

TADEUSZ ŁUCZKIEWICZ¹**JAN BOCIANOWSKI**²**JERZY NAWRACAŁA**¹¹ Katedra Genetyki i Hodowli Roślin, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu² Katedra Metod Matematycznych i Statystycznych, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

Efekt heterozji cech ilościowych rzepaku ozimego (*Brassica napus* L.) u mieszańców jednozerowych linii wsobnych krzyżowanych z odmianą Californium

Effect of quantitative traits heterosis in winter rape (*Brassica napus* L.) hybrids between zero-erucic inbred lines crossed with the variety Californium

Cztery linie mutacyjne (białe płatki korony, wąskie płatki korony, dwie linie męsko sterylne) mające w nasionach wysoką zawartość glukozynolanów (około 50 $\mu\text{mol/g s.m}$), krzyżowano z odmianą Californium. Doświadczenie z formami rodzicielskimi i mieszańcami F_1 założono w Rolniczym Gospodarstwie Doświadczalnym Dłoń. Przeprowadzono obserwacje cech morfologicznych, cech — komponentów plonu oraz sprawdzono zawartość tłuszczu, białka i glukozynolanów w nasionach. Wykonano analizę wariancji, analizę zmiennych kanonicznych oraz obliczono efekty heterozji poszczególnych cech w stosunku do odmiany Californium oraz średniej z obojga rodziców. Badane formy rodzicielskie i mieszańce F_1 różniły się istotnie pod względem wszystkich (poza liczbą i masą nasion z rośliny) analizowanych cech ilościowych. Analiza zmiennych kanonicznych potwierdziła, że linie mutacyjne wyprowadzone z odmian jednozerowych znacznie różniły się od odmiany Californium pod względem wszystkich cech traktowanych łącznie. W trzech z czterech kombinacjach krzyżowania odnotowano istotne efekty heterozji dla większości analizowanych cech w tym dodatnie, istotne, efekty heterozji w stosunku do odmiany Californium stwierdzono dla cech komponentów plonu: liczby tłuszczyn i nasion z rośliny oraz masy nasion z rośliny. Wyniki te potwierdzają hipotezę, że efekty heterozji są większe przy krzyżowaniu form oddalonych genetycznie.

Słowa kluczowe: heterozja, linie mutacyjne, rzepak ozimy

Four mutated lines (white petals, narrow petals, 2 male sterile lines) with high (about 50 $\mu\text{mol/g d.m.}$) glucosinolate content in seeds were crossed with variety Californium. Experiment with parental forms and F_1 hybrids was carried out in Experimental Station Dłoń. Observations of morphological traits and yield component traits were made, and contents of oil, protein and glucosinolate in seeds were measured. Analysis of variance, analysis of canonical variates and effects of heterosis in relation to parental mean and to variety Californium were calculated. Analyzed parental forms and F_1 hybrids differed significantly in all traits except a number and weight of seeds per plant. Analysis of canonical variates confirmed that the mutated lines originated from zero-erucic varieties differed from variety

Californium with regards to all analyzed traits taken jointly. In three from four cross combinations significant positive effects of heterosis were observed for the majority of traits including positive effects to variety Californium for yield component traits: number of pods and seeds per plant and weight of seeds per plant. These results confirm the hypothesis that heterosis effects is higher in hybrids between genetically distinct forms.

Key words: heterosis, mutant lines, winter rape

WSTĘP

Rzepak ozimy (*Brassica napus* L.) jest najważniejszym w Europie i trzecim na świecie gatunkiem roślin oleistych. Współcześnie uprawiane odmiany rzepaku ozimego w niewielkim stopniu różnią się pod względem uwarunkowanych genetycznie cech jakościowych i ilościowych. Szczególnie pula genowa rzepaku dwu-zerowego jest względnie wąska, dlatego też plon wielu mieszańców nie jest znacząco wyższy od plonu odmian populacyjnych. Zwiększenie zmienności genetycznej rzepaku, gatunku allopoliploidalnego, można uzyskać na drodze jego resyntezy (Girke i in., 1999; Zhao i n., 2009; Xiao i in., 2010,), przeprowadzenia krzyżowania międzyrodzajowego (Hu i in. 2002) oraz otrzymania roślin transgenicznych (Nath i in., 2009). Mutageneza jest wykorzystywana głównie do zmiany składu kwasów tłuszczowych (Röbbelen i Nitsch, 1975; Syed i in., 1990; Ashri, 1992; Rütke i Röbbelen, 1995; Spasibionek, 2002, 2006), a także zmian cech morfologicznych roślin i ich reakcji na stresowe warunki środowiska.

