

ZYGMUNT KACZMAREK ¹
ELŻBIETA ADAMSKA ¹
LAURENCJA SZAŁA ²
TERESA CEGIELSKA-TARAS ²

¹ Instytut Genetyki Roślin PAN, Poznań

² Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin — PIB, Oddział w Poznaniu

Stabilność zdolności kombinacyjnej nienasyconych kwasów tłuszczowych u linii podwojonych haploidów rzepaku ozimego*

Stability of combining ability for unsaturated fatty acids content in DH lines of winter oilseed rape

Praca zawiera wyniki badań zdolności kombinacyjnych linii DH przeprowadzonych na podstawie analizy statystycznej trzyletniej serii doświadczeń linia \times tester z rzepakiem ozimym. Podstawą badań serii była analiza wariancji oparta na modelu mieszanym obserwacji. Została ona przeprowadzona dla serii doświadczeń, których obiektami były mieszańce uzyskane ze skrzyżowania 7 linii z 4 testerami. Każde z doświadczeń założone było w układzie losowanych bloków w trzech replikacjach. W pracy przedstawione są wyniki analizy efektów ogólnej (GCA) i specyficznej (SCA) zdolności kombinacyjnej linii rodzicielskich ze względu na zawartość kwasów tłuszczowych (oleinowego, linolowego i linolenowego) u mieszańców F_2 linia \times tester. Dla każdego z badanych kwasów wyznaczono oceny średnich efektów GCA i SCA linii DH i testerów oraz dokonano testowania ich istotności. Podstawowym celem pracy był wybór tych linii DH rzepaku ozimego, które spełniałyby wymagania dotyczące odpowiedniej zawartości kwasów tłuszczowych w oleju nasion przydatnych w produkcji biopaliw oraz farb i lakierów.

Słowa kluczowe: interakcja genotypowo-środowiskowa, kwasy tłuszczowe, podwojone haploidy, schemat linia \times tester, rzepak ozimy, zdolność kombinacyjna

The article presents the analysis of general and specific combining ability of winter oilseed rape DH lines. The various statistical methods were used to evaluate parental forms on the basis of series of experiments with F_2 hybrids obtained from the line \times tester crossing scheme. The experiments were carried out in a completely randomised block design with three replications and over three successive years. The article contains the results of general and specific combining ability analyses for parental lines in respect of the content of unsaturated fatty acids in F_2 line \times tester hybrid generation. For each fatty acid the estimates of GCA and SCA effects for DH lines and testers were obtained and tested. The

* Praca wykonana w ramach grantu MNiSW NN 310 315534

interaction of these effects with years was also studied. The aim of the paper was to select the most interesting oilseed rape DH lines with regard to the requirements for fatty acids.

Key words: interaction GE, fatty acids, doubled haploid, line \times tester scheme, winter oilseed rape, combining ability

WSTĘP

Zapotrzebowanie na wysokiej jakości olej rzepakowy stale w świecie rośnie. Stąd pragnienia wielu hodowców skierowane są na uzyskanie różnych kreacji rzepaku ozimego, odznaczających się odpowiednim składem kwasów tłuszczowych w oleju nasion rzepaku. W szczególności wyhodowanie odmian o wysokiej zawartości kwasu oleinowego i obniżonej zawartości kwasu linolenowego, tzw. naturalnie stabilnego (typu HOLL), bądź odmian o wysokiej zawartości kwasu linolowego (typu HILL), staje się głównym celem znacznej liczby programów hodowlanych. Celem niniejszej pracy jest ocena form matecznych i ojcowskich 9 linii DH wybranych na podstawie wcześniejszych badań autorów oraz 4 testerów różniących się co najmniej jedną cechą, pod względem efektów ogólnej i specyficznej zdolności kombinacyjnej kwasów nienasyconych: kwasu oleinowego (C18:1), linolowego (C18:2) i linolenowego (C18:3).

