

Teresa Piętka, Krystyna Krótka, Jan Krzymański

Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin, Zakład Roślin Oleistych w Poznaniu

Możliwości modyfikowania składu kwasów tłuszczowych w nasionach rzepaku ozimego podwójnie ulepszanego poprzez selekcję w populacji linii wsobnych

Modification possibilities of fatty acid composition in seeds of double low winter oilseed rape with the use of selection in inbred lines population

Słowa kluczowe: rzepak ozimy, *Brassica napus* L., odziedziczalność, kwasy tłuszczowe: palmitynowy, stearynowy, oleinowy, linolowy, linolenowy, eikozenowy

Key words: winter oilseed rape, *Brassica napus* L., heritability, fatty acids: palmitic, stearic, oleic, linoleic, linolenic, eicosenoic

Poznanie zróżnicowania składu kwasów tłuszczowych w posiadanych materiałach hodowlanych rzepaku ozimego podwójnie ulepszanego jest niezbędne dla ustalenia jaką zmiennością naturalną dysponuje hodowca. Przeprowadzone badania pomogą ocenić możliwości modyfikowania składu kwasów tłuszczowych na drodze selekcji tak, aby lepiej dostosować właściwości oleju do różnych sposobów użytkowania. Do badań użyto linii wsobnych na poziomie $S_2 - S_9$ (pokolenia $F_4 - F_{11}$) wyselekcjonowanych z mieszańców międzyrodowych i rodowo-odmianowych. Duża liczba przebadanych prób pozwoliła na określenie w sposób statystycznie istotny nawet słabszych korelacji pomiędzy poszczególnymi kwasami. Najsilniej skorelowane są zawartości kwasów: oleinowego, linolowego i linolenowego. Obydwa kwasy wielonienasycone są ujemnie skorelowane z kwasem oleinowym. Natomiast korelacja pomiędzy nimi jest słabsza i stanowi tylko 19,3% ich zmienności. Uzyskane histogramy z małą rozdzielczością dla poszczególnych kwasów wskazują, że ich zmienność

The knowledge of fatty acids composition in seed oil present in lines of double winter oilseed rape is very important in breeding works. Presented research may help to estimate the possibilities of modification in fatty acids composition by individual plant or line selection. It is necessary to improve rapeseed oil quality according to its various uses. The research was done on inbred $S_2 - S_9$ lines (generations $F_4 - F_{11}$) selected from hybrids between strains or strains and varieties. Lower correlations between fatty acids were possible to estimate as statistically significant due to high number of examined lines. The strongest correlation existed among the contents of oleic, linolic and linolenic acids. Both polyunsaturated acids were negatively correlated with oleic acid. The correlation between linolic and linolenic acids was positive but lower and made only 19.3 per cent of general variability. Histograms made with low dispersion for individual fatty acids showed that variability had continuous character without distinct separated classes. They were asymmetric for all acids with

jest ciągła bez występowania odrębnych klas. Są one asymetryczne dla wszystkich kwasów, z wyjątkiem zawartości kwasu linolowego, którego rozkład wartości jest symetryczny. Współczynniki zmienności dla poszczególnych kwasów tłuszczowych, chociaż nieduże, wskazują, że istnieje zmienność składu kwasów tłuszczowych w badanej populacji pojedynczych izolowanych roślin, pomimo że pochodzą z linii o wysokim stopniu uwsobnienia. Odziedziczalności dla poszczególnych kwasów tłuszczowych obliczone z korelacji między pokoleniami oraz z analizy wariacji doświadczenia polowego wskazują, że mimo tej niedużej zmienności możliwa jest skuteczna selekcja indywidualna roślin i linii w kierunku zmian składu kwasów tłuszczowych oleju z nasion rzepaku.

exception for linoleic acid. Even if coefficients of variability for individual fatty acids were lower, the possibility of individual selection for changed fatty acids composition existed in population of inbred plants. Heritabilities for individual fatty acids calculated as correlations between generations, or estimated in variation analysis of field trial indicated that selection for changed composition of oil can be effective.

Wstęp

Usunięcie kwasu erukowego na drodze genetyczno-hodowlanej sprawiło, że bezerukowy olej rzepakowy dzięki korzystnym proporcjom w składzie kwasów tłuszczowych może być wykorzystywany do różnych celów (Krzymański 1970a). Jest pełnowartościowym olejem spożywczym, a dzięki wysokiej zawartości kwasu oleinowego ($C_{18:1}$) jest zbliżony jakościowo do oleju z oliwek. Wykorzystuje się go w przemyśle spożywczym na cele konsumpcyjne oraz w żywieniu zwierząt (Rakowska 1987). Możliwe jest to dzięki wysokiej zawartości kwasu oleinowego i korzystnemu stosunkowi zawartości kwasów linolowego do linolenowego, bliskiemu 2 : 1 (Ackman 1990, De Lorgeril i in. 1994, Hawrysh 1990, Singh i in. 2002, Ziemiański 2003). Szerokie zastosowanie oleju rzepakowego do celów technicznych, a także jako oleju napędowego do silników wysokoprężnych zmusza hodowców do wytworzenia nowych odmian o zróżnicowanym składzie kwasów tłuszczowych, dostosowanym do tego rodzaju wykorzystania (Krzymański 1993a, 1993b; Pągowski 2001; Roszkowski 1993, Scarth i in. 1992). Poznanie zróżnicowania składu kwasów tłuszczowych w posiadanych materiałach hodowlanych jest niezbędne dla ustalenia jaka zmienność naturalna jest do dyspozycji hodowcy. Przeprowadzone badania pomogą ocenić jakie są możliwości dalszego ulepszania i modyfikowania składu kwasów tłuszczowych na drodze selekcji, tak aby lepiej dostosować właściwości oleju do różnych sposobów użytkowania i sprostać wymaganiom przy rejestracji nowych odmian (Heimann 1999).

