**	2,27*	1,26	1,35	1,54

NIR(1)_{0,05} — efekt istotnie różny od 0 — *LSD(1)_{0,05} — effect significantly different from zero*

NIR(2)_{0,05} — różnice istotne dla porównania odmian lub linii — *LSD(2)_{0,05} — significant differences for comparison of varieties or lines*

W tabeli 1 obliczony współczynnik F jest wysoce istotny na poziomie $\alpha = 0,01$ dla roślin macecznych (linie wsobne) dla plonu nasion i początku kwitnienia w pokoleniu F_2 . Także w grupie form ojcowskich (odmian) wysoce istotny jest współczynnik F dla plonu nasion, zawartości oleju w nasionach, początku kwitnienia oraz oceny wartości gospodarczej. Wysokie istotności ogólnych efektów kombinacyjnych wskazują, tak w pokoleniu F_1 jak i F_2 mieszańców, na addytywne działanie genów w dziedziczeniu tych cech. Natomiast wzrost istotności ogólnych efektów kombinacyjnych w pokoleniu F_2 w stosunku do pokolenia F_1 dla form ojcowskich u wszystkich cech można wytłumaczyć zmniejszeniem się zakłócającej ich ocenę heterozji.

W doświadczeniu, którego wyniki przedstawiono w tabeli 1 obserwowano różnicowanie genotypów w pokoleniu F_2 pod względem długości kwitnienia, istotne dla roślin macecznych oraz wysoce istotne dla form ojcowskich. Różnicowania takiego nie zaobserwowano dla roślin macecznych odnośnie oceny wartości gospodarczej mieszańców pokolenia F_2 .

W krzyżowaniach odwrotnych „odmiany \times linie wsobne” (tab. 2) ogólna zdolność kombinacyjna jest istotna dla roślin macecznych pod względem plonu nasion i związanej z nim oceny wartości gospodarczej. Wysoce istotny wzrost różnicowania genotypów roślin rodzicielskich, zarówno macecznych jak i ojcowskich, pod względem ogólnej zdolności kombinacyjnej wystąpił dla początku kwitnienia. Nie wykazano natomiast istotności różnicowania ogólnych zdolności kombinacyjnych dla cechy długości kwitnienia u roślin macecznych i u form ojcowskich oraz dla plonu nasion i związanej z nim oceny wartości gospodarczej u form ojcowskich. Wyniki podobne do przedstawionych w tej pracy otrzymano w badaniach nad mieszańcami uzyskanymi w krzyżowaniach czynnikowych (Krzymański i in. 1992), w krzyżowaniach diallelicznych (Krzymański i in. 1993, 1994; Pszczoła 1993) oraz przy pomocy testu topcross (Woś 1998).

Obliczone zostały najmniejsze istotne różnice NIR(1) pozwalające określić, które z wyliczonych ogólnych zdolności kombinacyjnych badanych odmian i linii wsobnych różnią się istotnie od zera oraz NIR(2) pozwalające na porównanie genotypów między sobą parami (tab. 1 i 2).

Linia PN 3462/95 w pokoleniu F_2 zachowała istotną dodatnią wartość kombinacyjną dla plonu nasion jako roślina maceczna, natomiast straciła ją jako forma ojcowska. Także linia PN 3181/95 charakteryzuje się istotną ujemną wartością kombinacyjną dla plonu nasion, zarówno jako forma maceczna jak i forma ojcowska. Wśród odmian podobną stabilną zdolność kombinacyjną zaobserwowano u odmiany Wotan.

Wartości specyficznej zdolności kombinacyjnej obu serii krzyżowań dla plonu nasion mieszańców pokoleń F_1 i F_2 zestawiono w tabeli 3. Wysoce istotnie dodatnia specyficzna zdolność kombinacyjna dla czterech kombinacji krzyżowań w pokoleniu F_1 straciła swoją istotność w pokoleniu F_2 . Tylko w jednym

przypadku zmieniła się z wysoce istotnie dodatniej (na poziomie $\alpha = 0,01$) na istotną (na poziomie $\alpha = 0,05$). Również kombinacje istotnie i wysoce istotnie ujemne w pokoleniu F_1 nie wykazały istotnej specyficznej zdolności kombinacyjnej w pokoleniu F_2 , prawdopodobnie uwarunkowanej w pokoleniu F_1 efektami heterozji. Podobne wyniki otrzymano w krzyżowaniach diallelicznych (Krzymański i in. 1994; Kudła 1996).