Rosnące zapotrzebowanie na olej rzepakowy przeznaczony na cele spożywcze jak i biopaliwa powoduje bardzo duże zainteresowanie otrzymywaniem mieszańców heterozyjnych charakteryzujących się wyższym plonem nasion i tłuszczu. Efekt heterozji plonu nasion rzepaku (*Brassica napus* L.) w pokoleniu F₁ mieszańców był obserwowany przez wielu autorów (Röbbelen, 1985; Grant i Beversdorf, 1985; Lefort-Buson i in. 1987; Brandle, McVetty, 1989; Paulmann i Frauen, 1991; Łuczkiwicz i in., 2006; Bocianowski i in., 2009). U pierwszych mieszańców heterozyjnych obserwowano wzrost plonu nasion od 5% do 15% w porównaniu z najlepszą odmianą populacyjną. Jednakże wieloletnie wykorzystywanie mało zróżnicowanej puli genowej u współcześnie uprawianych odmian populacyjnych i mieszańców heterozyjnych znacznie utrudnia znaczący postęp w hodowli mieszańców heterozyjnych tego gatunku. Stwierdzono wielokrotnie, że efekt heterozji jest większy przy krzyżowaniu form oddalonych genetycznie (Ali i in., 1995; Diers i in., 1996; Yu i in., 2004). Natomiast zainteresowanie olejem rzepakowym w aspekcie produkcji biopaliw spowodowało wzrost zainteresowania genotypami o wysokiej zawartości kwasu erukowego (Gehring i in., 2007).

Celem pracy było sprawdzenie na ile linie mutacyjne rzepaku ozimego wyprowadzone ze starej puli genowej genotypów jednozerowych tego gatunku (Jet Neuf, Brink i Janpol) ze zwiększoną na drodze mutacji zmiennością różnią się od współcześnie uprawianej odmiany Californium oraz określenie wielkości efektów heterozji w mieszańcach otrzymanych z krzyżowania pomiędzy liniami mutacyjnymi o tradycyjnej zawartości glukozyolanów ze współcześnie uprawianą odmianą dwuzerową.

MATERIAŁ I METODY

Materiał w doświadczeniu stanowiły cztery linie mutacyjne: R-30, R-82, R-83, i R-90, odmiana Californium oraz mieszańce pokolenia F₁ otrzymane w wyniku krzyżowania pomiędzy liniami mutacyjnymi a odmianą Californium. Linie mutacyjne wybrano ze 162 linii mutacyjnych rzepaku ozimego, otrzymanych w Katedrze Genetyki i Hodowli Roślin Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu w rezultacie wieloletnich prac prowadzonych od połowy lat siedemdziesiątych nad indukowaniem mutacji u rzepaku ozimego, polegających na poddaniu wielokrotnemu działaniu czynnika mutagennego nasion tej samej populacji z trzech odmian jedno-zerowych: Jet Neuf, Brink i Janpol. Wybrane linie charakteryzowały się zmienionymi cechami fenotypowymi: małe, białe płatki korony — linia R-83, wąskie płatki korony — linia R-90, oraz dwie były męsko sterylne — linie R-30 i R-82. Zawierały one w nasionach około 3% kwasu erukowego i około 100 μmola glukozynolanów (w s.m. nasion). Forma ojcowiska — odmiana populacyjna Californium to odmiana dwuzerowa tzn. posiadająca w nasionach poniżej 0,5% kwasu erukowego i bardzo obniżoną zawartość glukozynolanów (do 15 μmola).

Jedno powtórzeniowe doświadczenie polowe założono w sezonie wegetacyjnym 2008/2009 w Rolniczym Gospodarstwie Doświadczalnym Dłoi Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu. Nasiona form rodzicielskich i mieszańców pokolenia F₁ zostały wysiane na poletkach czterorzędowych o powierzchni 9 m² (długość 6 m, szerokość 1,6 m, rozstawa rzędów 0,5 m). Liczba roślin na poletku wahała się od 300 do 600 roślin. Łącznie doświadczenie składało się z 9 poletek (5 poletek z formami rodzicielskimi i 4 poletka z mieszańcami F₁).

Zabiegi uprawowe, nawożenie, oprysk herbicydem oraz przeciwko słodyszkowi rzepakowemu wykonano zgodnie z zaleceniami dla uprawy rzepaku. Do opracowania biometrycznego wybierano losowo 50 pojedynków z każdego poletka z formami rodzicielskimi i 100 roślin z poletek, na których rosły mieszańce F₁.

