

Henryk Woś, Elżbieta Adamska*, Zygmunt Kaczmarek*

Hodowla Roślin Strzelce Sp. z o.o. Grupa IHAR, Oddział Borowo

* Instytut Genetyki Roślin PAN w Poznaniu

Metody statystyczne dla oceny mieszańców i ich linii rodzicielskich na podstawie serii doświadczeń jednopowtórzeniowych z wzorcami*

Statistical methods for evaluation of hybrids and their parental lines on the basis of a series of unreplicated experiments with standards

Słowa kluczowe: seria doświadczeń jednopowtórzeniowych, mieszańce linia \times tester, zdolność kombinacyjna, układ bloków niekompletnych, rzepak ozimy

W pracy pokazano możliwości zastosowania efektywnych metod statystycznych do porównania mieszańców rzepaku ozimego obserwowanych w serii doświadczeń jednopowtórzeniowych z wzorcami. Przedstawiono także propozycję wykorzystania plonu mieszańców z doświadczeń jednopowtórzeniowych do oceny zdolności kombinacyjnych ich form rodzicielskich. W celu przeprowadzenia obliczeń wykorzystano, oparte na modelu mieszanym, metody statystyczne zaproponowane przez Kaczmarka (1986) dla analizy serii doświadczeń przeprowadzanych z tymi samymi genotypami w układzie bloków niekompletnych w różnych środowiskach. Układy o blokach niekompletnych mogą być wykorzystane do porównania potomstwa uzyskanego w wyniku różnego typu krzyżowania, w szczególności krzyżowania linia \times tester. Schemat linia \times tester, będący rozszerzeniem stosowanego często w praktyce schematu krzyżowania typu top-cross, wydaje się być szczególnie przydatny w hodowli roślin głównie ze względu na możliwość oceny i testowania istotności interesujących parametrów genetyczno-hodowlanych. Analiza mieszańców linia \times tester obserwowanych w serii doświadczeń jednopowtórzeniowych z wzorcami umożliwiła przeprowadzenie testowania istotności efektów ogólnej (GCA) i specyficznej (SCA) zdolności kombinacyjnej linii rodzicielskich oraz zbadanie interakcji efektów GCA i SCA ze środowiskiem. Dla zilustrowania prezentowanej metody wykonano analizę statystyczną danych pochodzących z serii czterech doświadczeń z rzepakiem ozimym.

W serii tej oprócz 90 mieszańców replikowanych jeden raz (uzyskanych ze skrzyżowania linii męskosterylnych (linii MS) z restorerami — schemat linia MS \times restorer), występował jeden wzorzec systematyczny (odmiana populacyjna Californium) i dwa wzorce losowe (Herkules — odmiana mieszańcowa i Castille — odmiana populacyjna) replikowane kilkakrotnie.

Key words: series of unreplicated experiments, line \times tester hybrids, combining ability, incomplete block design, winter oilseed rape

The methods of statistical evaluation of hybrids and their parental forms on the basis of the analysis of a series of unreplicated experiments with standards are presented. The statistical methods applied have been based on a mixed model analysis of a series of experiments with the same

* Praca wykonana częściowo w ramach grantu MnNiSzW NN 310 315534, a także w ramach tematu MR 64 finansowanego przez MRiRW.

genotypes conducted in incomplete block designs in different environments (see Kaczmarek 1986). Incomplete block designs can be used in experiments in which hybrids obtained from different crossing schemes, in particular from line \times tester scheme, are compared. The line \times tester crossing system, as an expanded top-cross system used frequently in practice, is of interest for breeders dealing with estimation and testing of interesting breeding parameters. In a series of unreplicated experiments with the line \times tester hybrids, the statistical analysis of incomplete block designs can be used for estimating and hypothesis testing of general (GCA) and specific (SCA) combining ability effects of parental lines on the basis of the analysis of their hybrids. It can be also applied to studying of the interaction of GCA and SCA effects with environments.

The application of the method described above is illustrated with the data from a series of winter oilseed rape experiments, in which one systematic standard, Californium (open pollinated cultivar), and two random standards, Hercules (hybrid) and Castille (open pollinated cultivar), were replicated and 90 hybrids (including 54 line MS \times restorer hybrids) were unreplicated.