W tabeli 4 zestawiono zakresy zmienności, wartości $NIR_{0,05}$ oraz statystykę F według Snedecora w obu doświadczeniach dla specyficznych zdolności kombinacyjnych pozostałych badanych cech u mieszańców pokoleń F_1 i F_2 . Różnice pomiędzy specyficzną zdolnością kombinacyjną pokoleń F_1 i F_2 nie są tak wyraźne jak dla plonu nasion. Obserwowano istotne różnicowanie zawartości tłuszczu w nasionach mieszańców pokoleń F_1 i F_2 w jednym kierunku krzyżowania: odmiany \times linie wsobne. W krzyżowaniu odwrotnym nie stwierdzono istotnego różnicowania tej cechy pomiędzy pokoleniami. Wysokie istotności współczynnika F na poziomie $\alpha = 0,01$ specyficznej zdolności kombinacyjnej obserwowano także dla cechy początku kwitnienia mieszańców pokolenia F_2 (odmiany \times linie wsobne) oraz dla pokoleń F_1 i F_2 w krzyżowaniach odwrotnych.

Współczynniki korelacji obliczone pomiędzy badanymi cechami dla ogólnych zdolności kombinacyjnych zestawiono oddzielnie dla użytych w krzyżowaniach odmian oraz linii wsobnych. Wykazują one bowiem zasadnicze różnice. Ogólne zdolności kombinacyjne dla odmian (tab. 5a) są silnie skorelowane, na przykład ogólna zdolność kombinacyjna plonu nasion z ogólną zdolnością kombinacyjną zawartości tłuszczu w nasionach ($r = 0,863$), czy ogólną zdolnością kombinacyjną terminów początku i końca kwitnienia ($r = 0,985$). Ogólna zdolność kombinacyjna początku kwitnienia jest istotnie ujemnie skorelowana z ogólną zdolnością kombinacyjną długości kwitnienia, zarówno dla odmian jak i linii wsobnych. Z zależności tej wynika, że wcześniejsze mieszańce krócej kwitły. Ogólna zdolność kombinacyjna oceny polowej wartości gospodarczej dobrze koreluje z ogólną zdolnością kombinacyjną plonu nasion ($r = 0,843$), co wskazuje, że selekcja prowadzona na jej podstawie może być skuteczna w podnoszeniu plonu nasion. Ogólna zdolność kombinacyjna plonu nasion jest skorelowana, chociaż słabiej, z ogólną zdolnością kombinacyjną terminu kwitnienia, a więc sezon 1998/99 był sprzyjający dla odmian późniejszych.

Natomiast w populacji linii wsobnych (tab. 5b) brak korelacji pomiędzy ogólnymi zdolnościami kombinacyjnymi, z wyjątkiem terminów początku i końca kwitnienia. Z tymi terminami koreluje również dodatnio ogólna zdolność kombinacyjna oceny polowej wartości gospodarczej, brak jednak dla niej spodziewanej korelacji z plonem nasion, a więc w tym wypadku okazała się nieskuteczna w ocenie plenności. Niskie współczynniki korelacji pomiędzy ogólnymi zdolnościami kombinacyjnymi badanych cech wskazują, że linie te są mniej zróżnicowane genetycznie niż odmiany użyte do krzyżowania. Linie te pochodziły z selekcji prowadzonej w kierunku ekstremalnie niskiej zawartości glukozyolanów.

Tabela 3

Specyficzne zdolności kombinacyjne dla plonu nasion mieszańców pokoleń F₁ i F₂ — *Specific combining abilities for seed yields of F₁ and F₂ hybrids*