Przeprowadzono analizę biometryczną następujących cech ilościowych roślin: średnica szyjki korzeniowej, wysokość roślin, liczba rozgałęzień, wysokość do pierwszego rozgałęzienia, liczba łuszczyń z rośliny, liczba nasion z rośliny, liczba nasion w łuszczyńce, masa nasion z rośliny i masa tysiąca nasion (MTN). Cechami dotyczącymi składu chemicznego nasion były: zawartość: białka, tłuszczu, sumy glukozynolanów i sumy glukozynolanów alifatycznych. Analizę składu chemicznego nasion (z pojedynczych roślin) wykonano w laboratorium należącym do Hodowli Roślin Strzelce Sp. Z o.o. Oddział Małyszyn. Analizy biochemiczne wykonano przy użyciu spektrometru (NIRS, model 6500 NIR Inc., Silverspring, MD, USA). Spektrum odbiciowe (log 1/R) w zakresie od 400–500 nm mierzono przy interwale 2 nm. Każda próba zawierała około 2 g nasion.

Przeprowadzono następujące obliczenia statystyczne: analizę wariancji, analizę zmiennych kanonicznych (Mardia i in., 1979), obliczenie efektów heterozji poszczególnych cech i w poszczególnych kombinacjach krzyżówkowych w stosunku do lepszego rodzica (odmiana Californium) oraz średniej z obojga rodziców.

WYNIKI

Przeprowadzona analiza wariancji wykazała, że linie mutacyjne i odmiana Californium różniły się pod względem wszystkich badanych cech roślin za wyjątkiem cech będących głównymi komponentami plonu tj. liczby nasion z rośliny i masy nasion z rośliny (tab. 1). Mieszańce F₁ różniły się od odmiany Californium wszystkimi cechami poza liczbą rozgałęzień pierwszego rzędu.

Tabela 1
Średnie kwadraty z analizy wariancji dla 13 analizowanych cech rodziców (czterech linii mutacyjnych i odmiany Californium) i mieszańców pokolenia F₁
Mean squares from analysis of variance for 13 traits of parents (four mutant lines and Californium variety) and F₁ hybrids

Cecha Trait	Rodzice Parents (df=4)	Błąd Residual (df=245)	F ₁ (df=4)	Błąd Residual (df=396)
Średnica szyjki korzeniowej Diameter of root neck	0,19*	0,08	0,93***	0,14
Wysokość roślin Plant height	1939,1***	203,8	1648,8***	156,2
Liczba rozgałęzień I rzędu Number of primary branches	30,00**	6,41	7,88	6,29
Wysokość do I rozgałęzienia Height to primary branch	2737,8***	139,3	910,7*	232,8
Liczba łuszczyń z rośliny Number of silique per plant	18258**	4106	62794***	8516
Liczba nasion z rośliny Number of seeds per plant	178082	240293	12439581***	786423
Masa nasion z rośliny Weight of seeds per plant	3,99	15,07	642,90***	56,32
MTN TSW	24,96***	1,07	1,85*	0,53
Liczba nasion w łuszczyńce Number of seeds per silique	135,08***	7,03	46,29***	5,33
Zawartość białka w nasionach Protein content in seeds	37,57***	1,2	14,07***	0,98
Zawartość tłuszczu w nasionach Oil content in seeds	299,46***	5,4	80,03***	3,87
Suma glukozynolanów Sum of glucosinolate	15053,84***	80,57	2821,83***	47,86
Suma glukozynolanów alifatycznych Sum of aliphatic glucosinolate	15079,55***	74,95	2794,44***	43,8

* istotne na poziomie 0,05; ** istotne na poziomie 0,01; *** istotne na poziomie 0,001

* significant at 0.05; ** significant at 0.01; *** significant at 0.001

Największa zmienność (wyrażoną współczynnikami zmienności) zarówno linii mutacyjnych, jak i odmiany populacyjnej Californium obserwowano dla liczby i masy nasion z rośliny oraz liczby łuszczyń (tab. 2).

Zmienność analizowanych cech linii rodzicielskich i mieszańców F₁
Variability of analyzed traits of parents and F₁ hybrids