Praca zawiera rezultaty badania ogólnej i specyficznej zdolności kombinacyjnej linii podwojonych haploidów (linii DH) i testerów na podstawie wyników trzyletniej serii doświadczeń linia \times tester z mieszańcami F_2 rzepaku ozimego. Podstawą badań serii była analiza wariancji oparta na liniowym modelu mieszanym obserwacji mieszańców. Prezentowana metoda uwzględniała szczególnie badanie interakcji genotypowo-środowiskowej poprzez wykorzystanie różnych odpowiednio skonstruowanych metod związanych z analizą wariancji (Kaczmarek, 1986; Caliński i in., 1998).

MATERIAŁ I METODY

W celu oszacowania efektów ogólnej i specyficznej zdolności kombinacyjnej form rodzicielskich przeprowadzono trzyletnią serię doświadczeń z mieszańcami F_2 rzepaku ozimego (wyniki oceny zdolności kombinacyjnych linii DH na obserwacjach mieszańców F_1 przedstawiono w pracy Adamskiej i in. (2008). Mieszańce uzyskano w wyniku krzyżowania 7 linii DH [0-120 (L1), H2-26 (L2), W-15(L3), MR-5(L4) H3-2(L5), H6-55(L6), B21(L7)] z 4 testerami. Wśród testerów występowała wysokoplenna odmiana Lisek (T1) i 3 linie DH: H5-105(T2), L59(T3) i A1-2 (T4) różniące się co najmniej jedną cechą (odpowiednio krótkimi łuszczykami, częściowo żółtymi nasionami i wysoką zawartością tłuszczu). Linie DH rzepaku ozimego otrzymano metodą izolowanych mikrospor (Cegielska-Taras i in., 2002) Doświadczenia przeprowadzono na polu doświadczalnym Instytutu Genetyki Roślin PAN w Cerekwicy k/Poznania w układzie losowanych bloków w trzech powtórzeniach. Skład kwasów tłuszczowych w oleju nasion rzepaku ozimego oznaczono metodą chromatografii gazowej (Byczyńska, Krzymański, 1969) u trzech roślin w każdym powtórzeniu.

Analizę statystyczną wyżej opisanych serii doświadczeń linia \times tester wykonano programem komputerowym SERGEN (Caliński i in., 1998). Formy rodzicielskie (linie DH i

testery) zostały ocenione w poszczególnych doświadczeniach w wyniku zastosowania wzorów dotyczących ogólnej (GCA) i specyficznej (SCA) zdolności kombinacyjnej, wyprowadzonych dla schematu krzyżowania linia \times tester (Singh i Chandhary 1979; Patel i in., 1984; Kaczmarek i in., 1986). W pracy przedstawiono wyniki oceny efektów GCA i SCA tych form ze względu na zawartość nienasyconych kwasów tłuszczowych: oleinowego, linolowego i linolenowego u ich mieszańców F_2 . Dla każdego z wyżej wymienionych kwasów zbadano istotność interakcji efektów GCA i SCA ze środowiskiem określonym przez warunki glebowo-klimatyczne występujące w miejscowościach i latach, w których prowadzono doświadczenia.

WYNIKI

W tabeli 1 przedstawione są średnie zawartości kwasów tłuszczowych u mieszańców F_2 linia \times tester.

Tabela 1

Średnie zawartości nienasyconych kwasów tłuszczowych w oleju mieszańców F_2 rzepaku ozimego
Mean contents of unsaturated fatty acids for F_2 hybrids of winter oilseed rape