Wstęp

W pracy przedstawiono możliwości oceny mieszańców na podstawie statystycznej analizy ich plonu obserwowanego w serii doświadczeń jednopowtórzeniowych z wzorcami. W literaturze znanych jest kilka metod analizowania doświadczeń jednopowtórzeniowych z wzorcem. Dla wykonania obliczeń wykorzystano, oparte na modelu mieszanym, metody statystyczne zaproponowane przez Kaczmarek (1986) dla analizy serii doświadczeń przeprowadzanych z tymi samymi genotypami i zakładanych w układzie bloków niekompletnych w różnych środowiskach. Układy o blokach niekompletnych, omawiane szczegółowo przez Cerankę (1973), mogą być także wykorzystane do oceny linii rodzicielskich na podstawie obserwacji potomstwa uzyskanego w wyniku różnego typu krzyżowania, w szczególności krzyżowania typu linia \times tester.

Schemat linia \times tester, będący rozszerzeniem stosowanego często w praktyce schematu krzyżowania typu top-cross, wydaje się być szczególnie przydatny w hodowli roślin ze względu na możliwość oceny i testowania istotności interesujących parametrów genetyczno-hodowlanych. W pracy zaproponowano dwie różniące się zasadniczo metody oceny rodów na podstawie przeprowadzanych doświadczeń jednopowtórzeniowych z wzorcem. Pierwszą z nich jest metoda oparta na interpolacji liniowej wartości cechy między poletkami wzorcowymi umożliwiającymi poprawianie obserwacji ze względu na trend zmienności glebowej. Metoda druga oparta jest na ogólnej teorii układów o blokach niekompletnych, w której konieczne jest spełnienie warunku dotyczącego replikacji występujących w doświadczeniu wzorców, polegającego na tym, aby w pasie (bloku niekompletnym) znajdowały się oprócz badanych obiektów replikowanych jeden raz, wzorce replikowane co najmniej kilkakrotnie.

Celem pracy była z jednej strony ocena mieszańców obserwowanych w serii doświadczeń jednopowtórzeniowych z wzorcami, z drugiej zaś ocena zdolności kombinacyjnej tych linii, których mieszańce zostały otrzymane w wyniku zastosowania krzyżowania zgodnego ze schematem linia \times tester.

Material i metody

Material doświadczalny

Przedmiotem analizy była seria doświadczeń międzyzakładowych jednopowtórzeniowych z 90 zrestorowanymi mieszańcami wytworzonymi w oparciu o system CMS ogura i 3 odmianami wzorcowymi rzepaku ozimego, przeprowadzonych w roku 2009 w 4 lokalizacjach (Borowo, Kończewice, Małyszyn i Strzelce). W poszczególnych doświadczeniach na poletkach o powierzchni 12 m² oprócz mieszańców replikowanych jeden raz występował wzorzec systematyczny, odmiana Californium, usytuowany co 18 poletko oraz 2 wzorce, odmiany Herkules i Castille, rozlokowane losowo w każdym z 6 pasów. Doświadczenia założono na dwu kompleksach glebowych: pszennym dobrym (Borowo) oraz żytnim — bardzo dobrym (Małyszyn, Kończewice, Strzelce). Zbiór przeprowadzono kombajnem poletkowym firmy Wintersteiger Elite z automatyczną wagą i komputerem pokładowym.

Metody statystyczne

Do analizy serii doświadczeń jednopowtórzeniowych z wzorcem zastosowano metodę wzorcową opartą na interpolacji liniowej obserwacji zastosowaną w programie EKSPLAN (Krajewski i in. 2006) oraz metodę opartą na ogólnej teorii układów o blokach niekompletnych, zaproponowaną przez Kaczmarka (1986) i zastosowaną w programie SERGEN 3 (Caliński i in. 1998). Za pomocą tego programu wykonano także analizy efektów ogólnej i specyficznej zdolności kombinacyjnej w serii doświadczeń jednopowtórzeniowych z wzorcem. Metoda wzorcowa analizy doświadczenia pojedynczego (Kempton i Fox 1979) jest oparta na interpolacji liniowej wartości obserwowanej cechy między poletkami wzorcowymi. Metoda ta umożliwia poprawianie obserwacji ze względu na występujący trend zmienności glebowej. Jej podstawowym celem jest oszacowanie odchyleń obserwacji dla poszczególnych rodów od wartości cechy dla wzorców. Dla każdego obiektu (rodu) występującego w doświadczeniu jednopowtórzeniowym uzyskuje się jego obserwację oryginalną, wielkość obserwacji interpolowanej wzorca dla tego obiektu oraz obserwację przedstawioną jako procent wzorca. Na podstawie wysokości procentu obserwacji każdego obiektu względem odpowiadającej mu wielkości interpolowanej wzorca można utworzyć ranking obiektów (rodów) od posiadającego najwyższy procent wzorca do obiektu charakteryzującego się najniższym procentem wzorca.