Cecha Trait		R-30	F ₁	R-82	F ₁	R-83	F ₁	R-90	F ₁	Ś dla linii M for lines	Ś dla California M for California	Ś dla F ₁ M for F ₁
Średnica szyjki korzeniowej (cm)	Ś/M*	0,90	1,26	1,01	1,06	1,07	1,46	1,03	1,63			
Diameter of root neck	CV*(%)	31,4	28,2	28,6	40,1	30,6	24,4	25,5	28,4	1,02	1,01	1,35
Wysokość rośliny (cm)	Ś/M	114,4	137,7	117,9	121,9	123,3	145,9	128,1	147,2			
Plant height (cm)	CV(%)	14,9	10,2	12,5	9,6	13,4	7,9	8,6	7,1	120,92	113,3	138,18
Liczba rozgałęzień I rzędu	Ś/M	8,7	10,3	7,1	9,3	8,6	10,9	8,1	10,7			
Number of primary branches	CV(%)	36,9	21,5	33,5	47,2	31,1	21,2	18,7	27,2	8,12	7,1	10,30
Wysokość do I rozgałęzienia (cm)	Ś/M	53,9	58,0	49,7	47,4	60,8	58,7	68,9	46,1			
Height to primary branch (cm)	CV(%)	22,3	27,0	25,7	32,2	19,5	21,9	16,4	43,6	58,32	55,4	52,55
Liczba łuszczyń z rośliny	Ś/M	108,6	193,4	93,3	130,4	108,7	174,5	92,4	285,1			
Number of silique per plant	CV(%)	95,7	39,5	51,5	96,5	63,5	47,4	44,8	48,5	100,75	61,8	195,85
Liczba nasion z rośliny	Ś/M	638	1775	659,5	780	729,6	1327	766,2	2892			
Number of seeds per plant	CV(%)	63,6	49,8	78,8	54,7	90,2	52,7	63,1	48,1	98,32	632,1	1693,50
Masa nasion z rośliny (g)	Ś/M	5,05	14,08	5,10	6,06	5,61	11,02	4,91	21,96			
Weight of seeds per plant (g)	CV(%)	67,9	54,4	83,6	59,3	96,7	56,7	57,9	49,6	5,17	5,37	13,28
MTN (g)	Ś/M	7,76	7,82	7,52	7,59	7,12	8,10	6,39	7,50			
TSW (thousand seeds weight) (g)	CV(%)	11,3	10,1	13,5	5,9	14,3	9,6	12,3	5,5	7,20	8,27	7,75
Liczba nasion w łuszczyńce	Ś/M	7,55	9,32	6,75	8,46	5,92	7,36	7,76	10,06			
Number of seeds per silique	CV(%)	38,4	24,0	47,9	65,2	33,4	23,7	30,5	19,4	7,00	10,29	8,80
Procent białka w nasionach	Ś/M	22,2	21,6	22,7	23,1	22,7	22,5	21,8	21,3			
Protein content in seeds (%)	CV(%)	5,5	5,3	5,7	1,9	3,7	4,0	4,2	4,3	2,23	20,6	22,12
Zawartość tłuszczu w nasionach (%)	Ś/M	41,1	41,9	40,2	38,1	39,2	39,8	44,9	42,9			
Oil content in seeds (%)	CV(%)	7,4	5,0	4,2	2,5	5,3	5,1	4,0	3,7	41,35	40,9	40,68
Suma glukozynolanów	Ś/M	53,1	37,8	59,6	60,0	59,8	54,8	60,8	45,9			
Sum of glucosinolate	CV(%)	21,8	25,4	18,5	14,3	15,8	6,5	11,2	9,7	58,3	18,1	49,6
Suma glukozynolanów alifatycznych	Ś/M	47,5	33,4	55,0	54,1	55,5	50,5	56,8	40,2			
Sum of aliphatic glucosinolate	CV(%)	22,8	27,4	20,3	16,4	16,6	6,9	11,7	9,2	53,70	15,8	44,55

