

JAN BOCIANOWSKI¹**HENRYK BRZESKWINIEWICZ**¹**TADEUSZ ŁUCZKIEWICZ**²¹ Katedra Metod Matematycznych i Statystycznych, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu² Katedra Genetyki i Hodowli Roślin, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

Wpływ doboru testerów na ocenę efektów GCA linii wsobnych rzepaku jarego

Influence of testers selection on estimation of GCA effects in spring oilseed rape inbred lines

Analiza hodowlana może być zrealizowana poprzez zastosowanie odpowiednich schematów krzyżowań form rodzicielskich. U gatunków obcopolnych, gdy dysponujemy znaczną liczbą linii wsobnych prowadzi się doświadczenia z mieszańcami otrzymanymi w wyniku krzyżowania typu linia \times tester. Możliwe jest wówczas przetestowanie większej liczby linii aniżeli w krzyżowaniach diallelicznych. Istotnym jednak problemem jest wybór odpowiednich testerów, które najlepiej będą różnicować badane linie wsobne pod względem analizowanej u mieszańców cechy. W omawianej pracy jako przykład stanowiły wyniki czterech doświadczeń polowych z rzepakiem jarym. W każdym doświadczeniu oceniano w pokoleniu F_1 efekty GCA sześciu linii wsobnych krzyżowanych z dwoma testerami (także liniami wsobnymi). W pracy przedstawiono wyniki dla masy nasion z rośliny. Na podstawie przeprowadzonych analiz można wskazać testera G49, który w największym stopniu różnicował badane linie wsobne rzepaku jarego pod względem masy nasion z rośliny.

Słowa kluczowe: GCA, linia \times tester, masa nasion z rośliny, rzepak jary

Breeding values of important agricultural traits can be obtained e.g. by application of suitable schemes of crossing parental forms. If the number of inbred lines is great, experiments with hybrids obtained from line \times tester crosses are usually performed. In this procedure, a number of inbred lines tested is higher than that using diallel crosses. However, selection of testers differentiating the analyzed inbred lines in respect of interested trait is often a large problem. In this work we deal with the results from four field experiments with spring rape. We analyzed GCA effects of six inbred lines in F_1 generation after crosses with two testers (also inbred lines). The paper shows the results for seed weight per plant. Statistical analysis allowed to distinguish tester G49 as the most useful in differentiation of inbred lines in respect of this trait.

Key words: GCA, line \times tester, seeds weight per plant, spring rape

WSTĘP

Największym problemem w hodowli heterozyjnej jest znalezienie najlepszych genotypów rodzicielskich do krzyżowania, w wyniku którego w pokoleniu F_1 mieszańców

otrzymujemy heterozję interesującej hodowcę cechy (najczęściej plonu). Wyboru rodziców dokonuje się poprzez ocenę ogólnej zdolności kombinacyjnej linii wsobnych (GCA), a następnie swoistej zdolności kombinacyjnej par linii (SCA).

Jednym ze sposobów oceny efektów GCA jest krzyżowanie typu linia \times tester. Analiza doświadczeń polowych, w których obiektami są mieszańce powstałe z takich krzyżówek umożliwia wybór najlepszych linii do krzyżowania diallelicznego mającego na celu oszacowanie SCA.

Istotnym zagadnieniem w krzyżówkach linia \times tester jest znalezienie odpowiednich testerów, które w największym stopniu różnicowałyby linie wsobne pod względem cechy (cech) będącej przedmiotem zainteresowania hodowcy. Użycie zróżnicowanych form rodzicielskich jako testerów powoduje pewną poprawę średniej dla populacji (Rawlings i Thompson, 1962). Allison i Curnow (1966) sugerują użycie odmian niskoplonujących jako testerów. Niektórzy autorzy proponują użycie jako testerów mieszańców heterozygicznych (Horner i in., 1976) lub linii wsobnych (Russell i Eberhart, 1975). W programach hodowlanych wykorzystuje się zazwyczaj 2–3 testery bez względu na realizowany program hodowlany. Testery powinny także (poza różnicowaniem rozpatrywanej przez hodowcę cechy) dawać u mieszańców zbliżone wyniki w oszacowaniu GCA linii.

Użycie testerów jest szczególnie udokumentowane w badaniach nad kukurydzą (Jenkins i Brunson, 1932; Matzinger, 1953; Rawlings i Thompson, 1962; Allison i Curnow, 1966; Hallauer, 1975; Hallauer i Miranda, 1988; Russell i in., 1992; Menz i in., 1999). Autorzy ci wnioskuje, iż wybór najlepszych testerów powinien wynikać z łatwości ich zastosowania, zdolności klasyfikowania wartości linii, maksymalizacji korzyści genetycznych oraz podniesienia spodziewanego średniego plonu populacji generowanej użyciem wybranych odmian. Jednakże, trudne jest zidentyfikowanie testerów mających powyższe właściwości.