Druuga metoda analizowania doświadczenia jednopowtórzeniowego z wzorcami jest oparta na ogólnej teorii analizy doświadczeń w układach o blokach niekompletnych (Ceranka 1973, Pesek 1974, Caliński i Ceranka 1976, Ceranka i Chudzik 1977, Kaczmarek i in. 1985). Teoria ta umożliwia w sposób metodycznie poprawny wykonanie analizy statystycznej wspomnianych doświadczeń jednopowtórzeniowych

jeśli tylko spełnione są warunki dotyczące planowania tych doświadczeń. Konieczne jest przede wszystkim spełnienie warunku dotyczącego replikacji występujących w doświadczeniu wzorców, polegającego na tym, aby w pasie (bloku niekompletnym) znajdowały się oprócz badanych obiektów replikowanych jeden raz, wzorce replikowane wielokrotnie. Możliwe jest wówczas wykonanie analizy wariancji opartej na modelu addytywnym obserwacji. Omówione wyżej metody zostały wykorzystane do analizy serii czterech doświadczeń jednopowtórzeniowych z 90 mieszaniami i 3 wzorcami rzepaku ozimego, rozlokowanymi w 6 pasach.

Wyniki

Ocena mieszańców rzepaku ozimego przeprowadzona na podstawie analizy plonu w serii doświadczeń jednopowtórzeniowych z wzorcami

Omówione powyżej metody statystyczne zastosowano do analizy serii doświadczeń jednopowtórzeniowych z 90 mieszaniami i 3 odmianami wzorcowymi, prowadzonych w 4 lokalizacjach. Opracowanie statystyczne serii przeprowadzono wykorzystując programy EKSPLAN (Krajewski i in. 2006) i SERGEN (Caliński i in. 1998). Mimo, że analiza została wykonana dla wszystkich 93 genotypów, z uwagi na brak miejsca, w pracy przedstawiamy wyniki analizy statystycznej jedynie dla najwyższej plonujących 16 mieszańców.

W tabeli 1 zamieszczone są wyniki analizy statystycznej serii 4 doświadczeń dotyczące 16 najlepiej plonujących mieszańców ocenionych metodą wzorcową, to znaczy pierwszą z omówionych metod (podane są procenty plonu w odniesieniu do poszczególnych wzorców), natomiast w tabeli 2 podane są wyniki dla tych samych mieszańców ocenionych dzięki zastosowaniu drugiej z omówionych metod. Oprócz procentów plonu w odniesieniu do wzorca systematycznego tabela 2 zawiera także oceny efektów głównych każdego z mieszańców i wartości statystyki F dla ich interakcji ze środowiskiem.

W wyniku analizy statystycznej serii jednopowtórzeniowych doświadczeń międzyzakładowych z rzepakiem ozimym wyróżniono następujące genotypy (10% z liczby 90):

- za pomocą metody wzorcowej: 87, 7, 76, 73, 26, 58, 82, 10, 81;
- za pomocą metody bloków niekompletnych: 87, 7, 76, 80, 73, 26, 58, 81, 78.

Fakt, że wśród 9 genotypów każdej grupy aż 7 jest wspólnych, czyli wyróżnionych przez obie metody, wskazuje na dużą zgodność obu tak różnych metod i w znacznym stopniu czyni wiarygodnymi otrzymane wyniki analiz.

Tabela 1

Ocena plonu mieszańców rzepaku ozimego przeprowadzona metodą wzorcową w serii doświadczeń jednopowtórzeniowych z wzorcami — *The yield estimated of winter oilseed rape hybrids on the basis of the standard method for the analysis of a series of unreplicated experiments with standards*

Lp No	Nr genotypu <i>Genotype number</i>	% wzorca <i>% of standard</i> Californium	% wzorca <i>% of standard</i> Herkules	% wzorca <i>% of standard</i> Castille
1	87	140,73	115,11	127,35
2	7	130,15	107,50	118,92
3	76	128,38	105,00	116,16
4	45	121,24	99,17	109,71
5	80	120,55	98,89	109,40
6	52	120,00	98,89	109,40
7	73	119,87	103,03	113,98
8	26	119,16	102,25	113,11
9	58	118,48	102,75	113,67
10	82	118,11	100,64	111,33
11	10	117,99	100,39	111,06
12	81	117,90	100,92	111,65
13	56	117,41	99,78	110,38
14	78	117,12	98,49	108,96
15	Herkules	117,04	100,00	110,63
16	49	116,48	98,71	109,20

**Ocena zdolności kombinacyjnych linii rodzicielskich
na podstawie analizy mieszańców linia × tester
w serii doświadczeń jednopowtórzeniowych z wzorcami**

Przed przystąpieniem do analizy statystycznej dokonano najpierw zestawienia tych mieszańców, które zostały otrzymane w wyniku krzyżowania 9 linii MS z 6 restorerami przy zastosowaniu schematu krzyżowania linia × tester (9 × 6). Numery mieszańców linia MS × restorer podano w tabeli 3, natomiast średnie wartości plonu, a także średnie brzegowe dla linii i restorerów umieszczono w tabeli 4.