| Para: Linia/tester Pair: Line/tester | Kwasy tłuszczowe — Fatty acids | | |
|---|--------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|
| | C18:1 oleinowy — oleic (%) | C18:2 linolowy — linoleic (%) | C 18:3 linolenowy — linolenic (%) |
| L1 T1 | 66,8 | 18,1 | 7,8 |
| T2 | 64,5 | 19,4 | 8,6 |
| T3 | 63,1 | 21,3 | 8,3 |
| T4 | 68,2 | 17,0 | 7,8 |
| L2 T1 | 65,6 | 18,5 | 9,7 |
| T2 | 64,2 | 19,6 | 8,9 |
| T3 | 60,7 | 22,9 | 9,6 |
| T4 | 68,3 | 16,9 | 7,9 |
| L3 T1 | 69,5 | 15,9 | 7,4 |
| T2 | 67,3 | 17,5 | 7,8 |
| T3 | 68,4 | 17,7 | 7,2 |
| T4 | 71,6 | 14,7 | 6,7 |
| L4 T1 | 65,0 | 18,7 | 9,3 |
| T2 | 63,6 | 19,7 | 9,7 |
| T3 | 62,1 | 21,1 | 10,1 |
| T4 | 68,2 | 16,7 | 8,3 |
| L5 T1 | 66,6 | 17,4 | 8,9 |
| T2 | 64,8 | 19,2 | 9,4 |
| T3 | 62,4 | 20,6 | 10,1 |
| T4 | 69,3 | 15,2 | 8,4 |
| L6 T1 | 67,6 | 17,8 | 7,5 |
| T2 | 67,4 | 17,5 | 7,9 |
| T3 | 65,6 | 19,5 | 7,7 |
| T4 | 70,7 | 15,2 | 7,2 |
| L7 T1 | 67,2 | 17,8 | 7,7 |
| T2 | 66,2 | 18,2 | 7,8 |
| T3 | 64,2 | 20,4 | 8,2 |
| T4 | 69,8 | 15,8 | 7,6 |

Wyniki analizy wariancji dla serii doświadczeń przedstawiono w tabeli 2. Zawiera ona rezultaty badania istotności efektów GCA i SCA linii DH i testerów oraz ich interakcji z latami dla 3 kwasów tłuszczowych. Zwraca uwagę fakt istotnego zróżnicowania linii DH i testerów pod względem efektów ogólnej zdolności kombinacyjnej dla wszystkich trzech kwasów nienasyconych. Istotną interakcję efektów GCA linii DH z latami oraz interakcję SCA × lata można zaobserwować dla kwasów oleinowego i linolowego.

Tabela 2

Wyniki analizy wariancji dla serii doświadczeń linia × tester
Results of the analysis of variance for series of line × tester experiments

| Źródło zmienności Source of variation | Stopnie swobody Degrees of freedom | Średni kwadrat — Mean square | | |
|---|---------------------------------------|------------------------------|------------------------------|---------------------------------|
| | | C18:1 oleinowy — oleic | C18:2 linolowy — linoleic | C18:3 linolenowy — linolenic |
| Lata Years | 2 | 341,91* | 85,96* | 105,29* |
| GCA linii GCA of lines | 6 | 8,30* | 3,15* | 2,15* |
| GCA linii × lata GCA of lines × years | 12 | 0,41* | 0,21* | 0,16 |
| GCA testerów GCA of testers | 3 | 17,22* | 11,18* | 0,64* |
| GCA testerów × lata GCA of testers × years | 6 | 0,17 | 0,11 | 0,03 |
| SCA SCA | 18 | 1,65 | 0,95 | 0,41 |
| SCA × lata – SCA × years | 36 | 1,73* | 0,81* | 0,29 |
| Błąd doświadczalny Experimental error | 162 | 0,59 | 0,37 | 0,44 |