Linia <i>Line</i>	Wotan		Silvia		Lirajet		Polo		Mar	
	F ₁	F ₂	F ₁	F ₂	F ₁	F ₂	F ₁	F ₂	F ₁	F ₂
Rośliny mateczne <i>Maternal plants</i>	Zapylacze — <i>Pollinators</i>									
PN 3181/95	-5,27	-2,92	-8,72	-0,36	13,31*	4,24	2,08	-3,01	-1,40	2,06
PN 3451/95	0,13	2,53	3,53	-4,82	1,52	4,19	-0,38	-1,64	-4,80	-0,26
PN 3455/95	8,26	-3,04	-8,74	3,90	1,34	-4,67	-2,80	4,05	1,94	-0,25
PN 3462/95	0,28	-0,97	0,00	-0,00	10,28	4,16	-13,3*	-2,08	2,74	-1,11
PN 3707/95	0,85	0,43	2,68	3,83	3,94	-1,30	-6,26	1,32	-1,20	-4,28
PN 3710/95	1,83	1,27	5,79	-1,26	-0,34	2,45	-1,48	-7,36*	-5,80	4,91
PN 3734/95	-0,84	5,88*	3,75	-4,87	-11,74	2,60	7,72	-4,64	1,11	1,03
PN 3999/95	-7,98	-1,86	2,56	2,67	-9,95	-8,37**	8,31	7,63*	7,07	-0,07
PN 4043/95	-3,68	0,74	7,33	0,55	4,98	1,20	-15,85*	0,52	7,22	-3,01
PN 4272/95	8,64	-1,28	-13,60*	2,21	7,12	-0,92	1,07	-0,61	-3,22	0,60
PN 4287/95	-2,22	-0,77	5,42	-1,83	-20,46**	-3,59	20,90**	5,83*	-3,63	0,36
Krzyżowanie odwrotne — <i>Reciprocal crosses</i>										
Zapylacze <i>Pollinators</i>	Rośliny mateczne — <i>Maternal plants</i>									
PN 3181/95	-2,63	-2,71	10,65	1,58	-6,57	0,25	-4,83	0,94	3,38	-0,06
PN 3451/95	-12,56*	2,54	15,69*	1,31	8,87	0,37	-1,60	-3,75	-10,41	-0,47
PN 3455/95	1,94	2,32	8,47	0,07	-11,17	-3,45	4,39	4,11	-3,62	-3,06
PN 3462/95	5,22	-0,38	-4,27	-5,00	-2,21	9,03**	-1,65	-5,93*	2,91	2,28
PN 3707/95	1,42	-1,58	-3,76	0,67	2,75	0,09	-0,70	5,32	0,30	-4,50
PN 3710/95	-5,95	0,86	-9,20	2,60	20,55**	-1,42	-2,36	-1,38	-3,04	-0,66
PN 3734/95	12,47*	0,45	0,00	-0,00	-3,01	-2,10	-12,02	3,64	2,56	-1,98
PN 3999/95	8,47	-0,02	-2,69	4,09	-0,98	-4,69	-9,73	-6,20*	4,93	6,82**
PN 4043/95	-11,11	-6,26*	-6,47	-9,40**	3,49	4,69	7,25	8,28**	6,84	2,69
PN 4272/95	0,35	4,81	-3,67	3,21	-8,64	-1,80	15,65*	-8,07**	-3,68	1,85
PN 4287/95	2,38	-0,04	-4,75	0,87	-3,07	-0,97	5,59	3,05	-0,15	-2,91

* — istotne na poziomie $\alpha = 0,05$ — *significant at the level $\alpha = 0,05$* ** — istotne na poziomie $\alpha = 0,01$ — *significant at the level $\alpha = 0,01$*

Tabela 4

Specyficzne zdolności kombinacyjne pozostałych badanych cech w pokoleniach F₁ i F₂ mieszańców krzyżowanych w układzie czynnikiemowym — *Specific combining ability of another examined traits for F₁ and F₂ generations of crosses made in factor design*

Cecha <i>Trait</i>	Doświadczenie <i>Experiment</i> ¹⁾	Zakres zmienności <i>Range</i>		NIR _{0,05} <i>LSD</i> _{0,05}		F _{obliczone} <i>F</i> _{calculated}	
		F ₁	F ₂	F ₁	F ₂	F ₁	F ₂
Zawartość tłuszczu w nasionach [% s.m.] <i>Fat content in seeds [% d.m.]</i>	I	-2,05 – 1,70	-1,76 – 1,99	1,84	1,85	1,88*	2,18**
	II	-1,10 – 1,01	-2,71 – 1,93	1,73	2,73	0,93	1,59
Początek kwitnienia [dni] <i>Beginning of flowering [days]</i>	I	-1,16 – 1,54	-1,39 – 2,12	1,68	1,57	1,10	2,06**
	II	-1,87 – 1,11	-1,36 – 2,03	0,90	1,56	5,53**	2,12**
Długość okresu kwitnienia [dni] <i>Length of flowering time [days]</i>	I	-1,66 – 1,92	-0,56 – 0,50	2,70	0,94	1,09	0,84
	II	-1,43 – 1,75	-0,47 – 0,52	2,93	0,66	0,94	1,16
Ocena wartości gospodarczej <i>Expected yield evaluation</i>	I	-0,66 – 0,88	-0,89 – 0,77	1,27	1,02	0,86	1,55
	II	-0,72 – 0,65	-0,71 – 0,49	1,02	1,08	1,04	0,77

* — istotne na poziomie $\alpha = 0,05$ — *significant at the level $\alpha = 0.05$*