Material i metody

Material roślinny

Badany material roślinny stanowiły linie wsobne będące rekombinantami wy-prowadzonymi z mieszańców międzyrodowych i rodowo-odmianowych. Mieszzańce te uzyskano w wyniku krzyżowań wykonanych pomiędzy własnymi liniami podwójnie ulepszonymi oraz pomiędzy tymi liniami i odmianami krajowymi lub zagranicznymi. Krzyżowania wykonywane były w układzie diallelicznym lub w układzie czynnikowym (Krzymański i in. 1992, 1993, 1994). Uzyskane mieszańce wyselekcjonowane w rozszczepiających się pokoleniach prowadzono w chowie wsobnym. Badaniom poddano populację 1154 linii wsobnych rekombinantów na poziomie $S_2 - S_9$ (pokolenia $F_4 - F_{11}$) wyselekcjonowanych z tych mieszańców. Selekcję indywidualną prowadzono na podstawie wyników analiz nasion zebranych z pojedynczych roślin. Uzyskano populację linii wsobnych spełniających kryteria rzepaku ozimego podwójnie ulepszanego. Zawartość kwasu erukowego nie przekraczała 0,1%, a suma glukozyzolanów alkenowych 10 $\mu\text{M/g}$ nasion. Badane linie wsobne były reprezentowane przez pojedyncze rośliny zebrane w tym samym roku z jednego pola. Pozwoliło to na wyeliminowanie modyfikującego wpływu środowiska na kształtowanie się badanych cech (Dembiński i in. 1967a; Dembiński i in. 1967b; Bartkowiak-Broda, Krzymański 1981; Górnik, Grzesik 1998). Do badań wybrano tylko rośliny nie porażone przez choroby, w małym stopniu uszkodzone przez szkodniki, z dobrze wykształconymi i dojrzałymi nasionami. Pozwoliło to zredukować do minimum wpływ tych czynników na skład kwasów tłuszczowych oleju z nasion (Kachlicki 2003; Brown i in. 1999; Kulka, Górecki 1995).

Z badanej populacji wyselekcjonowano 71 pojedynczych izolowanych roślin do oceny w polowych doświadczeniach porównawczych oraz do dalszych prac badawczych i selekcyjnych. Wybrane izolowane rośliny badano w czteropowtórzeniowych doświadczeniach polowych. Doświadczenia były założone w układzie bloków losowanych kompletnych z systematycznie rozmieszczonymi poletkami wzorcowymi (co piąte). Poletka wzorcowe zostały wykorzystane do zredukowania zmienności wewnątrzblokowej za pomocą analizy kowariancji (Ceranka i in. 1974).

Metody analiz chemicznych

W zebranych nasionach zawartość tłuszczu oznaczano metodą magnetycznego rezonansu jądrowego (NMR) (Krzymański 1970b). Szerokopasmowy analizator NMR firmy Newport był cechowany za pomocą prób nasion rzepaku o znanej zawartości tłuszczu oznaczonej według polskiej normy PN-73/R-66164. Skład i zawartość kwasów tłuszczowych w oleju z nasion oznaczono metodą

chromatografii gazowej stosowaną w laboratorium biochemicznym IHAR w Poznaniu (Byczyńska, Krzymański 1969). Metoda ta jest zgodna z polskimi normami PN-EN-ISO 5508:1996 i PN-ISO 5509:1996.

Metody obliczeń statystycznych

Wyniki badania populacji linii wsobnych, populacji wyselekcjonowanych roślin i ich potomstw poddano analizie statystycznej. Wykorzystano możliwości programu MS Excel do sporządzania histogramów, charakterystyk zmienności oraz współczynników korelacji i determinacji pomiędzy zawartością poszczególnych kwasów tłuszczowych oraz pomiędzy pokoleniami.

Wyniki i dyskusja

Charakterystykę zmienności dla zawartości kwasów tłuszczowych badanej populacji rzepaku ozimego przedstawiono w tabeli 1. Współczynniki zmienności dla badanych kwasów tłuszczowych, z wyjątkiem kwasu erukowego są stosunkowo niewielkie, mieszczące się w granicach kilkunastu procent. Wskazuje to na pewne, choć ograniczone, możliwości selekcji w kierunku zmiany składu kwasów tłuszczowych oleju nasion w obrębie badanej populacji, przy wykorzystaniu istniejącej w niej zmienności. Zawartość kwasu erukowego w badanych liniach wsobnych nie przekraczała 0,1%, a uzyskany bardzo wysoki współczynnik zmienności jest spowodowany bardzo niską prawie zerową jego zawartością, leżącą w granicach błędów analiz.

Badania w większości przypadków wykazały istotne, choć nieraz słabe korelacje między poszczególnymi kwasami tłuszczowymi. Pozwoliła na to duża liczba badanych prób (tab. 2 i 3). Najsilniej skorelowane są zawartości kwasów oleinowego, linolowego i linolenowego. Obydwa kwasy wielonienasycone są ujemnie skorelowane z kwasem oleinowym. Zmienność kwasu oleinowego jest związana w 82,6% ze zmiennością kwasu linolowego i w 56,3% ze zmiennością kwasu linolenowego. Korelacja pomiędzy obydwoma kwasami wielonienasyconymi jest słabsza i stanowi tylko 19,3% ich zmienności. Jeszcze słabsze korelacje stwierdzono pomiędzy kwasami nasyconymi (palmitynowym i stearynowym) a kwasami wielonienasyconymi. Kwas palmitynowy jest istotnie ujemnie skorelowany z kwasem oleinowym i eikozenowym, a nieistotnie z kwasem linolenowym i erukowym, natomiast kwas stearynowy jest istotnie ujemnie skorelowany z kwasem linolowym i linolenowym. Nieistotnie bardzo słabo dodatnie lub ujemne są korelacje kwasu erukowego ze wszystkimi kwasami, poza będącym jego prekursorem kwasem eikozenowym. Współzmienność ta jest istotna, ale stanowi tylko 1%. Korelacje te układają się logicznie, zgodnie ze szlakami biosyntezy tych kwasów.