* Istotność na poziomie 0,05; *Significance at 0.05 level

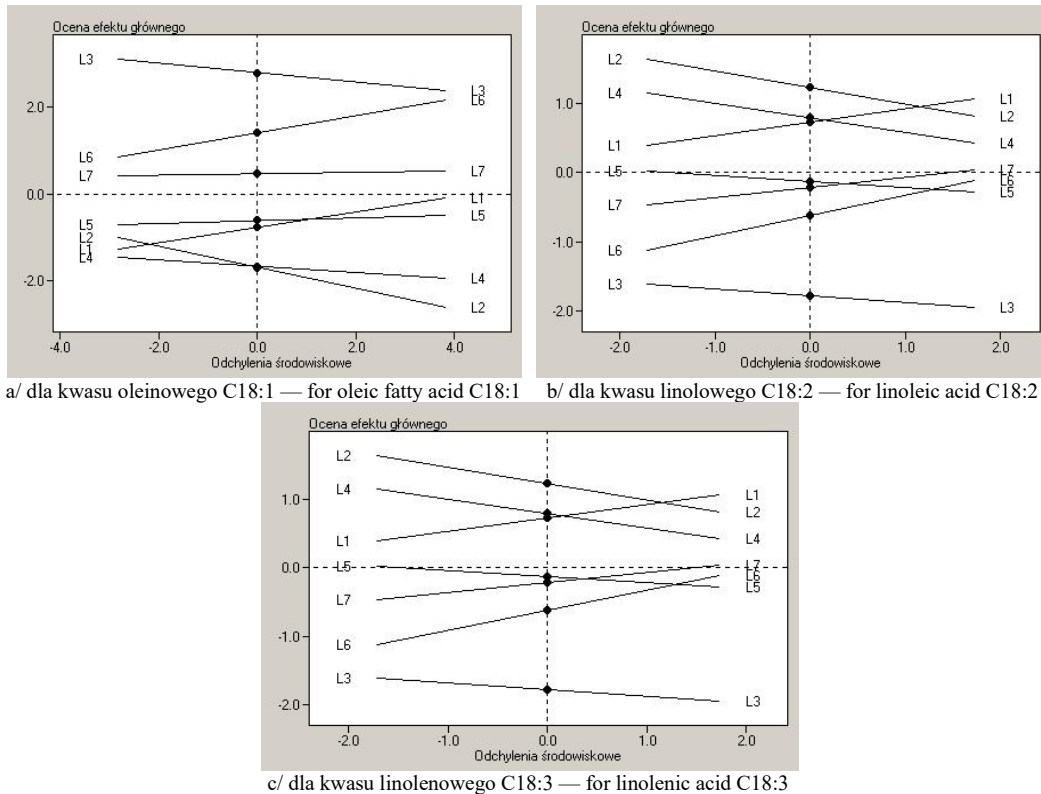
Tabela 3

Oceny i wyniki testowania efektów GCA linii DH i testerów oraz ich interakcji z latami
Estimates and results of testing GCA effects for DH lines and testers and their interaction with years

| No. | Linia DH DH line | Kwasy tłuszczowe — Fatty acids | | | | | |
|-----|---------------------|---|---|---|--|---|---|
| | | C18:1 oleinowy — oleic | | C18:2 linolowy — linoleic | | C 18:3 linolenowy — linolenic | |
| | | ocena efektów GCA estimated GCA effect | stat. F dla interakcji F statistic for interaction | ocena efektów GCA estimated GCA effect | stat. F dla interakcji F statistic for interaction | ocena efektów GCA estimated GCA effect | stat. F dla interakcji F statistic for interaction |
| L1 | 0-120 | -0,76 | 3,56* | 0,73 | 1,53 | -0,24 | 2,11 |
| L2 | H2-26 | -1,68 | 5,41* | 1,23* | 2,47 | 0,69 | 3,74* |
| L3 | W-15 | 2,80* | 1,44 | -1,78* | 0,45 | -1,06* | 0,56 |
| L4 | MR-5 | 1,66* | 0,50 | 0,79 | 1,83 | 1,02* | 1,03 |
| L5 | H3-2 | -0,60* | 0,09 | -0,13 | 1,16 | 0,86* | 0,32 |
| L6 | H6-55 | 1,42 | 5,88* | -0,62 | 7,15* | -0,79* | 0,39 |
| L7 | B21 | 0,48 | 2,30 | -0,21 | 1,41 | -0,48 | 2,12 |
| No. | Tester | | | | | | |
| T1 | Lisek | 0,52 | 1,68 | -0,49 | 1,13 | -0,02 | 0,12 |
| T2 | H5-105 | -0,95* | 0,37 | 0,50* | 0,52 | 0,27 | 0,79 |
| T3 | Z-152 | -2,61* | 0,36 | 2,31* | 0,35 | 0,39* | 0,05 |
| T4 | A1-2 | 3,04 | 5,77* | -2,32* | 3,43* | -0,64* | 1,05 |