Celem niniejszej pracy była ocena wpływu doboru testerów na ocenę efektów ogólnej zdolności kombinacyjnej linii wsobnych rzepaku jarego. Do realizacji celu pracy zastosowano metodę opartą na zmodyfikowanym efekcie ogólnej zdolności kombinacyjnej oraz przedstawiono wyniki dotyczące masy nasion z rośliny rzepaku jarego.

MATERIAŁ I METODY

W wyniku wcześniejszych doświadczeń polowo-szklarniowych z rzepakiem jarym (*Brassica napus* L.) przeprowadzonych w Stacji Hodowli Strzelce w latach 1999 i 2000 wybrano osiem z trzydziestu genotypów: G04, G19, G32, G43, G49, G51, G58 oraz G62. Były one najbardziej zróżnicowane ze względu na dziewięć obserwowanych cechy. Selekcja linii została przeprowadzona na podstawie wyników wielozmiennej analizy wariancji. Te osiem genotypów posłużyło do przeprowadzenia czterech doświadczeń z mieszańcami otrzymanymi w wyniku krzyżowania typu linia \times tester. W każdym z doświadczeń analizowano mieszańce będące wynikiem skrzyżowania sześciu linii z dwoma testerami. W doświadczeniu 1 (DOŚW1) testerami były genotypy G58 i G62, w doświadczeniu 2 (DOŚW2) — G49 i G51, w doświadczeniu 3 (DOŚW3) — G32 i G43, a w doświadczeniu 4 (DOŚW4) — G04 oraz G19.

Doświadczenia polowe z mieszańcami pokolenia F_1 założono w Rolniczym Gospodarstwie Doświadczalnym Akademii Rolniczej im. Augusta Cieszkowskiego (obecnie Uniwersytet Przyrodniczy) w Dłoni. Doświadczenia przeprowadzono w 2003 roku w ośmiu powtórzeniach w układzie bloków niekompletnych z grupowo podzielonymi obiektami (GD) o parametrach $v = 12, b=12, r = 8, k = 8, \lambda_1 = 6, \lambda_2 = 5$. Układem GD o parametrach $v, b, r, k, \lambda_1, \lambda_2$ nazywamy taki plan doświadczenia, w którym v obiektów jest rozmieszczonych w b blokach o stałej pojemności k , przy czym każdy obiekt jest replikowany r razy i w danym bloku może wystąpić co najwyżej raz. Ponadto, obiekty można podzielić na grupy o określonej liczebności każdą tak, że każda para obiektów z tej samej grupy spotyka się w λ_1 blokach, a każda para obiektów z różnych grup spotyka się w λ_2 blokach (Brzeskwiniowicz i Łuczkiwicz, 2000). Nasiona mieszańców wysiano na poletkach jednorzędowych o długości 1 m. Zastosowano rozstaw między rzędami 0,5 m. Do opracowań biometrycznych wybrano losowo 10 roślin z każdego poletka. W pracy przedstawiono wyniki dotyczące masy nasion z rośliny.

Efekt potomstwa γ_{ij} będące wynikiem skrzyżowania i -tej linii z j -tym testerem można wyrazić za pomocą następującego modelu liniowego:

$$\gamma_{ij} = m + g_i + q_j + s_{ij}, i = 1, 2, \dots, l; j = 1, 2, \dots, t,$$

gdzie m jest średnią ogólną, g_i jest efektem ogólnej zdolności kombinacyjnej dla i -tej linii, q_j jest efektem ogólnej zdolności kombinacyjnej dla j -tego testera, s_{ij} jest efektem specyficznej zdolności kombinacyjnej dla i -tej linii i j -tego testera.

Powyższe efekty mogą być zdefiniowane jako (patrz np. Ceranka i Kaczmarek, 1995):

$$\begin{aligned} g_i &= \frac{1}{t} \gamma_{i\bullet} - \frac{1}{lt} \gamma_{\bullet\bullet} \\ q_j &= \frac{1}{l} \gamma_{\bullet j} - \frac{1}{lt} \gamma_{\bullet\bullet} \\ s_{ij} &= \gamma_{ij} - g_i - q_j - \frac{1}{lt} \gamma_{\bullet\bullet}, \end{aligned} \quad (1)$$

gdzie

$$\gamma_{i\bullet} = \sum_{j=1}^t \gamma_{ij}, \gamma_{\bullet j} = \sum_{i=1}^l \gamma_{ij}, \gamma_{\bullet\bullet} = \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^t \gamma_{ij}.$$