Tabela 1

Charakterystyka składu kwasów tłuszczowych oleju z nasion 1154 linii wsobnych (A) rzepaku ozimego podwójnie ulepszanego oraz potomstwa (B) wyselekcjonowanych 71 linii (do doświadczenia polowego) — *Characteristic of fatty acid composition of seed oil in 1154 inbred lines of double low winter oilseed rape and progeny of selected 71 lines (for trial)*

C_{16:0} kwas palmitynowy — *palmitic acid* C_{18:2} kwas linolowy — *linoleic acid* C_{20:1} kwas eikozenowy — *eicosenoic acid*
 C_{18:0} kwas stearynowy — *stearic acid* C_{18:3} kwas linolenowy — *linolenic acid* C_{22:1} kwas erukowy — *erucic acid*
 C_{18:1} kwas oleinowy — *oleic acid*

Parametry statystyczne <i>Statistic parameters</i>	C _{16:0}		C _{18:0}		C _{18:1}		C _{18:2}		C _{18:3}		C _{20:1}		C _{22:1}	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
Średnia — <i>Mean</i>	4,7	4,4	1,4	1,5	60,7	63,0	20,5	18,5	11,4	10,7	1,3	1,8	0,002	0,001
Błąd standardowy średniej <i>Standard error of mean</i>	0,01	0,03	0,01	0,02	0,09	0,19	0,06	0,18	0,04	0,09	0,01	0,02	0,0002	0,0008
Kurtoza — <i>Kurtosis</i>	1,17	2,21	1,65	-0,05	-0,15	0,01	-0,21	0,29	0,14	4,77	6,89	9,14	88,26	46,75
Skośność <i>Skewness</i>	0,47	0,98	0,59	0,26	0,20	-0,07	-0,02	0,18	-0,46	-1,11	-1,10	-2,29	8,94	6,70
Minimum	3,4	4,0	0,7	1,3	53,1	58,8	14,7	15,1	6,6	7,3	0,3	1,1	0,00	0,00
Maksimum	6,5	5,3	2,3	1,9	70,7	67,0	26,5	22,0	15,4	12,4	2,1	2,1	0,08	0,05
Zakres — <i>Range</i>	3,1	1,3	1,6	0,6	17,6	8,2	11,8	6,9	8,8	5,1	1,8	1,1	0,08	0,05
Współczynnik zmienności <i>Coefficient of variation</i>	8,0	5,4	13,3	8,3	4,8	2,6	10,1	8	12,3	7,1	11,8	8,2	332,3	624,4

Tabela 2

Macierz współczynników korelacji dla zawartości kwasów tłuszczowych w oleju nasion populacji 1154 linii wsobnych — *Matrix of correlation coefficients for fatty acids content in seed oil of 1154 inbred lines population*

C _{16:0}	kwas palmitynowy — <i>palmitic acid</i>	C _{18:3}	kwas linolenowy — <i>linolenic acid</i>
C _{18:0}	kwas stearynowy — <i>stearic acid</i>	C _{20:1}	kwas eikozenowy — <i>eicosenoic acid</i>
C _{18:1}	kwas oleinowy — <i>oleic acid</i>	C _{22:1}	kwas erukowy — <i>erucic acid</i>
C _{18:2}	kwas linolowy — <i>linoleic acid</i>		

Kwas Acid	C _{16:0}	C _{18:0}	C _{18:1}	C _{18:2}	C _{18:3}	C _{20:1}
C _{18:0}	0,014					
C _{18:1}	-0,190**	0,361**				
C _{18:2}	0,135**	-0,364**	-0,909**			
C _{18:3}	-0,063	-0,357**	-0,750**	0,439**		
C _{20:1}	-0,089**	0,059	0,096**	-0,098**	-0,153**	
C _{22:1}	-0,032	0,034	0,074	-0,068	-0,065	0,102**

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

Tabela 3

Macierz współczynników determinacji [%] dla zawartości kwasów tłuszczowych w oleju nasion populacji 1154 linii wsobnych — *Matrix of determination coefficients for fatty acids content in seed oil of 1154 inbred lines population*

Kwas Acid	C _{16:0}	C _{18:0}	C _{18:1}	C _{18:2}	C _{18:3}	C _{20:1}
C _{18:0}	0,0					
C _{18:1}	3,6**	13,0**				
C _{18:2}	1,8**	13,2**	82,6**			
C _{18:3}	0,4	12,8**	56,3**	19,3**		
C _{20:1}	0,8**	0,3	0,9**	1,0**	2,4**	
C _{22:1}	0,1	0,1	0,5	0,5	0,5	1,0**