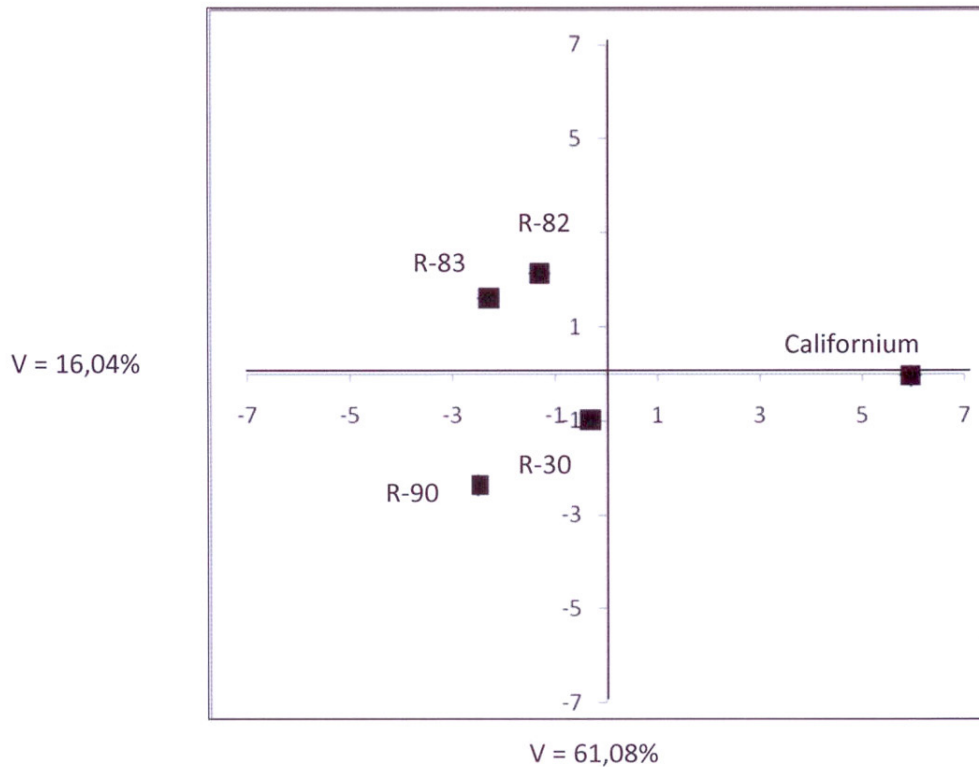
*Ś — średnia — M — mean

CV — współczynnik zmienności — coefficient of variability

Najmniejszą zmienność dla zawartości białka i tłuszczu w nasionach. Rośliny mieszańcowe F₁ wykazywały z reguły mniejszą zmienność aniżeli genotypy rodzicielskie. Zawartość w nasionach glukozynolanów alifatycznych i sumy glukozynolanów była

znacznie niższa u odmiany wzorcowej aniżeli u genotypów wyjściowych pochodzących od odmian jednozerowych. Zawartość glukozyolanów w nasionach była u mieszańców zbliżona do zawartości w nasionach matki.

Analiza zmiennych kanonicznych potwierdziła, że linie mutacyjne znacznie różnią się od odmiany Californium. Na rysunku 1 przedstawiono 4 linie mutacyjne oraz odmianę wzorcową Californium w układzie dwu pierwszych zmiennych kanonicznych. Dwie pierwsze zmienne kanoniczne wyjaśniły w sumie ponad 77% ogólnej zmienności scharakteryzowanej przez wszystkie analizowane cechy łącznie. Linie mutacyjne znacznie różniły się od odmiany Californium pod względem wszystkich cech traktowanych łącznie (rys. 1). Stosunkowo niewielkie różnice stwierdzono pomiędzy liniami R-82 (męsko sterylna) i R-83 (małe, białe płatki korony). Obydwie linie męsko sterylne różniły się między sobą w większym stopniu niż linie ze zmienionymi cechami morfologicznymi. Efekt heterozji był różny w odniesieniu do analizowanych cech jak i kombinacji krzyżowania. Najmniej istotnych statystycznie efektów heterozji stwierdzono u mieszańców F_1 linii R-82. W pozostałych trzech kombinacjach krzyżowania odnotowano istotne efekty heterozji dla większości analizowanych cech (tab. 3).



Rys. 1. Linie mutacyjne rzepaku ozimego i odmiana Californium w układzie dwu pierwszych składowych głównych

Fig. 1. Mutation lines of winter rape and variety Californium in the space of two principal components

Tabela 3

Efekty heterozji wybranych cech mieszańców F₁ w stosunku średniej dla rodziców i odmiany Californium
Heterosis effects of chosen traits in comparison to parent's mean and variety Californium

Mieszaniec - Hybrid	R-30 × Californium		R-82 × Californium		R-83 × Californium		R-90 × Californium	
	średnia dla rodziców parent's mean	Californium	średnia dla rodziców parent's mean	Californium	średnia dla rodziców parent's mean	Californium	średnia dla rodziców parent's mean	Californium
Średnica szyjki korzeniowej Diameter of root neck	0,308***	0,254***	0,05	0,05	0,42***	0,45***	0,61***	0,62***
Wysokość roślin Plant height	23,8***	24,3***	6,2	8,5	27,5***	32,5***	26,5***	33,9***
Liczba rozgałęzień I rzędu Number of primary branches	2,38***	3,14***	2,18*	2,10*	3,08***	3,82***	3,07***	3,57***
Wysokość do I rozgałęzienia Height to the first branch	3,40	2,60	-5,20	-8,00	0,5	3,2	-16,1***	-9,3*
Liczba łuszczyn z rośliny Number of siliques per plant	108***	132***	53	69*	89***	113***	208***	223***
Liczba nasion z rośliny Number of seeds per plant	1140***	1143***	134	148	646***	695***	2193***	2260***
Masa nasion z rośliny Weight of seeds per plant	8,9***	8,7***	0,8	0,7	5,53***	5,7***	16,8***	16,6***
Masa 1000 nasion Thousand seeds weight	-0,19	-0,44*	-0,30	-0,68	0,41*	-0,17	0,18	-0,76**
Liczba nasion w łuszczynie Number of seeds per silique	0,40	-0,97	-0,06	-1,80	-0,74	-2,93***	1,03	-0,24
Zawartość białka w nasionach Protein content in seeds	0,14	0,95***	1,47***	2,51***	0,86***	1,92***	0,03	0,63*
Zawartość oleju nasionach Oil content in seeds	0,93*	1,06*	-2,51**	-2,82**	-0,27	-1,09*	0,05	2,05**
Suma glikozynolanów Sum of glucosinolate	1,2	17,7***	20,2***	39,9***	14,8***	34,7***	5,4*	25,7***
Suma glikozynolanów alifatycznych Sum of aliphatic glucosinolates	1,7	17,6***	18,7***	38,3***	14,8***	34,7***	3,9	24,4***