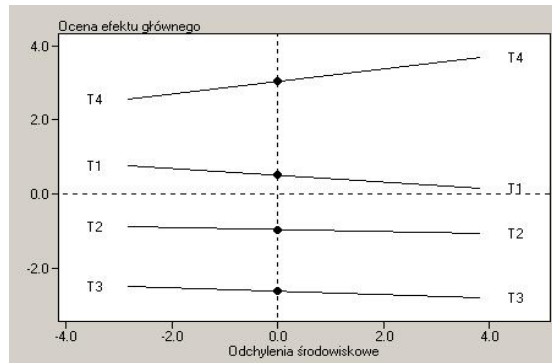
* Istotność na poziomie 0,05; *Significance at 0.05 level

W tabeli 3 podane są oceny i wyniki testowania efektów GCA i ich interakcji z latami dla poszczególnych linii DH i testerów. Pozwalają one wyróżnić linie L3 i L6 o korzystnych właściwościach z punktu widzenia produkcji biopaliw. Odznaczają się dodatnią, a u linii L3 istotną oceną efektów GCA dla zawartości kwasu oleinowego oraz ujemną, także istotną, oceną efektów GCA dla kwasu linolenowego. Należy dodać, że ogólna zdolność kombinacyjna linii L3 okazała się niewrażliwa na zmieniające się warunki środowiska, natomiast w przypadku linii L6 zaobserwowano dla zawartości kwasu oleinowego istotną interakcję z latami. Na uwagę zasługuje również linia L4 charakteryzująca się dodatnimi ocenami efektów GCA dla kwasu linolowego i linolenowego, co jest pozytywne z punktu widzenia przemysłu farbiarskiego i lakierniczego. Opinię tę potwierdzają rysunki 1 a,b,c, dodatkowo opisujące tendencje linii DH w uzyskiwaniu efektów GCA w poszczególnych latach (od przeciętnie najgorszego roku do najlepszego). Spośród testerów na uwagę zasługuje linia A1-2 (tester T4), której ocena GCA dla zawartości kwasu oleinowego okazała się dodatnia chociaż nieistotna z uwagi na bardzo wysoką interakcję z latami. Dla zawartości kwasu linolenowego ocena była ujemna i istotna.



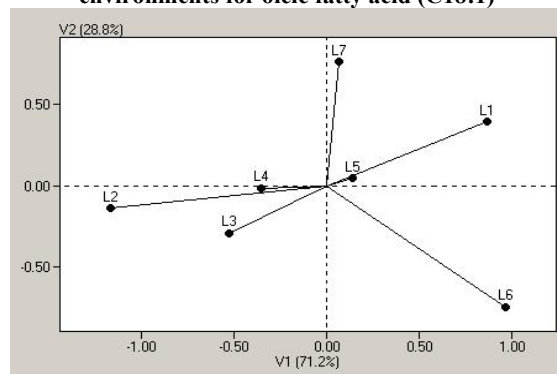
Rys. 1. Ocenę efektów GCA linii DH i proste regresji efektów interakcyjnych GCA tych linii względem środowiska

Fig. 1. Estimates of GCA effects of DH lines and linear regression of interaction GCA effects these lines on environments



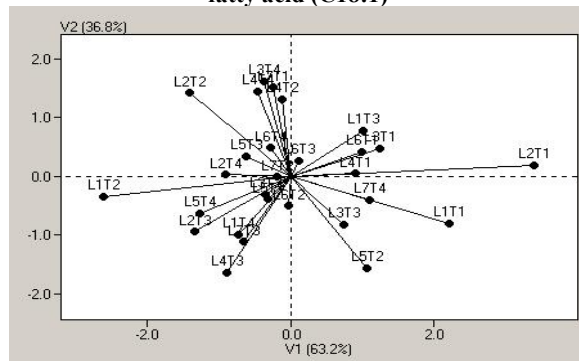
Rys. 2. Oceny efektów GCA testerów i proste regresji efektów interakcyjnych GCA tych linii względem środowiska dla kwasu oleinowego (C18:1)

Fig. 2. Estimates of GCA effects testers and linear regression of interaction GCA effects there lines on environments for oleic fatty acid (C18:1)



Rys. 3. Wektorowa prezentacja efektów GCA linii DH w układzie składowych głównych dla kwasu oleinowego (C18:1)