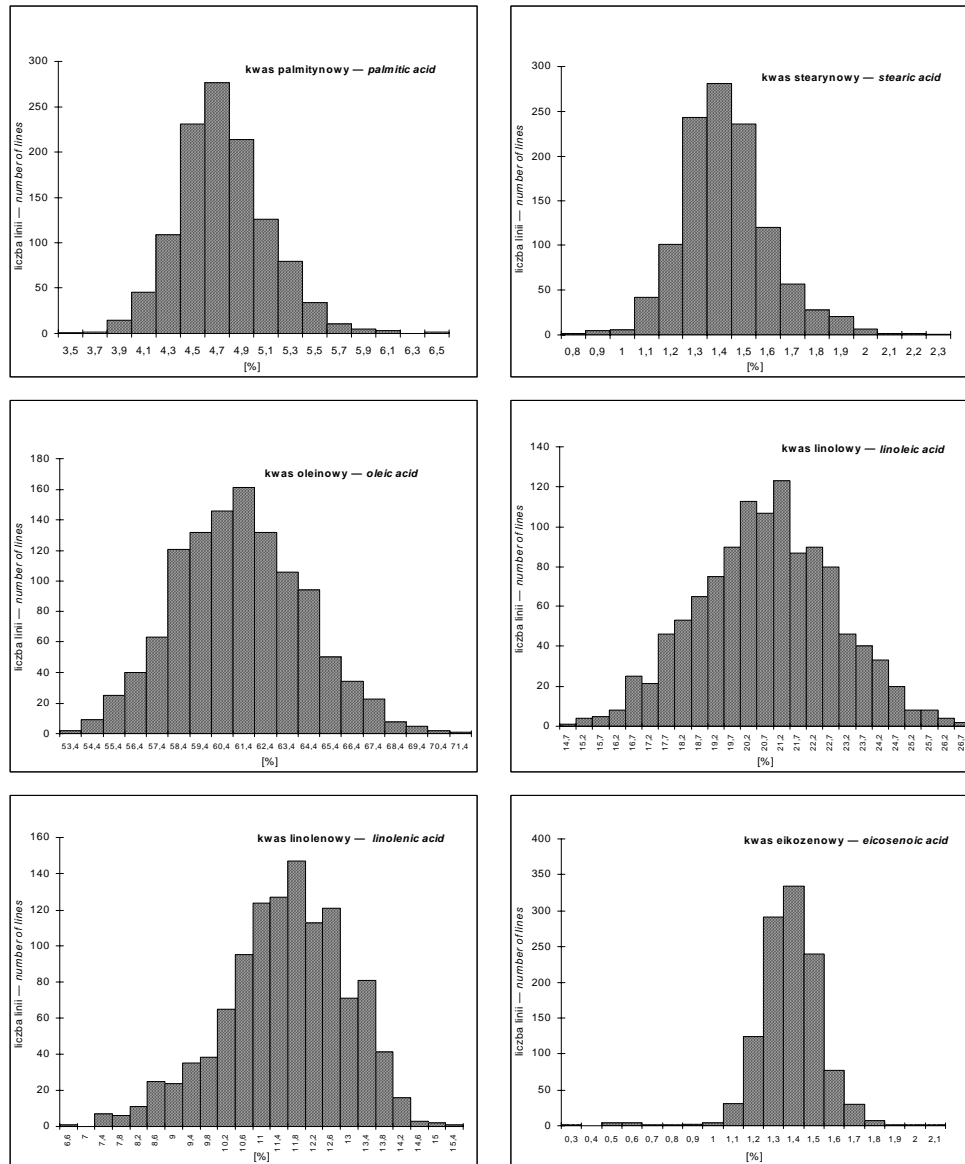
** wartości istotne na poziomie $\alpha = 0,01$ — *significant at level $\alpha = 0.01$*

Jeśli porównamy współczynniki determinacji (tab. 3) to praktyczne znaczenie mają tylko związki pomiędzy:

- kwasem oleinowym i kwasem linolowym (82,6%), i linolenowym (56,3%),
- kwasem linolowym i linolenowym (19,3%),
- kwasem stearynowym i oleinowym (13,0%), linolowym (13,2%) i linolenowym (12,8%).

Histogramy uzyskane dla poszczególnych kwasów tłuszczowych przy małej rozdzielczości (rys. 1) wskazują na ciągłą zmienność bez występowania wyodrębnionych klas wielkości. Są one asymetryczne, rozciągające się w kierunku mniej-

szych wartości dla kwasu linolenowego i eikozenowego oraz w kierunku wyższych wartości dla kwasów: palmitynowego, stearynowego i oleinowego. Symetryczny rozkład wartości zaobserwowano dla zawartości kwasu linolowego.



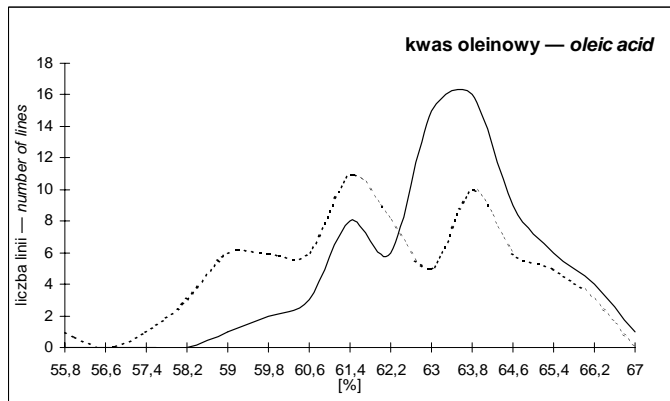
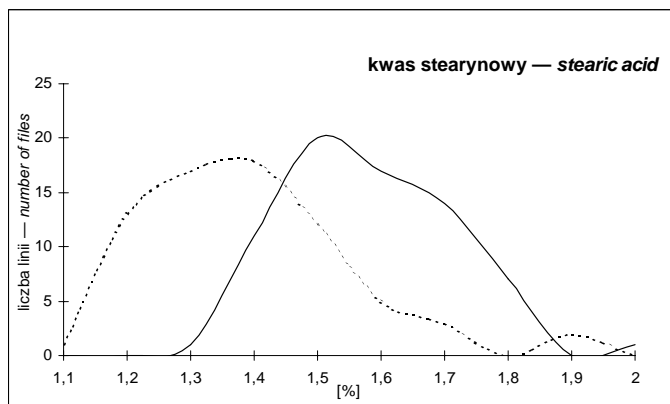
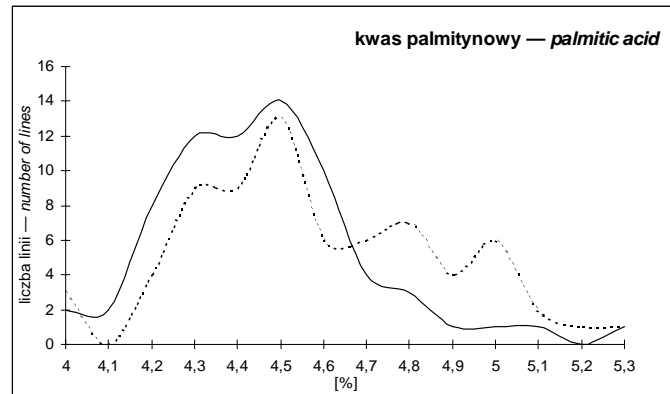
Rys. 1. Histogramy zawartości kwasów tłuszczowych w oleju nasion badanej populacji 1154 linii rzepaku ozimego — *Content of fatty acids in seed oil for examined population of 1154 lines of double low winter oilseed rape*