Dobroć testerów w poszczególnych doświadczeniach oceniano za pomocą zmodyfikowanego efektu ogólnej zdolności kombinacyjnej zaproponowanego przez Brzeskwiniowicza i Łuczkiwicza (2002):

$$g_i^u = \frac{1}{t_1} \gamma_{i(\bullet)} - \frac{1}{lt} \gamma_{\bullet\bullet}, \quad (2)$$

gdzie $\gamma_{i(\bullet)} = \sum_{j=1}^{t_1} \gamma_{ij}$ z $t_1 < t$.

Z (1) oraz (2) mamy:

$$g_i^u = \frac{1}{t_1} \sum_{j=1}^{t_1} (g_i + q_j + s_{ij}), \quad (3)$$

i stąd estymator g_i^u może być wyrażony jako

$$\hat{g}_i^u = \frac{1}{t_1} \sum_{j=1}^{t_1} (\hat{g}_i + \hat{q}_j + \hat{s}_{ij}), \quad (4)$$

gdzie $\hat{g}_i = \frac{1}{t} \hat{\gamma}_{i\bullet} - \frac{1}{lt} \hat{\gamma}_{\bullet\bullet}$, $\hat{q}_j = \frac{1}{l} \hat{\gamma}_{\bullet j} - \frac{1}{lt} \hat{\gamma}_{\bullet\bullet}$ i $\hat{s}_{ij} = \hat{\gamma}_{ij} - \hat{g}_i - \hat{q}_j - \frac{1}{lt} \hat{\gamma}_{\bullet\bullet}$ dla $i = 1, 2, \dots, l; j = 1, 2, \dots, t$.

Z (2) można wyrazić alternatywnie formułę dla g_i^u

$$g_i^u = \frac{1}{t_1} \hat{\gamma}_{i(\bullet)} - \frac{1}{lt} \hat{\gamma}_{\bullet\bullet}, \quad (5)$$

gdzie $\hat{\gamma}_{i(\bullet)} = \sum_{j=1}^{t_1} \hat{\gamma}_{ij}$ i $\hat{\gamma}_{\bullet\bullet} = \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^t \hat{\gamma}_{ij}$.

Zauważmy, że \hat{g}_i^u dany wzorem (4) i/lub (5) jest funkcją podzbioru wszystkich testerów. Dla danego t_1 mamy $\binom{t}{t_1}$ podzbiorów testerów i stąd liczba \hat{g}_i^u jest równa $2^t - 2$, a z \hat{g}_i jest równa $2^t - 1$. Otrzymujemy zatem $2^t - 1$ rankingów dla linii. Algorytm wyboru odpowiedniego rankingów zastosowany w niniejszej pracy nazwać można metodą mini-max. Został on dokładnie opisany w pracy Brzeskwiniwicza i Łuczkiwicza (2005).

WYNIKI

Dla każdego z czterech przeprowadzonych doświadczeń wykonano analizę wariancji dla masy nasion z rośliny rzepaku jarego w pokoleniu F_1 mieszańców. Jedynie w DOŚW4 nie było podstaw do odrzucenia hipotezy zerowej o braku różnic pomiędzy obiektami (tab. 1). W tabeli 2 przedstawiono wartości średnie dla masy nasion z rośliny rzepaku z analizowanych doświadczeń. Wynika z nich, że w poszczególnych doświadczeniach (z wyjątkiem DOŚW4) najwyższe wartości średnie otrzymano dla linii przy wykorzystaniu tego samego testera. W przypadku DOŚW1 była to linia G43 (średnie równe 11,62 i 17,60 dla, odpowiednio, testerów G58 i G61), a dla DOŚW2 i DOŚW3 była to linia G61 (wyniki przedstawiono w tabeli 2).

Tabela 1

Średnie kwadraty z analizy wariancji dla masy nasion z rośliny mieszańców F₁ rzepaku jarego (wyniki z czterech doświadczeń)

Mean squares from analysis of variance for seeds weight per plant in F₁ spring oilseed rape hybrids (four experiments data)

Źródło zmienności Source of variation	Stopnie swobody Degrees of freedom	DOŚW1 EXPER1	DOŚW2 EXPER2	DOŚW3 EXPER3	DOŚW4 EXPER4
Bloki Blocks	11	47,88	60,99	96,52	106,42
Genotypy Genotypes	11	74,36*	72,51**	75,32**	34,78
Błąd Residual	73	37,82	26,12	23,52	23,90