W wyniku przeprowadzonej analizy ogólnej zdolności kombinacyjnej (GCA) wyznaczono najpierw oceny efektów GCA linii MS w poszczególnych środowiskach (tab. 5). Wyniki testowania średnich efektów GCA linii MS oraz ich interakcji ze środowiskiem zostały podane w tabeli 6. Spośród pięciu linii MS, odznaczających się dodatnimi ocenami efektów GCA, szczególną uwagę zwracają linie L15, L16 i L13. Pierwsze dwie, charakteryzujące się dodatnimi ocenami GCA

Tabela 2

Ocena plonu mieszańców rzepaku ozimego przeprowadzona na podstawie metody dla analizy układów o blokach niekompletnych w serii doświadczeń jednopowtórzeniowych — *The yield estimate of winter oilseed rape hybrids on the basis of the method for the analysis of incomplete block designs used in a series of unreplicated experiments with standard*

Numer genotypu <i>Genotype number</i>	% wzorca systematycznego <i>% of standard cv. Californium</i>	% średniej wzorców <i>% of standards mean</i>	Ocena efektu głównego <i>Estimated main effect</i>	Statystyka F dla <i>F statistics for</i>	
				efektu głównego <i>main effect</i>	interakcji <i>interaction</i>
87	132,6	122,9	1,40	40,12	1,12
7	123,7	114,6	0,87	15,11	1,14
76	120,7	111,8	0,70	3,45	3,19
45	115,8	107,3	0,40	2,10	1,73
80	119,0	110,3	0,59	26,00	0,31
52	115,5	107,0	0,38	3,00	1,09
73	119,2	110,4	0,60	2,44	3,41
26	118,3	109,7	0,55	1,80	3,82
58	118,2	109,5	0,54	7,93	0,83
82	115,6	107,2	0,39	1,70	2,04
10	116,1	107,6	0,42	1,36	2,94
81	117,8	109,2	0,52	1,75	3,54
56	116,5	107,9	0,44	1,41	3,15
78	117,8	109,2	0,52	14,40	0,43
Herkules	117,6	109,0	0,51	11,45	3,53
49	113,3	109,2	0,26	2,42	0,61
Wartości krytyczne dla testowania indywidualnego na poziomie: <i>Critical values for testing at significant levels:</i>					
	0,10	5,54	2,17		
	0,05	10,13	2,75		
	0,01	34,12	4,10		

w każdym środowisku (tab. 5), odznaczają się średnim efektem GCA istotnym na poziomie $\alpha = 0,10$. Ogólna zdolność kombinacyjna linii L13 okazała się nieistotna, mimo że ocena średniego efektu GCA tej linii (wynosząca 0,244) była nieco wyższa od oceny GCA linii L15 (0,234) istotnej na poziomie $\alpha = 0,05$ ($F = 10,22$). Wpływ na tę rozbieżność ocen obu linii miała ich interakcja ze środowiskiem. Interakcja linii L13 była wysoce istotna ($F = 4,64$), gdy tymczasem interakcja linii L15 ze środowiskiem okazała się nieistotna ($F = 1,42$). Oceny efektów GCA linii L1, L7 i, L9, chociaż dodatnie, nie były istotne. Badając regresję interakcji efektów GCA badanych linii MS względem środowiska (mierzoną wartością odpowiedniej statystyki F) dokonano oceny stopnia adaptacyjności tych linii. Dodatkowo dla każdej linii MS wyliczono współczynniki regresji i determinacji. Wykreślono także

Tabela 3

Mieszańce występujące w doświadczeniu jednopowtórzeniowym otrzymane w wyniku krzyżowania linia MS × restorer (9 × 6) — *The hybrids from a series of unreplicated experiments obtained in MS line × restorer crossing (9 × 6)*

Linia <i>MS line</i>	Restorer					
	T1	T5	T6	T7	T8	T9
L1	80	71	53	44	89	62
L3	77	68	50	41	86	59
L6	79	70	52	43	88	61
L7	81	72	54	45	90	63
L9	74	65	47	38	83	56
L13	76	67	49	40	85	58
L15	73	64	46	37	82	55
L16	78	69	51	42	87	60
L19	75	66	48	39	84	57