Porównanie populacji wyjściowej i nowej wyselekcjonowanej przedstawiono w tabeli 1. Wyjściowa populacja linii wsobnych była selekcjonowana w kierunku niskiej zawartości glukozyolanów przy zachowaniu zerowej zawartości kwasu erukowego w oleju z nasion. Także nową populację 71 linii wsobnych wybrano w kierunku ekstremalnie niskiej zawartości glukozyolanów, o zerowej zawartości kwasu erukowego i wyższej zawartości kwasu oleinowego, preferując linie o dobrej wartości gospodarczej. Presja selekcyjna była prowadzona głównie w tym kierunku. Uzyskane średnie wartości dla poszczególnych kwasów tłuszczowych nie różnią się wyraźnie od populacji wyjściowej, a ich współczynniki zmienności są mniejsze i mieszczą się w granicach kilku lub kilkunastu procent. Współczynniki zmienności dla kwasów tłuszczowych tak populacji wyjściowej, jak i wybranych 71 linii wskazują na ograniczone możliwości prowadzenia efektywnej selekcji w kierunku zmiany składu kwasów tłuszczowych metodą selekcji w obrębie populacji.

Znalezioną zmienność zawartości kwasów tłuszczowych w nowej populacji można prześledzić na rysunkach 2 i 3, które pokazują krzywe dla poszczególnych kwasów tłuszczowych w populacji wybranych linii oraz w ich potomstwach ocenionych w doświadczeniach porównawczych. Genotypy linii nie uległy zmianom między pokoleniami, a stwierdzone różnice w rozkładach spowodowane są wpływem zmian środowiska w czasie wegetacji (warunki glebowo-pogodowe). Jak widać warunki te mają wyraźny wpływ na skład kwasów tłuszczowych oleju z nasion rzepaku podwójnie ulepszanego.

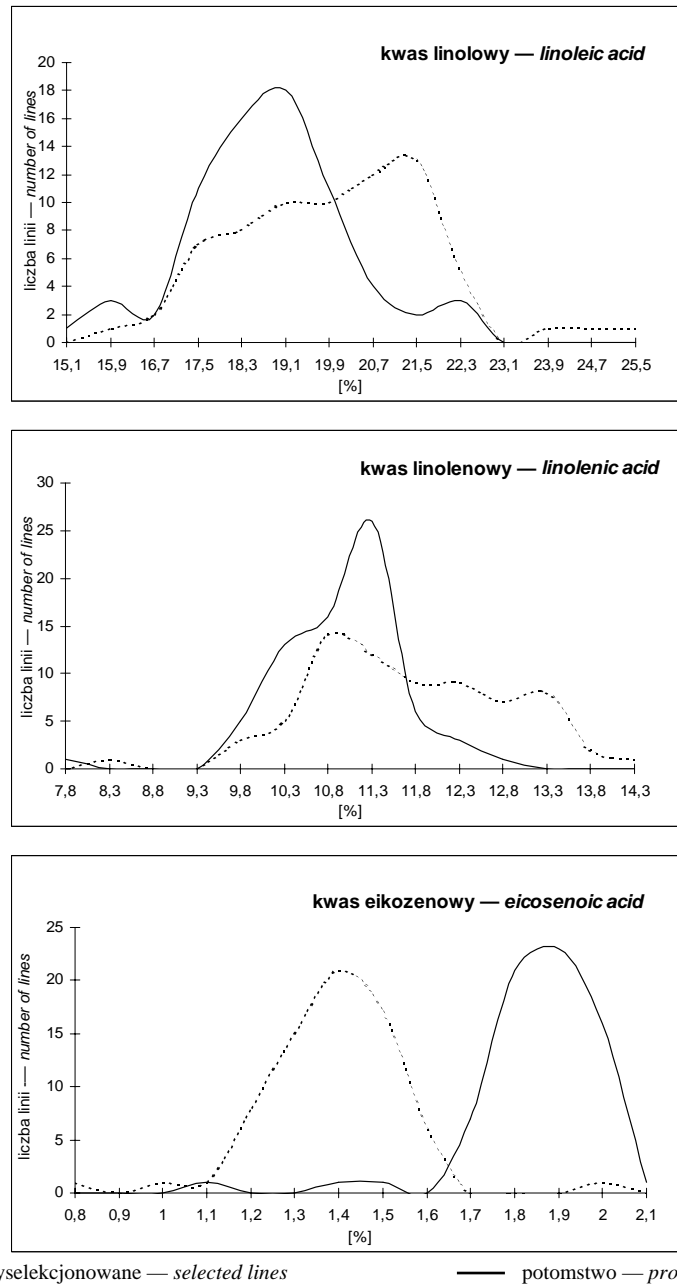
Większą zmienność składu kwasów tłuszczowych w materiałach rzepaku ozimego można uzyskać poprzez chemiczną indukcję mutacji (Spasibionek i in. 1998, 1999; Spasibionek 2002; Pleines, Friedt 1998; Schierholt i in. 2001). Działaniu wodnymi roztworami mutagenów można poddać zarówno nasiona, jak i zarodki nasion rzepaku ozimego stosując różne stężenia mutagenu (Byczyńska i in. 1996; Spasibionek i in. 1998, 1999; Spasibionek 2002). W wyniku tych prac udało się uzyskać nie tylko materiały wyjściowe do hodowli, lecz również wyhodować odmiany o podwyższonej zawartości kwasu oleinowego lub o obniżonej zawartości kwasu linolenowego (Scarth and McVetty 1999).