* Istotne na poziomie 0,05; ** Istotne na poziomie 0,01; *** Istotne na poziomie 0,001 * Significant at 0.05; ** Significant at 0.01; *** Significant at 0.001

Heterozja dotyczyła zarówno cech fenotypowych roślin jak i cech związanych ze składem chemicznym nasion. Istotne statystycznie efekty heterozji obserwowano zarówno w przypadku szacowania heterozji w stosunku do średniej dla obu form rodzicielskich jak i do odmiany Californium. Dodatkowo istotne efekty heterozji w stosunku do odmiany Californium odnotowano dla cech komponentów plonu: liczby łuszczyń i nasion z rośliny oraz masy nasion z rośliny. Dodatkowo heterozję stwierdzono również dla zawartości białka w nasionach oraz zawartości sumy glukozydów i sumy glukozydów alifatycznych. Brak lub mały efekt heterozji a także heterozję ujemną wykazały takie cechy jak: wysokość roślin do I- rozgałęzienia, liczba nasion w łuszczyńce, masa tysiąca nasion oraz zawartość tłuszczu w nasionach.

DYSKUSJA

Mieszance rzepaku są obecnie powszechnie uprawiane przewyższając plonem nasion odmiany populacyjne. Już Becker (1987) stwierdził, że efekt heterozji plonu nasion waha się od 4 do 63% w porównaniu do średniego plonu rodziców i jest większy w warunkach nie sprzyjających rozwojowi roślin. Wielu autorów wskazywało, że wysokość efektu heterozji zależy od dystansu genetycznego krzyżowanych komponentów. Ali i in. (1995) stwierdzili na podstawie dystansu genetycznego ustalonego na podstawie wielozmiennej analizy, że efekt heterozji (w stosunku do średniej z rodziców) i dystans genetyczny były wysoce istotnie dodatnio skorelowane w przypadku plonu nasion, liczby łuszczyń na roślinie i liczby nasion w łuszczyńce. Podobnie w przeprowadzonym doświadczeniu dodatni istotny efekt heterozji obserwowano w przypadku liczby nasion z rośliny i masy nasion z rośliny. Yu i in. (2004) analizowali zależność efektu heterozji od genetycznego dystansu ustalonego na podstawie cech morfologicznych, izoenzymów i markerów RAPD. Stwierdzili, że korelacja pomiędzy dystansem genetycznym opartym o ważne markery i markery preferowane z rolniczego punktu widzenia a heterozją była istotna dla takich cech, jak wysokość roślin, liczba nasion w łuszczyńce i plon nasion. Natomiast całkowity dystans genetyczny pomiędzy formami rodzicielskimi okazał się nieprzydatny do prognozowania efektu heterozji. Również Bocianowski i in. (2008) stwierdzili, że odległości Mahalanobisa nie były powiązane lub były słabo powiązane z efektem heterozji.

Zawartość tłuszczu w nasionach jest cechą, dla której przeważnie nie obserwuje się efektów heterozji. Heterozja ujemną lub brak heterozji w zawartości oleju obserwowali Teklewold i Becker (2006). Obserwowano brak heterozji w zawartości oleju pomimo istotnej heterozji plonu nasion (Falk i in., 1994). Wyniki otrzymane w przeprowadzonym doświadczeniu były zróżnicowane. Podobnie jak (Wang i in., 2009) obserwowano w dwóch kombinacjach krzyżowania istotną ujemną heterozję pod względem zawartości oleju. Jednak w pozostałych dwóch kombinacjach efekty heterozji zawartości oleju były dodatnie w stosunku do odmiany Californium.

Linie krzyżowane w doświadczeniu wykazywały większą zmienność fenotypową uzyskaną w wyniku mutagenezy, co mogło dodatkowo wpłynąć na efekt heterozji. Małuszyński i in. (2001) stwierdzili występowanie heterozji u mieszańców otrzymanych z krzyżowania linii mutacyjnych z odmianą wyjściową. Girke i in. (1999) obserwowali

wysoki efekt heterozji u mieszańców pomiędzy liniami resyntetyzowanego rzepaku a odmianą rzepaku jarego Korall. Stwierdzili, że resynteza rzepaku daje nowe możliwości w hodowli heterozyjnej rzepaku.