Tabela 4

Średnie plony z poletka mieszańców linia MS × restorer uzyskane z czterech stacji hodowli
Mean plot yields for MS line × restorer hybrids from 4 experiments

Linia MS <i>MS line</i>	Restorer						Suma <i>Sum</i>	Średnia <i>Mean</i>
	T1	T5	T6	T7	T8	T9		
L1	6,918	6,095	6,813	6,215	6,728	6,755	39,524	6,587
L3	6,395	5,888	6,068	5,955	6,268	6,235	36,809	6,139
L6	6,533	5,958	6,918	6,560	6,010	6,555	38,534	6,422
L7	7,060	6,380	6,090	6,938	6,585	6,835	39,888	6,648
L9	6,693	6,058	6,850	6,423	6,925	6,980	39,929	6,655
L13	7,345	6,758	6,905	6,125	6,275	7,188	40,596	6,766
L15	7,208	6,693	6,490	6,643	7,040	6,468	40,542	6,757
L16	6,890	6,760	6,285	6,325	8,053	6,428	40,741	6,790
L19	6,088	5,645	5,500	6,578	5,703	6,133	35,647	5,941
Suma <i>Sum</i>	61,130	56,235	57,919	57,762	59,587	59,577	352,210	–
Średnia <i>Mean</i>	6,792	6,248	6,435	6,418	6,620	6,619	–	6,522

proste regresji efektów interakcyjnych GCA wszystkich 9 linii MS względem środowiska (rys. 1). Punkty przecięcia się tych prostych z osią pionową (opisującą oceny efektu GCA) wskazują na średnią ocenę efektu GCA poszczególnych linii MS. Na rysunkach 2 i 3 przedstawiono proste regresji wraz z odchyleniami interakcyjnymi efektów GCA odpowiednio dla linii L13 (o wysoce istotnej interakcji GCA ze środowiskiem) i dla linii L15 (o nieistotnej interakcji GCA ze środowiskiem) w środowiskach AB1, AB2, AB3 i AB4.

Tabela 5

Oceny efektów GCA linii MS w poszczególnych środowiskach
The estimate of GCA effects for MS lines in individual environments

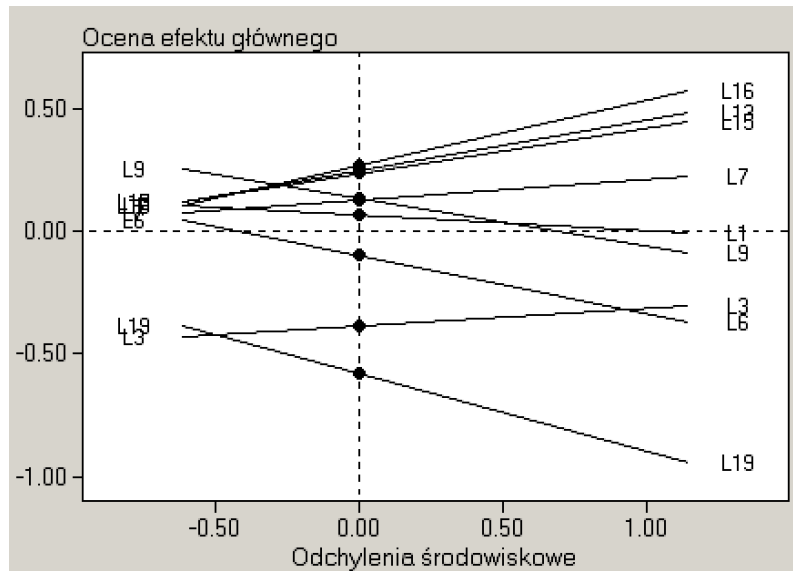
Linia MS <i>MS line</i>	Środowisko — <i>Environment</i>			
	AB1	AB2	AB3	AB4
L1	0,263	-0,199	0,056	0,139
L3	-0,226	-0,639	-0,237	-0,449
L6	0,028	0,143	-0,404	-0,167
L7	-0,339	0,498	0,103	0,241
L9	0,418	-0,077	-0,031	0,219
L13	-0,172	0,341	0,416	0,389
L15	0,078	0,286	0,426	0,148
L16	0,179	0,130	0,603	0,159
L19	-0,229	-0,485	-0,932	-0,679