Dużą zmienność składu kwasów tłuszczowych oleju z nasion rzepaku uzyskano na drodze modyfikacji genetycznych (GMO). Otrzymano genotypy rzepaku zawierające kwasy tłuszczowe nie występujące naturalnie w nasionach rzepaku. Uzyskano formy wytwarzające kwas kaprylowy i kaprynowy w ilości około 38% wszystkich kwasów tłuszczowych w oleju nasion (Dehesh i in. 1996) oraz formy syntetyzujące kwas laurynowy do 58% sumy kwasów (Voelker i in. 1996). Ponadto poprzez transformacje genetyczne uzyskano genotypy o zmienionych proporcjach kwasów tłuszczowych: zwiększonej do 40 lub 22% zawartości kwasu stearynowego (Knutzon i in. 1992, 1999; Hawkins i Kridl 1998), zwiększonej do 89% zawartości kwasu γ -linolenowego (Ursin i in. 2000). Jednak dotąd próby uprawy na szerszą skalę przeprowadzono z rzepakiem wysokolaurynowym (Thelen i Ohlrogge 2002).



..... linie wyselekcjonowane — selected lines — potomstwo — progeny

Rys. 2. Zawartość kwasu palmitynowego, stearynowego i oleinowego w oleju nasion wyselekcjonowanych linii rzepaku i ich potomstwa — Content of palmitic, stearic and oleic acid in seed oil of selected lines and their progeny



Rys. 3. Zawartość kwasu linolowego, linolenowego i eikozenowego w oleju nasion wyselekcjonowanych linii rzepaku i ich potomstwa — Content of linoleic, linolenic and eicosenoic acid in seed oil of selected lines and their progeny

Odziedziczalność

Dla celów hodowlanych ważne jest poznanie jaka część zmienności całkowitej jest uwarunkowana genetycznie (genotyp), a jaka zależna od wpływu środowiska (warunki glebowo-pogodowe) (Dembiński i in. 1967a, 1967b; Muśnicki i in. 1999). Oszacowanie odziedziczalności przy selekcji indywidualnej roślin dla poszczególnych kwasów tłuszczowych wykonano za pomocą współczynników regresji (b) i korelacji między pokoleniami oraz współczynnika determinacji (r^2) (tab. 4). Najwyższe i najbardziej zbliżone wartości tych współczynników uzyskano dla zawartości kwasu linolowego $b = 0,646$ i $r^2 = 0,649$, natomiast dla zawartości kwasu oleinowego wartości te są niższe i wynoszą: $b = 0,458$ i $r^2 = 0,438$. Jeszcze niższe wartości współczynników odziedziczalności uzyskano dla zawartości kwasu linolenowego: $b = 0,397$ i $r^2 = 0,362$. Obliczenie odziedziczalności na podstawie wyników z dwóch lat pozwoliło na wyeliminowanie interakcji genotypów z latami. Niższe wartości współczynników odziedziczalności dla kwasów linolowego i linolenowego wskazują na większy wpływ środowiska na ekspresję fenotypową tych cech. Podobne wyniki uzyskano w pracy Bartkowiak-Broda (1979).

Tabela 4

Odziedziczalność szacowana różnymi metodami

The heritability estimation of different methods

C_{16:0} kwas palmitynowy — *palmitic acid*

C_{18:2} kwas linolowy — *linoleic acid*

C_{18:0} kwas stearynowy — *stearic acid*

C_{18:3} kwas linolenowy — *linolenic acid*

C_{18:1} kwas oleinowy — *oleic acid*

C_{20:1} kwas eikozenowy — *eicosenoic acid*

	C _{16:0}	C _{18:0}	C _{18:1}	C _{18:2}	C _{18:3}	C _{20:1}
Odziedziczalność jako — <i>Heritability as</i>						
współczynnik regresji (b) <i>coefficient of regression (b)</i>	0,552	0,518	0,458	0,646	0,397	0,193
współczynnik determinacji (r^2) <i>coefficient of determination (r²)</i>	0,467	0,404	0,438	0,649	0,362	0,051
poziom istotności (α) <i>significance level (α)</i>	5E-11	3E-09	3E-10	2E-17	3E-08	0,0572
odziedziczalność (h^2_{sl}) w szerszym sensie <i>heritability sensu lato (h²_{sl})</i>	0,639	0,564	0,336	0,860	0,653	0,602
poziom istotności (α) <i>significance level (α)</i>	1E-08	3E-06	0,0142	7E-29	3E-09	2E-07

Oszacowano także odziedziczalności poszczególnych kwasów dla selekcji linii wsobnych na podstawie analizy wariacji doświadczeń polowych założonych w układzie bloków losowanych w czterech powtórzeniach. Metoda ta nie pozwo-

liła wyeliminować interakcji genotypów ze środowiskiem i latami. Jednak uzyskano wyniki zbliżone do poprzednich.

Uzyskane wyniki są następujące:

- dla zawartości kwasu oleinowego $h^2 = 0,336$
- dla zawartości kwasu linolowego $h^2 = 0,860$
- dla zawartości kwasu linolenowego $h^2 = 0,653$

Wyższe wartości współczynników odziedziczalności dla zawartości kwasów wielonienasyconych: linolowego i linolenowego można tłumaczyć większą precyzją oceny tych wartości na podstawie wyników z doświadczeń lub ich silniejszą reakcją na wpływy środowiska.

Wnioski

Na podstawie wyników analiz nasion z pojedynczych roślin stwierdzono, że w badanej populacji istnieje zmienność składu kwasów tłuszczowych.

Uzyskane wyniki wskazują na możliwości selekcji i wyboru form o zmienionym w określonych granicach składzie kwasów tłuszczowych i dostosowanie go do sposobu użytkowania oleju. Możliwe do uzyskania na tej drodze różnice są jednak niezbyt duże.