** — istotne na poziomie $\alpha = 0,01$ — *significant at the level $\alpha = 0.01$*

¹⁾ — Doświadczenie I — odmiany \times linie wsobne — *Experiment I — varieties \times inbred lines*
Doświadczenie II — krzyżowanie odwrotne — *Experiment II — reciprocal crossing*

Tabela 5a

Macierz współczynników korelacji ogólnej zdolności kombinacyjnej cech badanych odmian — pokolenie F₂
Coefficients correlation matrix of general combining ability for investigated varieties traits — generations F₂

	Plon nasion <i>Seed yield</i>	Zawartość tłuszczu <i>Oil content</i>	Początek kwitnienia <i>Beginning of flowering</i>	Koniec kwitnienia <i>End of flowering</i>	Długość kwitnienia <i>Length of flowering time</i>
Plon nasion — <i>Seed yield</i>	1				
Zawartość tłuszczu — <i>Oil content</i>	0,863**	1			
Początek kwitnienia <i>Beginning of flowering</i>	0,679*	0,398	1		
Koniec kwitnienia — <i>End of flowering</i>	0,627	0,337	0,985**	1	
Długość okresu kwitnienia <i>Length of flowering time</i>	-0,709*	-0,559	-0,660*	-0,528	1
Ocena wartości gospodarczej <i>Expected yield evaluation</i>	0,843**	0,882**	0,537	0,543	-0,330

Tabela 5b

Macierz współczynników korelacji ogólnej zdolności kombinacyjnej cech badanych linii wsobnych — pokolenie F₂
Coefficients correlation matrix of general combining ability for investigated traits of inbred lines — generations F₂

	Plon nasion <i>Seed yield</i>	Zawartość tłuszczu <i>Oil content</i>	Początek kwitnienia <i>Beginning of flowering</i>	Koniec kwitnienia <i>End of flowering</i>	Długość kwitnienia <i>Length of flowering time</i>
Plon nasion — <i>Seed yield</i>	1				
Zawartość tłuszczu — <i>Oil content</i>	-0,211	1			
Początek kwitnienia <i>Beginning of flowering</i>	-0,003	-0,061	1		
Koniec kwitnienia — <i>End of flowering</i>	0,007	-0,048	0,953**	1	
Długość okresu kwitnienia <i>Length of flowering time</i>	0,102	-0,024	-0,503*	-0,258	1
Ocena wartości gospodarczej <i>Expected yield evaluation</i>	-0,210	0,192	0,688**	0,641**	-0,403

* — istotne na poziomie $\alpha = 0,05$ — *significant at the level $\alpha = 0.05$*

** — istotne na poziomie $\alpha = 0,01$ — *significant at the level $\alpha = 0.01$*

Prawdopodobnie selekcja ta mimo bardzo licznej i zróżnicowanej populacji wyjściowej doprowadziła do zawężenia zmienności genetycznej uzyskanych linii. Najlepsze z wyprowadzonych mieszańców mogą posłużyć do selekcji nowej, bardziej zróżnicowanej generacji linii wsobnych o ekstremalnie niskiej zawartości glukozyolanów.

Wnioski

Użyte do krzyżowania odmiany były bardziej zróżnicowane genetycznie od posiadanych linii wsobnych. Wyraziło się to również w lepszej korelacji pomiędzy ogólnymi zdolnościami kombinacyjnymi dla badanych cech. Dlatego krzyżowanie w układzie czynnikiem okazało się bardziej przydatne dla wprowadzenia dodatkowej zmienności genetycznej do hodowanej populacji rzepaku ozimego podwójnie ulepszanego, od krzyżowania w układzie diallelicznym linii wsobnych (Krzymański i in. 1993, 1994).

Obliczenia dokonane na podstawie badań pokolenia F_2 umożliwiły dobór mieszańców z najlepszych kombinacji krzyżowań do dalszych prac hodowlanych, na przykład linia PN-3462/95 charakteryzuje się dodatnią ogólną zdolnością kombinacyjną dla plonu nasion, gdy występuje jako forma mateczna. Wśród odmian największą ogólną zdolność kombinacyjną wykazały w pokoleniu F_2 odmiany Wotan i Silvia.

Wyniki otrzymane dla ogólnej zdolności kombinacyjnej i specyficznej zdolności kombinacyjnej w pokoleniu F_1 są obciążone występowaniem efektu heterozji i mogą być przydatne głównie przy doborze składników odmian mieszańcowych (Bartkowiak-Broda 1981), natomiast ich użyteczność w hodowli rekombinacyjnej jest ograniczona. Parametry genetyczne obliczone na podstawie pokolenia F_2 są bardziej przydatne dla hodowli rekombinacyjnej, gdyż dzięki zanikowi dużej części efektów heterozji w tym pokoleniu lepiej pozwalają ocenić addytywną część zmienności genetycznej.