Tabela 6

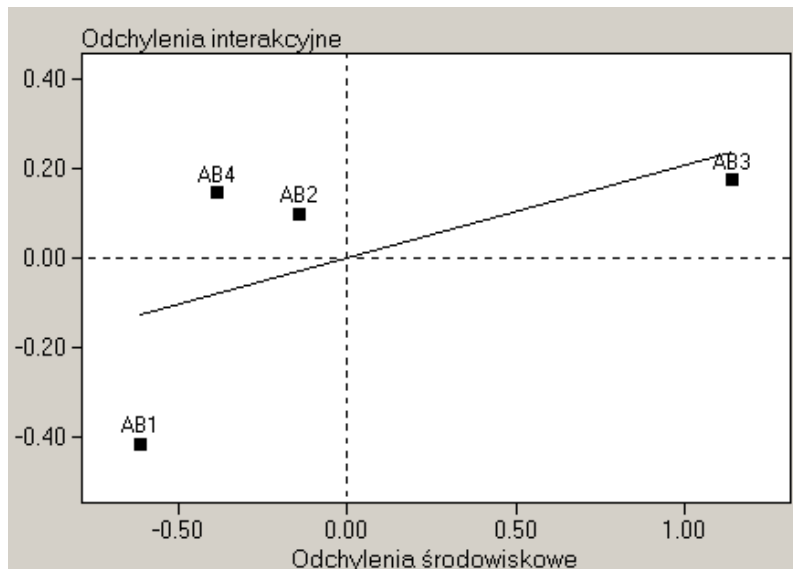
Analiza interakcji GE dla ogólnej zdolności kombinacyjnej (GCA) linii MS
The analysis of GE interaction for the general combining ability (GCA) of MS lines

Linia MS <i>Ms line</i>	Ocena efektu głównego <i>Estimated GCA effect</i>	Statystyka F dla <i>F statistics for</i>		Współczynnik <i>Coefficient of</i>	
		efektu GCA <i>GCA effect</i>	interakcji <i>interaction</i>	regresji <i>regression</i>	determinacji <i>determination</i> [%]
L1	0,065	0,44	2,27	-0,07	7,1
L3	-0,388	15,59	2,30	0,07	8,1
L6	-0,100	0,70	3,42	-0,24	59,0
L7	0,126	0,52	7,32	0,09	3,8
L9	0,132	1,32	3,16	-0,20	45,2
L13	0,244	3,05	4,64	0,21	33,7
L15	0,234	10,22	1,42	0,18*	87,9
L16	0,268	5,71	3,00	0,27*	89,0
L19	-0,581	15,24	5,29	0,32	71,3
Wartości krytyczne dla testowania indywidualnego na poziomie: <i>Critical values for testing at significant levels:</i>					
	0,10	5,54	2,17		
	0,05	10,13	2,75		
	0,01	34,12	4,10		

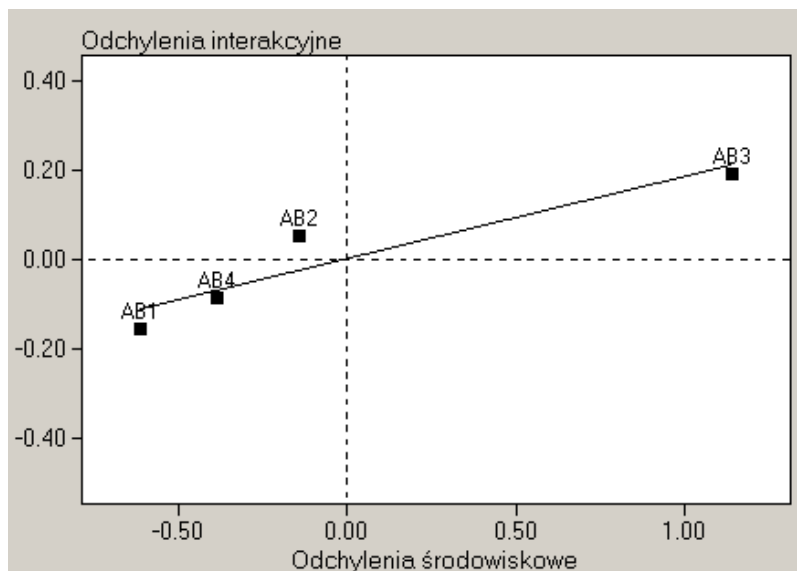
* — regresja istotna na poziomie 0,05 — *regression significant at 0.05 level*



Rys. 1. Proste regresji efektów interakcyjnych GCA linii MS względem średniej środowiskowej. Punkty przecięcia tych prostych z osią rzędną wyznaczają oceny efektów GCA linii MS — *Regression lines of GCA interaction effects of parental MS lines on environmental mean. The intersection points of interaction lines with the ordinate axis represent the estimated GCA effects of MS lines*



Rys. 2. Regresja efektów interakcyjnych GCA linii L13 względem średniej środowiskowej — *Regression line of GCA interaction effects of L13 line on environmental mean*