Aby uzyskać większe zróżnicowanie, konieczne jest zastosowanie mutagenyzy lub przeprowadzenie modyfikacji genetycznych.

Conclusions

Chemical analyses of seeds from individual inbred plants confirmed that in an examined population still existed variability of fatty acid composition in seed oil.

Obtained results showed limited possibilities of effective selection for changed fatty acids composition and adaptation of the rapeseed oil to many different ways of its application.

For higher differentiation it is necessary to use mutagenesis or genetic modification (GMO).

Literatura

- Ackman R.G. 1990. Canola fatty acids – An ideal mixture for health, nutrition and food use. W: Canola and Rapeseed: production, chemistry, nutrition and processing technology. Ed. F. Shahidi, Van Nostrand Reinhold, New York, 81-98.

- Bartkowiak-Broda I. 1979. Dziedziczenie zawartości tłuszczu oraz kwasów: oleinowego, linolowego i linolenowego u bezerukowego rzepaku ozimego (*Brassica napus* L.). Praca doktorska wykonana w Zakładzie Roślin Oleistych IHAR w Poznaniu.
- Bartkowiak-Broda I., Krzymański J. 1981. Zmiany w składzie chemicznym nasion ozimego rzepaku bezerukowego K-2040 w czasie formowania i dojrzewania. Biuletyn IHAR, 146: 25-33.
- Brown J., McCaffrey J.P., Harmon B.L., Davis J.B., Brown A.P., Erickson D.A. 1999. Effect of late season insect infestation on yield, yield components and oil quality of *Brassica napus*, *B. rapa*, *B. juncea* and *Sinapis alba* in the Pacific Northwest region of the United States. J. Agric. Sci., 132 (3): 281-288.
- Byczyńska B., Krzymański J. 1969. Szybki sposób otrzymywania estrów metylowych kwasów tłuszczowych do analizy metodą chromatografii gazowej. Tłuszcze Jadalne, XIII: 108-114.
- Byczyńska B., Spasibionek S., Krzymański J. 1996. Zmniejszenie zawartości kwasów wielonienasyconych w oleju rzepakowym w wyniku mutacji chemicznej. Rośliny Oleiste – Oilseed Crops, XVII (1): 133-140.
- Ceranka B., Chudzik H., Dobek A., Krzymański J. 1974. Obliczanie charakterystyk genetycznych dla doświadczeń w układzie bloków zrandomizowanych kompletnych. Roczniki Akademii Rolniczej w Poznaniu, LXXI: 43-59.
- Dehesh K., Jones A., Knutzon D.S., Voelker T.A. 1996. Production of high levels of 8:0 and 10:0 fatty acids in transgenic canola by overexpression of *Ch FatB2*, a thioesterase cDNA from *Cuphea hookeriana*. Plant J., 9: 167-172.
- De Lorgeril M., Renaud S., Mamelle N., Salen P., Martin J-L., Monjaud I., Guidollet J., Touboul P., Delaye J. 1994. Mediterranean alpha-linolenic acid rich diet in secondary prevention of coronary heart disease. The Lancet, 343: 1454-1459.
- Dembiński F., Jaruszewska H., Krzywińska F., Krasnodębski P. 1967a. Wpływ różnej wilgotności gleby i nawożenia azotowego na skład kwasów tłuszczowych oleju z nasion rzepaku jarego. Pamiętnik Puławski, 25: 241-250.
- Dembiński F., Krasnodębski P., Orłowska T. 1967b. Skład kwasów tłuszczowych oleju rzepakowego w zależności od odmiany, środowiska oraz pory siewu i sprzętu. Pamiętnik Puławski, 25: 5-23.
- Górnik K., Grzesik M. 1998. Genetyczne, siedliskowe i maternalnie uwarunkowane jakości nasion. Post. Nauk Rol., 5: 37-47.
- Hawkins D.J., Kridl J.C. 1998. Characterization of acyl-ACP thioesterases of mangosteen (*Garcinia mangostana*) seed and high levels of stearate production in transgenic canola. Plant J., 13: 743-752.
- Hawrysh Z.J. 1990. Stability of canola oil. W: Canola and rapeseed: production, chemistry, nutrition and processing technology. Ed. F. Shahidi, Van Nostrand Reinhold, New York, 99-122.
- Heimann S. 1999. Ocena jakościowa rzepaku ozimego za lata 1996-1999. Rośliny Oleiste – Oilseed Crops, XX (2): 637-641.
- Jones A., Davies H.M., Voelker T.A. 1995. Palmitoyl-acyl carrier protein (ACP) thioesterase and the evolutionary origin of plant acyl-ACP thioesterases. Plant Cell, 7: 359-371.
- Kachlicki P. 2003. Rola metabolitów wtórnych w interakcji grzyba *Phoma lingam* z roślinami rzepaku (*Brassica napus* L.). J. Applied Genetics., Seria Rozprawy i Monografie (w druku).
- Knutzon D.S., Thompson G.A., Radke S.E., Johnson W.B., Knauf V.C., Kridl J.C. 1992. Modification of *Brassica* seed oil by antisense expression of a stearoyl-acyl carrier protein desaturase gene. Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 89: 2624-2628.
- Knutzon D.S., Hayes T.R., Wyrick A., Xiong H., Davies H.M., Voelker T.A. 1999. Lysophosphatidic acid acyltransferase from coconut endosperm mediates the insertion of laurate at the *sn-2*