Fig. 3. Vector representation of GCA effects of DH lines in the system of principal components for oleic fatty acid (C18:1)



Rys. 4. Wektorowe prezentacja efektów SCA par linii i testerów w układzie pierwszych składowych głównych dla kwasu oleinowego (C18:1)

Fig. 4. Vector representation of SCA effects of DH lines and testers in the system of principal components for oleic fatty acid (C18:1)

Nieco mniej korzystne właściwości prezentuje tester T1 posiadający dodatnią chociaż nieistotną na poziomie $P = 0,05$ ocenę efektu GCA dla kwasu oleinowego. Zachowanie się wszystkich testerów ocenionych pod względem efektów GCA dla kwasu oleinowego w poszczególnych latach ilustruje rysunek 2 przedstawiający proste regresji efektów interakcyjnych ogólnej zdolności kombinacyjnej względem lat. Udział poszczególnych linii w interakcji ich efektów GCA i SCA z latami pokazany jest dla kwasu oleinowego na rysunkach odpowiednio 3 i 4. Linie, które są najbardziej oddalone od początku układu współrzędnych odznaczają się największą wrażliwością na warunki klimatyczne lat.

Tabela 4 przedstawia oceny specyficznej zdolności kombinacyjnej dla par linii i testerów oraz ich interakcji z latami. Dokonano testowania istotności poszczególnych ocen efektów SCA oraz wyliczono statystyki F dla interakcji tych efektów z latami.

Tabela 4

Oceny i wyniki testowania efektów SCA par linii i testerów oraz ich interakcji z latami
Estimates and results of testing SCA effects for pairs DH lines and testers and their interaction with years

| Para: Linia/ Tester Pair: Line/Tester | Kwasy tłuszczowe — Fatty acids | | | | | |
|--|---|---|---|---|---|---|
| | C 18:1 — oleinowy — oleic | | C 18:2 — linolowy — linoleic | | C 18:3 — linolenowy — linolenic | |
| | ocena efektów SCA Estimated SCA effect | Stat. F dla interakcji F statistic for interaction | ocena efektów SCA estimated sca effect | stat. F dla interakcji F statistic for interaction | ocena efektów SCA Estimated SCA effect | Stat. F dla interakcji F statistic for interaction |
| L1 T1 | 0,62 | 7,22** | -0,37 | 6,37** | -0,29 | 0,64 |
| T2 | -0,15 | 9,00** | -0,06 | 4,70* | 0,20 | 1,89 |
| T3 | 0,04 | 2,15 | 0,07 | 0,40 | -0,23 | 0,62 |
| T4 | -0,51* | 0,66 | 0,36 | 0,67 | 0,33** | 0,01 |
| L2 T1 | 0,36 | 1,98 | -0,51 | 1,69 | 0,69 | 2,68 |
| T2 | 0,41 | 15,21** | -0,33 | 11,78** | -0,38 | 1,01 |
| T3 | -1,36 | 5,27* | 1,09* | 3,54* | 0,14 | 0,18 |
| T4 | 0,60 | 2,60 | -0,24 | 1,59 | -0,44 | 0,82 |
| L3 T1 | -0,23 | 3,49* | -0,05 | 3,29* | 0,13 | 1,45 |
| T2 | -0,92** | 1,09 | 0,57 | 1,93 | 0,28** | 0,11 |
| T3 | 1,78** | 2,36 | -1,10* | 4,86** | -0,45** | 0,30 |
| T4 | -0,62 | 1,53 | 0,58** | 0,57 | 0,04 | 0,42 |
| L4 T1 | -0,20 | 0,27 | 0,14 | 0,53 | -0,07 | 0,05 |
| T2 | -0,17 | 1,59 | 0,19 | 0,53 | 0,11 | 0,55 |
| T3 | -0,02 | 3,62* | -0,26 | 1,51 | 0,36 | 1,12 |
| T4 | 0,39* | 0,33 | -0,07 | 0,37 | -0,40** | 0,02 |
| L5 T1 | 0,32 | 1,06 | -0,17 | 0,88 | -0,30 | 1,65 |
| T2 | 0,02 | 2,31 | 0,57** | 0,16 | -0,07 | 0,67 |
| T3 | -0,79 | 4,56* | 0,17 | 1,52 | 0,53** | 0,28 |
| T4 | 0,46** | 0,11 | -0,58** | 0,70 | -0,16 | 0,66 |
| L6 T1 | -0,71 | 3,06* | 0,70* | 1,84 | -0,03 | 0,10 |
| T2 | 0,51** | 0,33 | -0,59** | 0,18 | 0,03 | 0,18 |
| T3 | 0,38 | 4,69* | 0,02 | 3,26* | -0,23 | 0,76 |
| T4 | -0,18 | 0,42 | -0,13 | 1,07 | 0,26 | 0,62 |
| L7 T1 | -0,15 | 3,09* | 0,26 | 2,59 | -0,13 | 0,12 |
| T2 | 0,32** | 0,05 | -0,35** | 0,08 | -0,17** | 0,04 |
| T3 | -0,02 | 2,19 | 0,02 | 2,12 | -0,08 | 0,05 |
| T4 | -0,14 | 1,78 | 0,07 | 1,85 | 0,37** | 0,13 |