Rys. 3. Regresja efektów interakcyjnych GCA linii L15 względem średniej środowiskowej
Regression line of GCA interaction effects of L15 line on environmental mean

W wyniku analizy genetycznej mieszańców linia $MS \times$ restorer uzyskano także oceny efektów GCA restorerów i przeprowadzono testowanie ich istotności oraz istotności ich interakcji ze środowiskiem. Oceny efektów GCA restorerów w poszczególnych środowiskach podano w tabeli 7, natomiast wyniki testowania tych efektów zawiera tabela 8. Wyróżnia się tutaj przede wszystkim restorer T1 z dodatnim istotnym (na poziomie $\alpha = 0,10$) efektem GCA oraz także istotnej (na poziomie $\alpha = 0,05$) interakcji ze środowiskiem. Proste regresji efektów interakcyjnych GCA wszystkich 6 restorerów względem środowiska zostały wykreślone na rysunku 4. Z trzech restorerów o dodatniej ocenie efektu GCA (T1, T9 i T8), szczególnie silną tendencję wzrostu plonu w miarę polepszania się warunków środowiskowych wykazują jedynie mieszańce restorera T1. Rysunek 5, przedstawiający regresję efektów interakcyjnych GCA restorera T1 względem środowiska, wraz z odchyleniami interakcyjnymi efektów GCA w poszczególnych środowiskach wskazuje jednocześnie, że istotną interakcję efektów GCA tego restorera ze środowiskiem można tłumaczyć regresją liniową o dodatnim współczynniku regresji $b = 0,24$. Fakt ten upoważnia do określenia tego restorera jako genotypu intensywnego, czyli genotypu, którego zdolność kombinacyjna rośnie wraz z polepszaniem się warunków środowiskowych.

Tabela 7

Oceny efektów GCA restorerów w poszczególnych środowiskach
The estimates of GCA effects for restorers in environment

Restorer	Środowisko — <i>Environment</i>			
	AB1	AB2	AB3	AB4
T1	0,115	0,274	0,538	0,152
T5	-0,387	-0,497	-0,026	-0,187
T6	-0,347	0,071	-0,369	0,298
T7	0,291	-0,466	-0,050	-0,192
T8	0,191	0,341	-0,116	-0,022
T9	0,138	0,276	0,022	-0,048

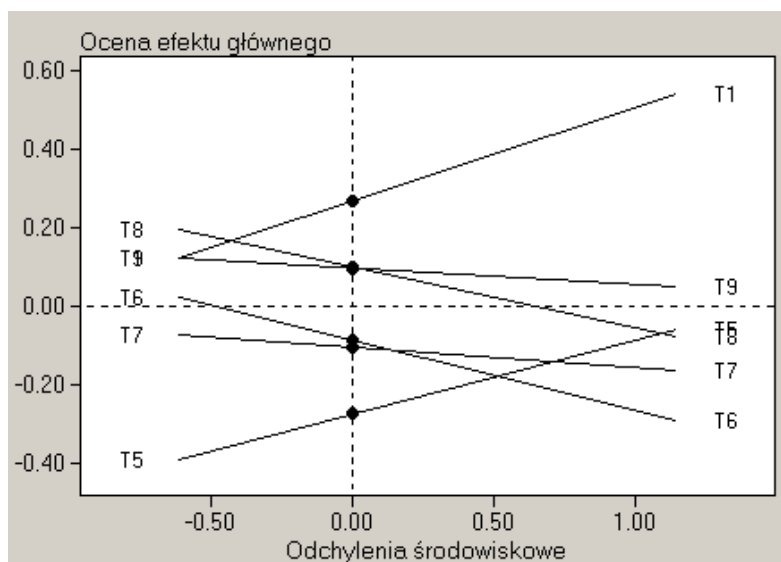
Tabela 8

Analiza interakcji GE dla ogólnej zdolności kombinacyjnej (GCA) restorerów
The analysis of GE interaction for the general combining ability (GCA) of restorers