Literatura

- Bartkowiak-Broda I. 1981. Ocena heterozji i zdolność kombinacyjna kilku linii wsobnych rzepaku bezerukowego. Biuletyn IHAR, 146: 109-111.
- Bartkowiak-Broda I. 1994. Hodowla odmian mieszańcowych rzepaku. Rośliny Oleiste, XV (1): 11-20.
- Bartkowiak-Broda I. 1998. Odmiany mieszańcowe rzepaku – osiągnięcia i perspektywy. Rośliny Oleiste, XIX (2): 359-370.

- Garretsen F., Keuls M. 1978. A general method for the analysis of genetics variation of incomplete and incomplete diallels and North Carolina II design. Part II. Procedures and general formulas for the fixed model. *Euphytica*, 27: 49-68.
- Grabiec B., Krzymański J. 1985. Badania nad wykorzystaniem zjawiska heterozji w hodowli rzepaku ozimego w Polsce. *Biuletyn IHAR*, 157: 7-10.
- Krzymański J. 1970. Oznaczanie zawartości tłuszczu i wody w nasionach oleistych NMR. *Tłuszcze, Środki Piorące i Kosmetyki*, 14/4: 202-208.
- Krzymański J., Bulińska M., Korytowska W., Piętka T. 1983. Odziedziczalność i heterozja niektórych cech u rzepaku ozimego dwuzerowego. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 290: 141-158.
- Krzymański J., Piętka T., Krótka K. 1992. Zdolność kombinacyjna i heterozja mieszańców między czołowymi poznańskimi rodami rzepaku ozimego podwójnie ulepszanego. *Zeszyty Problemowe IHAR, Rośliny Oleiste*, XIV: 37-46.
- Krzymański J., Piętka T., Krótka K. 1993. Zdolność kombinacyjna i heterozja mieszańców diallelicznych rzepaku ozimego podwójnie ulepszanego. I. Pokolenie F_1 . *Postępy Nauk Rolniczych*, 5: 41-51.
- Krzymański J., Piętka T., Krótka K. 1994. Zdolność kombinacyjna i heterozja mieszańców diallelicznych rzepaku podwójnie ulepszanego. II. Pokolenie F_1 i F_2 . *Rośliny Oleiste*, XV (1): 21-32.
- Krzymański J., Piętka T., Krótka K., Michalski K. 1998. Relationship between seed yield and glucosinolate content in F_1 hybrid generation of double low winter oilseed rape (*Brassica napus* L.). *Rośliny Oleiste*, XIX (2): 389-398.
- Krzymański J., Piętka T., Ogrodowczyk M., Krótka K. 1999a. Ocena wartości kombinacyjnej mieszańców między liniami wsobnymi rzepaku ozimego i odmianami wykonana w układzie czynnikowym. I. Pokolenie F_1 . *Rośliny Oleiste*, XX (2): 335-345.
- Krzymański J., Piotrowska A., Ogrodowczyk M. 1999b. Zdolność kombinacyjna odmian i rodów rzepaku ozimego oraz przewidywane plonowanie syntetyków z nich utworzonych. *Rośliny Oleiste*, XX (2): 325-334.
- Kudła M. 1996. Ogólna wartość kombinacyjna linii wsobnych i efekty heterozji mieszańców F_1 i F_2 rzepaku ozimego. *Rośliny Oleiste*, XVII (1): 61-71.
- Piętka T., Krótka K., Krzymański J. 1998. Analiza zimotrwałości rzepaku ozimego podwójnie ulepszanego w krzyżowaniach diallelicznych – pokolenie F_1 i F_2 . *Rośliny Oleiste*, XIX (2): 371-378.
- Popławska W. 1992. Hodowla odmian mieszańcowych rzepaku przy wykorzystaniu CMS *polima*. *Rośliny Oleiste*, XIV: 28-36.
- Pszczółka J. 1993. Oszacowanie wartości kombinacyjnych wybranych cech rzepaku ozimego w dwóch układach diallelicznych. *Postępy Nauk Rolniczych*, 5: 33-40.
- Ubysz-Borucka L., Mądry W., Muszyński S. 1985. Podstawy statystyczne genetyki cech ilościowych w hodowli roślin. SGGW-AR Warszawa.
- Woś H., Węgrzyn S., Woś J. 1998. Ogólna zdolność kombinacyjna wybranych linii wsobnych i efekty heterozji mieszańców F_1 rzepaku ozimego. *Rośliny Oleiste*, XIX (2): 379-387.