W pracy otrzymano wyniki świadczące o możliwości otrzymania wysokiego efektu heterozji z krzyżowania linii o wysokiej zawartości glukozynolanów z wysoko plonującą odmianą populacyjną. Gehringer (2009) uważa, że połączenie różniących się puli genowej konwencjonalnych wysoko plonujących odmian z nowymi liniami o wysokiej zawartości kwasu erukowego jest obiecującą drogą do zwiększenia efektu heterozji. Gehringer i in. (2007) uważają, że odmiany mieszańcowe o wysokiej zawartości kwasu erukowego, uprawiane na słabych glebach są alternatywnym źródłem biodiesła. Dlatego też wydaje się, że możliwe jest włączenie niektórych linii mutacyjnych o tradycyjnym składzie chemicznym nasion do programów hodowli heterozyjnej rzepaku.

WNIOSKI

1. Genotypy rodzicielskie (linie mutacyjne i odmiana Californium) oraz mieszańce F₁ różniły się istotnie pod względem wszystkich (poza liczbą i masą nasion z rośliny) analizowanych cech ilościowych.
2. Największą zmienność zarówno linii mutacyjnych, jak i odmiany Californium obserwowano dla masy nasion z rośliny.
3. Rośliny pokolenia F₁ wykazywały z reguły mniejszą zmienność analizowanych cech aniżeli genotypy rodzicielskie.
4. Efekt heterozji cech ilościowych roślin będących komponentami plonu nasion był różny u mieszańców obu linii męskosterylnych biorących udział w doświadczeniu.
5. Dodatni efekt heterozji stwierdzono dla większości analizowanych cech mieszańców linii mutacyjnych (forma mateczna) z odmianą Californium. Heterozja dotyczyła zarówno cech "fenotypowych" roślin jak i cech związanych ze składem chemicznym nasion.
6. Efekt heterozji cech ilościowych roślin będących komponentami plonu nasion był różny u mieszańców obu linii męsko sterylnych biorących udział w doświadczeniu.
7. Otrzymane wyniki potwierdzają hipotezę, że efekty heterozji mogą być większe w przypadku krzyżowania form odległych genetycznie.

LITERATURA

- Ali M., Copeland L. O., Elias S. G., Kelly J. D. 1995. Relationship between genetic distance and heterosis for yield and morphological traits in winter canola (*Brassica napus* L.). *Theor. Appl. Genet.* 91: 118 — 121.
- Ashri A. 1992. Mutation breeding of oil crops. Joint FAO / IAEA Seminar, Zaragoza. Spain: 1 — 9.
- Bocianowski J., Łuczkiwicz T., Kozak M., Brzeskwiniwicz H. 2008. Does genetic distance of parental forms affect specific combining ability and heterosis effects in F₁ and F₂ of spring rape diallel cross? *Agriculturae Conspectus Scientificus* Vol. 73 (4): 211 — 215.
- Bocianowski J., Liersch A., Bartkowiak-Broda I. 2009. Badanie zmienności fenotypowej mieszańców F₁ CMS *ogura* rzepaku ozimego i ich form rodzicielskich za pomocą statystycznych metod wielowymiarowych. *Rośliny Oleiste — Oilseed Crops* XXX (2): 161 — 184.