- position of triacylglycerols in lauric rapeseed oil and can increase total laurate levels. *Plant Physiol.*, 120: 739-746.
- Krzymański J. 1970a. Genetyczne możliwości ulepszenia składu chemicznego nasion rzepaku ozimego. *Hodowla Roślin, Aklimatyzacja i Nasiennictwo*, 14, 2: 95-133.
- Krzymański J. 1970b. Oznaczanie zawartości tłuszczu i wody w nasionach oleistych metodą MNR. *Tłuszcze, Środki Piorące i Kosmetyki*, 14/4: 202-208.
- Krzymański J. 1993a. Osiągnięcia i nowe perspektywy prac badawczych nad roślinami oleistymi w Polsce. *Postępy Nauk Rol.*, 5/245: 7-14.
- Krzymański J. 1993b. Możliwości pełniejszego wykorzystania wartości rzepaku podwójnie ulepszanego. *Post. Nauk Rol.*, 6: 161-166.
- Krzymański J., Piętka T., Krótka K. 1992. Zdolność kombinacyjna i heterozja mieszańców między czółowymi poznańskimi rodami rzepaku ozimego podwójnie ulepszanego. *Zeszyty Problemowe IHAR, Rośliny Oleiste – Oilseed Crops*, XIV: 37-46.
- Krzymański J., Piętka T., Krótka K. 1993. Zdolność kombinacyjna i heterozja mieszańców diallelicznych rzepaku ozimego podwójnie ulepszanego. I. Pokolenie F₁. *Postępy Nauk Rol.*, 5/245: 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.
- Kulka K., Górecki J.R. 1995. Lipidy rozwijających się nasion. II. Gromadzenie lipidów w nasionach. *Post. Nauk Rol.*, 42 (4): 45-55.
- Muśnicki Cz., Toboła P., Muśnicka B. 1999. Wpływ niektórych czynników agrotechnicznych i siedliskowych na jakość plonu rzepaku ozimego. *Rośliny Oleiste – Oilseed Crops*, XX (2): 459-469.
- Pągowski Z. 2001. Biopaliwa dla lotnictwa. *Rośliny Oleiste – Oilseed Crops*, XXII (2): 551-565.
- Pleines S., Friedt W. 1998. Breeding for improved C18-fatty acid composition in rapeseed (*Brassica napus* L.). *Fat Sci. Technol.*, 90, 5: 167-171.
- Polskie Normy:
PN-73/R-66164. Oznaczanie zawartości tłuszczu w nasionach, owocach oleistych i śrucie poekstrakcyjnej.
PN-EN-ISO 5508: 1996. Oleje i tłuszcze roślinne oraz zwierzęce. Analiza estrów metylowych kwasów tłuszczowych metodą chromatografii gazowej.
PN-ISO 5509: 1996. Oleje i tłuszcze roślinne oraz zwierzęce. Przygotowanie estrów metylowych kwasów tłuszczowych.
- Rakowska M. 1987. Współczesne poglądy na pożądaną skład kwasów tłuszczowych dla całodziennych racji pokarmowych człowieka, zapobiegający nasilaniu się chorób naczyniowych. *Wyniki badań nad rzepakiem ozimym, Zeszyty Problemowe IHAR*, 149-155.
- Roszkowski A. 1993. Możliwości wykorzystania rzepaku do celów technicznych. Konferencja Naukowa „Rzepak stan obecny i perspektywy”. Radzików, 3-4.06.1993, 102-106.
- Scarth R., McVetty P.B.E. 1999 Designer oil canola a review of new food-grade *Brassica* oils with focus on high oleic, low linolenic types. *Proc. 10th Int. Rapeseed Congress, Canberra, Australia, 26-29 September 1999, CD ROM*.
- Schierholt A., Ruecker B., Becker H.C. 2001. Inheritance of high oleic mutations in winter oilseed rape (*Brassica napus* L.). *Crop Sci.*, 41 (5): 1444-1449.
- Singh R.B., Dubnov G., Niaz M.A., Ghosh S., Singh R., Rastogi S.S., Manor O., Pella D. 2002. Effect of an Indo-Mediterranean diet on progression of coronary artery disease in high risk

- patients (Indo-Mediterranean Diet Heart Study): a randomised single-blind trial. *The Lancet*, 360: 1445-1456.
- Spasibonek S. 2002. Wykorzystanie mutageny indukowanej chemicznie dla tworzenia nowych genotypów rzepaku ozimego o zmienionym składzie kwasów tłuszczowych. Praca doktorska wykonana w Zakładzie Roślin Oleistych IHAR w Poznaniu.
- Spasibonek S., Byczyńska B., Krzymański J. 1998. Wpływ środowiska na zmiany składu kwasów tłuszczowych w oleju mutantu 1207 rzepaku ozimego. *Rośliny Oleiste – Oilseed Crops*, XIX (2): 627-632.
- Spasibonek S., Byczyńska B., Krzymański J. 1999. Badania nad optymalizacją warunków mutageny chemicznej u rzepaku w celu otrzymania nowej zmienności nienasyconych kwasów tłuszczowych. *Rośliny Oleiste – Oilseed Crops*, XX (2): 613-621.
- Stoutjesdijk P.A., Hurlestone C., Singh S.P., Green A.G. 2000. High-oleic acid Australian *Brassica napus* and *B. juncea* varieties produced by co-suppression of endogenous delta-12 desaturases. *Biochem. Soc. Trans.*, 28: 938-940.
- Thelen J.J., Ohlrogge J.B. 2002. Metabolic Engineering of Fatty Acid Biosynthesis in Plants. *Metabolic Engineering*, 4: 12-21.
- Ursin V., Knutzon D., Radke S., Thornton J., Knauf V. 2000. Production of beneficial dietary omega-3 and omega-6 fatty acids in transgenic canola. W: Abstracts of the 14th International Symposium on Plant Lipids, p. 13.
- Voelker T.A., Hayes T.R., Cranmer A.M., Turner J.C., Davies H.M. 1996. Genetic engineering of a quantitative trait: Metabolic and genetic parameters influencing the accumulation of laurate in rapeseed. *Plant J.*, 9: 229-241.
- Ziemlański Ś. 2003. Tłuszcze. W: *Żywnienie człowieka. Podstawy nauki o żywieniu*. Pod red. J. Gawęckiego i L. Hryniewieckiego, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 152-176.