* Istotne na poziomie 0,05; Significant at level 0.05

** Istotne na poziomie 0,01; Significant at level 0.01

Tabela 2

Średnie wartości masy nasion z rośliny (w gramach) dla mieszańców F₁ rzepaku jarego (w wyniki z czterech doświadczeń)

Mean values for seed weight per plant (in grams) in F₁ spring oilseed rape hybrids (four experiments data)

Linia Line	Testery — Testers							
	DOŚW1 EXPER1		DOŚW2 EXPER2		DOŚW3 EXPER3		DOŚW4 EXPER4	
	G58	G61	G49	G51	G32	G43	G04	G19
G04	9,44	6,75	7,29	5,58	6,12	9,07		
G19	11,40	9,83	13,06	9,04	7,48	12,89		
G32	7,28	9,13	11,14	7,35			6,16	9,87
G43	11,62	17,60	7,07	10,33			8,68	13,93
G49	9,51	15,73			9,75	6,56	9,64	11,47
G51	10,89	14,45			6,82	10,68	7,51	10,62
G58			9,95	10,09	8,81	11,79	11,27	11,74
G61			17,08	14,57	10,64	17,74	7,25	13,33

Z tabeli 3 i 4 możemy ocenić GCA^u dla linii w podzbiorze testerów. W tabeli 3 przedstawiono wartości uogólnionych GCA dla poszczególnych linii badanych w czterech doświadczeniach. Testerami najmniej różnicującymi badane linie, pod względem analizowanej cechy, były G04 i G19 (DOŚW4). Jest to wynik, którego należało się spodziewać w kontekście braku istotnych statystycznie różnic pomiędzy mieszańcami w doświadczeniu DOŚW4 (tabela 1). Doświadczenie DOŚW2 charakteryzowało się największym zróżnicowaniem g_i^u . Dlatego też w dalszej części pracy rozważano, który z dwu testerów użytych do krzyżowań w DOŚW2 bardziej różnicował analizowane linie. W tabeli 4 przedstawiono GCA^u dla linii otrzymanych w DOŚW2, gdzie $\hat{g}_i^u(G49)$ i $\hat{g}_i^u(G51)$ wynoszą, odpowiednio, $g_i^u(G49) = \hat{g}_i + \hat{q}_{G49} + \hat{s}_{iG49}$ i $g_i^u(G51) = \hat{g}_i + \hat{q}_{G51} + \hat{s}_{iG51}$.

Testerem najbardziej różnicującym linie w rozpatrywanych doświadczeniach jest G49.

Tabela 3

Zmodyfikowane efekty ogólnej zdolności kombinacyjnej (g_i^u) dla masy nasion z rośliny rzepaku jarego (wyniki z czterech doświadczeń)

Effects of general combining abilities for seeds weight per spring rape plant after modification (g_i^u). Four experiments data

\hat{g}_i^u	DOŚW1 EXPER1	DOŚW2 EXPER2	DOŚW3 EXPER3	DOŚW4 EXPER4
G04	-3,0414	-3,7807	-2,2667	x
G19	-0,5245	0,8372	0,3243	x
G32	-2,9308	-0,965	x	-2,1105
G43	3,4743	-1,5087	x	1,1827
G49	1,4865	x	-1,7096	0,4362
G51	1,536	x	-1,1129	-1,0574
G58	x	-0,1914	0,437	1,3821
G61	x	5,6085	4,3279	0,1669
max-min	6,5157	9,3892	6,5946	3,4926

Najbardziej interesującym, pod względem masy nasion z rośliny, jest mieszańiec będący wynikiem skrzyżowania linii G61 z testerem G49. Natomiast najmniej obiecujący jest G04×G51 (tab. 4). Wyniki uzyskane w doświadczeniu 4 świadczą, iż zastosowane tam testery nie różnicowały badanych linii.

Tabela 4

Zmodyfikowane efekty ogólnej zdolności kombinacyjnej (g_i^u) dla poszczególnych testerów w DOŚW2
Modified effects of general combining abilities (g_i^u) for each tester (Exper2)

$\hat{g}_i^u(G)$	Testery — Testers	
	$\hat{g}_i^u(G49)$	$\hat{g}_i^u(G51)$
G04	-2,9253	-4,6361
G19	2,8439	-1,1695
G32	0,9276	-2,8576
G43	-3,1394	0,122
G58	-0,2648	-0,118
G61	6,8636	4,3534
max-min	10,003	8,9895