- Brandle J.E., Mc Vetty P. 1989. Heterosis and combining ability in hybrids derived from oilseed rape cultivars and inbred lines. *Crop Sci.* 29: 1191 — 1195.
- Diers B. W., McVetty P. B. E., Osborn T. C. 1996. Relationship between heterosis and genetic distance based on restriction fragment length polymorphism markers in oilseed rape (*Brassica napus* L.). *Crop Sci.* 36: 79 — 83.
- Falk K., Rakow G., Downey R., Spurr D. 1994: Performance of inter-cultivar summer turnip rape hybrids in Saskatchewan. *Can. J. Plant Sci.* 74: 441 — 445.
- Gehringer A. 2009. Development of camelina (*Camelina sativa* Crtz.) genotypes and winter rapeseed *Brassica napus* L.) hybrids for marginal locations. Doctoral Dissertation Justus-Liebig-University Giessen, Giessen, November 2009: 1 — 124.
- Gehringer A., Spiller T., Basunanda P., Snowdon R.J. and Friedt W. 2007. New oilseed rape (*Brassica napus*) hybrids with high levels of heterosis for seed yield under nutrient-poor conditions. *Breeding Science* Vol. 57: 315 — 320.
- Gerke A., Becker H. C., Engqvist G. 1999. Resynthesized rapeseed as a new genpool for hybrid breeding. Proc 10th Intl. Rapeseed Congress, Canberra, Australia.
- Grant I, Beversdorf W. 1985 Agronomic resistance of triazine resistant single-cross hybrid oilseed rape (*Brassica napus* L.) *Can. J. Plant Sci.*, 1985, 65, (4): 889 — 892.
- Hu Q., Hansen L. N., Laursen J., Dixelius C., Andersen S. B. 2002. Intergeneric hybrids between *Brassica napus* and *Orychophragmus violaceus* containing traits of agronomic importance for oilseed rape breeding. *Theor. Appl. Genet.* Vol. 105: 834 — 840.
- Lefort-Buson, M., Guillot-Lemoine, B. and Dattee Y. 1987: Heterosis and genetic distance in rapeseed : crosses between European and Asiatic selfed lines. *Genome* 29: 413 — 418.
- Łuczkiwicz T., Nawracała J., Dyba S., Bączkiwicz B., Bocianowski J. 2006. Ocena efektów GCA, SCA i heterozji kilku cech linii hodowlanych rzepaku jarego. *Prace z Zakresu Nauk Rolniczych PTPN*, 98: 191 — 200.
- Matuszyński M., Szarejko I., Barriga P., Balcerzyk A. 2001. Heterosis in crop mutant crosses and production of high yielding lines using doubled haploid systems. *Euphytica* 120 (3): 387 — 398.
- Mardia K. V., Kent J. T., Bibby J. M. 1979. *Multivariate analysis*. Academic Press, London.
- Nath U. K., Wilmer J. A., Wallington E. J., Becker H. C., Mollers C. 2009. Increasing erucic acid content through combination of endogenous low polyunsaturated fatty acids alleles with Ld-LPAAT + Bn-fael transgenes in rapeseed (*Brassica napus* L.). *Theor. Appl. Genet.* 118: 765 — 773.
- Paulmann, W., Frauen, M. 1991. Einsatz von biotechnologischen Verfahren in der praktischen Rapszüchtung. Bericht der Arbeitstagung Saatzüchtleiter, Gumpenstein: 173 — 182.
- Röbbelen G., Nitsch A. 1975. Genetical and physiological investigations on mutants for polyenoic fatty acid in rapeseed *Brassica napus* L. *Z. Pflanzenzüchtg.* 75: 93—105.
- Röbbelen, G. 1985. Züchtung von Hybridraps. Bericht der Arbeitstagung Saatzüchtleiter, Gumpenstein, 173 - 185 [0843]103.
- Rucker B., Röbbelen G. 1995. Development of high oleic acid rapeseed. Proceedings of the 9th International Rapeseed Congress, Cambridge, 2: 389 — 391.
- Spasibionek S. 2002. Znaczenie mutagenyzy w tworzeniu nowych genotypów roślin oleistych o zmienionym składzie kwasów tłuszczowych. *Rośliny Oleiste — Oilseed Crops XXIII* (2): 533 — 546.
- Spasibionek S. 2006. New mutants of winter rapeseed (*Brassica napus* L.) with changed fatty acid composition. *Plant Breeding* 125: 259 — 267.
- Syed A. S., Ali I., Rachman K. 1990. Improvement of rapeseed for agronomic and quality characters through induced mutation and hybridization. *Mutation Breeding of Oil Seeds Crop*. FAO/IAEA, Vienna: 68 — 74.
- Teklewold A. Becker H. 2006. Comparison of phenotypic and molecular distance to predict heterosis and F₁ performance in Ethiopian mustard (*Brassica carinata* A. Braun). *Theor. Appl. Genet.* 112: 752 — 759.
- Wang H. Z, Lui G.-H., Wang X.-F., Liu J., Yang Q., Hua W. 2009. Heterosis and breeding of high oil content in rapeseed (*Brassica napus* L.) 16th Australian Research Assembly on Brassicas. Ballarat Victoria 2009.
- Xiao Y., Chen L., Zou J., Tian E., Xia W., Meng J. 2010. Development of a population for substantial new type *Brassica napus* diversified at both A/C genomes. *Theor. Appl. Genet.* 121 (6): 1141 — 1150.

- Yu C. Y., Hu S. W., Zhao H. X., Guo A. G., Sun G. L. 2004. Genetic distances revealed by morphological characters, isozymes, proteins and RAPD markers and their relationships with hybrid performance in oilseed rape (*Brassica napus* L.). *Theor. Appl. Genet.* 110 (3): 511 — 518.
- Zhao Y., Xiao L., Lu C. 2009. Genetic analysis of yield and its components of *B. napus* hybrids using resynthesized rapeseed lines. *Agricultural Science in China*, 8 (11): 1286 — 1292.