* Istotność na poziomie 0,05; Significance at 0.05 level

** Istotność na poziomie 0,01; Significance at 0.01 level

Biorąc pod uwagę trzy kwasy tłuszczowe (oleinowy, linolowy i linolenowy), można wyróżnić 5 par linii i testerów o istotnym efekcie SCA. Potomstwo par: L3×T3, L4×T4, L5×T2, L5×T4 i L7×T2 charakteryzowało się dodatnimi, w większości istotnymi efektami specyficznej zdolności kombinacyjnej dla zawartości kwasu oleinowego, a w przypadku pary L5×T2 także dla kwasu linolowego. Pod względem zawartości kwasu linolenowego potomstwo wszystkich wyróżnionych par wykazywało ujemne efekty specyficznej zdolności kombinacyjnej.

WNIOSKI

1. Zastosowane metody statystyczne umożliwiły znalezienie linii i testerów (L3, L6 i T4), których ogólne zdolności kombinacyjne okazały się wysokie w przypadku zawartości kwasu oleinowego i niskie dla kwasu linolenowego (typ HOLL), a więc posiadały właściwości korzystne z punktu widzenia produkcji biopaliwa. Te same właściwości posiadały pary linii i testerów L3×T3, L4×T4, L5×T4 i L7×T2.
2. Wyróżniona została także linia L2 i tester T3 odznaczające się dodatnimi i istotnymi ocenami efektu GCA dla kwasu linolowego.

LITERATURA

- Adamska E., Kaczmarek Z., Szała L., Cegielska-Taras T. 2008. Analiza zdolności kombinacyjnych linii DH rzepaku ozimego pod względem zawartości kwasów tłuszczowych. *Biul. IHAR* 249: 177 — 182.
- Byczyńska B., Krzymański J. 1969. Szybki sposób otrzymywania estrów metylowych kwasów tłuszczowych do analizy metody chromatografii gazowej. *Tłuszcze Jadalne* 13: 108 — 114.
- Cegielska-Taras T. 2002. The use of microspore culture for genetic improvement of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.). Thesis of Plant Breeding and Acclimatization Institute, Radzików, Poland. 18/2002: 11 — 22.
- Caliński T., Czajka S., Kaczmarek Z., Krajewski P., Siatkowski I. 1998. Statistical methodology and usage of the program SERGEN (Version 3 for Windows 95) dedicated to analysis of series of plant genetic and breeding experiments. IGR PAN, Poznań.
- Kaczmarek Z. 1986. Analiza doświadczeń wielokrotnych zakładanych w blokach niekompletnych. *Rozprawy Naukowe AR Poznań*.
- Patel J. D., Christie B. R., Kanenenberg L. W. 1984. Line × tester crosses a new approach of analysis. *Can. J. of Gen. and Cyt.* 26: 5: 523 — 527.
- Singh R.K. and Chandhary B.D. 1979. *Biometrical Methods in Quantitative Genetic Analysis*. New Delhi, Kalyani Publishers.