DYSKUSJA

Efekt heterozji w pokoleniu F_1 występuje jedynie przy właściwym doborze komponentów rodzicielskich, najczęściej linii wsobnych, które otrzymuje się poprzez linie podwojonych haploidów lub na drodze chowu wsobnego. W wyniku takiego procesu uzyskuje się wysoce homozygotyczne linie. Ustalone linie o znanych wartościach kombinacyjnych mogą być wykorzystywane przez wiele lat do produkcji mieszańców F_1 . Podstawą doboru linii wsobnych do krzyżówek heterozyjnych jest ocena efektów ogólnej zdolności kombinacyjnej, a następnie efektów swoistej zdolności kombinacyjnej. Efekty GCA mówią nam także o stopniu działania efektów addytywnych w kształtowaniu interesującej hodowcę cechy ilościowej (najczęściej plonu). Istotność efektów addytywnych wskazuje także czy efektywność selekcji w populacjach mieszańcowych wybranych linii

może być skuteczna. Właściwy dobór testerów w ocenie efektów ogólnej zdolności kombinacyjnej ma kluczowe znaczenie w selekcji najlepszych linii rodzicielskich.

Przedstawione w pracy wyniki dotyczące oceny wpływu doboru testerów na ocenę efektów ogólnej zdolności kombinacyjnej linii wsobnych rzepaku jarego traktowane są jako wstępne. Konieczna jest ich weryfikacja w doświadczeniach prowadzonych z większą liczbą linii i testerów, w kolejnych latach i być może w różnych lokalizacjach.

WNIOSKI

1. Tester G49 zastosowany w doświadczeniu DOŚW2 w największym stopniu różnicował linie wsobne rzepaku jarego pod względem masy nasion z rośliny.
2. Metoda oceny przydatności testerów do testowania efektów GCA linii wsobnych oparta na zmodyfikowanym efekcie ogólnej zdolności kombinacyjnej może być szczególnie przydatna w sytuacji, kiedy przedmiotem zainteresowania jest cecha, pod względem której zróżnicowanie genetyczne powszechnie stosowanych testerów jest niewielkie.

LITERATURA

- Allison J. C. S., Curnow R. W. 1966. On the choice of tester parent for the breeding of synthetic varieties of maize (*Zea mays* L.). *Crop Sci.* 6: 641 — 644.
- Brzeskwiniwicz H., Łuczkiwicz T. 2000. Układy zrównoważone oraz z grupowo podzielonymi obiektami w doświadczeniach typu linia × tester. *Roczniki Akademii Rolniczej w Poznaniu CCCXXVIII – Rolnictwo* 59: 13 — 18.
- Brzeskwiniwicz H., Łuczkiwicz T. 2002. Modification of general combining abilities in line × tester crossing systems. *Scientific Paper of Agricultural University of Poznań, Agriculture* 3: 23—27.
- Brzeskwiniwicz H., Łuczkiwicz T. 2005. Some ranking of lines in line × tester crossing systems. *Colloquium Biometryczne* 35: 93—101.
- Ceranka B., Kaczmarek Z. 1995. Estymatory kombinowane efektów GCA i SCA w doświadczeniach linia × tester zakładanych w układach BIB. *Colloquium Biometryczne* 25: 381 — 394.
- Hallauer A. R. 1975. Relation of gene action and type of testers in maize breeding procedure. *Proc. Ann. Corn, Sorghum Res. Conf.* 30: 150 — 165.
- Hallauer A. R., Miranda J. B. 1988. *Quantitative genetics in maize breeding.* Iowa State Univ. Press Ames, USA.
- Horner E. S., Lundy W. H., Lutrick M. C., Chapman W. H. 1976. Comparison of three methods of recurrent selection in maize. *Crop Sci.* 16: 5 — 8.
- Jenkins M. T., Brunson A. M. 1932. Methods of testing inbred lines of maize in crossbred combinations. *J. Am. Soc. Agron.* 24: 523 — 530.
- Matzinger D. F. 1953. Comparison of three types of testers for the evaluation of inbred lines of corn. *Agron. J.* 45: 493 — 495.
- Menz M. A., Hallauer A. R., Russell W. A. 1999. Comparative response of two reciprocal recurrent selection methods in BS21 and BS22 maize population. *Crop Sci.* 39: 89 — 97.
- Rawlings J. O., Thompson D. I. 1962. Performance level as criterion for the choice of maize testers. *Crop Sci.* 2: 217 — 220.
- Russell W. A., Blackburn D. J., Lamkey K. R. 1992. Evaluation of modified reciprocal recurrent selection procedure for maize improvement. *Maydica* 37: 61 — 67.
- Russell W. A., Eberhart S. A. 1975. Hybrid performance of selected maize lines from reciprocal recurrent selection and test selection programs. *Crop Sci.* 15: 1 — 4.