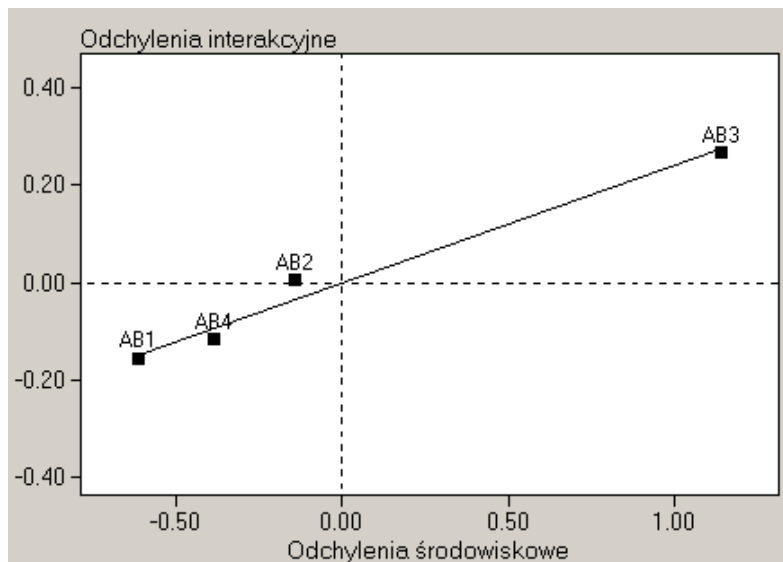
Linia MS <i>MS line</i>	Ocena efektu głównego <i>Estimated GCA effect</i>	Statystyka F dla <i>F statistics for</i>		Współczynnik <i>Coefficient of</i>	
		efektu GCA <i>GCA effect</i>	interakcji <i>interaction</i>	regresji <i>regression</i>	determinacji <i>determination</i> [%]
T1	0,270	7,96	3,48	0,24*	98,0
T5	-0,274	6,84	4,19	0,19	50,6
T6	-0,087	0,28	10,17	-0,18	18,8
T7	-0,104	0,44	9,45	-0,05	1,6
T8	0,098	0,91	4,06	-0,16	35,2
T9	0,097	1,88	1,92	-0,04	5,7
Wartości krytyczne dla testowania indywidualnego na poziomie: <i>Critical values for testing at significant levels:</i>					
	0,10	5,54	2,17		
	0,05	10,13	2,75		
	0,01	34,12	4,10		

* — regresja istotna na poziomie 0,05 — *regression significant at 0.05 level*

Oprócz analizy ogólnej zdolności kombinacyjnej form rodzicielskich przeprowadzona została także analiza specyficznej zdolności kombinacyjnej (SCA) par linii MS i restorerów. Wyniki analizy efektów SCA wybranych par linii zawiera tabela 9, w której podano średnie oceny SCA oraz wyniki testowania tych efektów i ich interakcji ze środowiskiem. W tabeli tej podano rezultaty dotyczące oceny SCA jedynie tych par linii MS i restorerów, których efekty SCA są dodatnie i znacząco różne od zera. Wśród tych par szczególną uwagę zwracają kombinacje



Rys. 4. Proste regresji efektów interakcyjnych GCA restorerów względem średniej środowiskowej. Punkty przecięcia tych prostych z osią rzędną wyznaczają oceny efektów GCA restorerów — *Regression lines of GCA interaction effects of restorers on environmental mean. The points of intersection lines with the ordinate axis represent the estimated GCA effects of restorers*



Rys. 5. Regresja efektów interakcyjnych GCA restorera T1 względem średniej środowiskowej — *Regression line of GCA interaction effects of restorer T1 on environmental mean*

Tabela 9

Testowanie efektów specyficznej zdolności kombinacyjnej (SCA) par linii MS i restorerów
Testing of specific combining ability (SCA) effects for pairs of MS lines and restorers

Linia MS <i>MS line</i>	Ocena efektu głównego <i>Estimated GCA effect</i>	Statystyka F dla <i>F statistics for</i>		Współczynnik <i>Coefficient of</i>	
		efektu GCA <i>GCA effect</i>	interakcji <i>interaction</i>	regresji <i>regression</i>	determinacji <i>determination</i> [%]
L6-T6	0,582	25,38	0,64	0,19	43,9
L7-T7	0,394	3,30	2,24	0,29	27,8
L9-T6	0,282	6,46	0,59	0,24	71,0
L13-T1	0,309	0,88	5,19	0,59	49,5
L13-T9	0,324	2,40	2,09	0,52*	93,4
L16-T8	1,164	35,26	1,83	0,42	70,3
L19-T7	0,741	88,21	0,30	0,05	6,0
Wartości krytyczne dla testowania indywidualnego na poziomie: <i>Critical values for testing at significant levels:</i>					
	0,10	5,54	2,17		
	0,05	10,13	2,75		
	0,01	34,12	4,10		

* — regresja istotna na poziomie 0,05 — *regression significant at 0.05 level*

linii MS i restorerów L6-T6, L16-T8 i L19-T7. Oceny efektów SCA tych par są nie tylko dodatnie (SCA (L6-T6) = 0,582, SCA (L16-T8) = 1,164, SCA (L19-T7) = 0,741), lecz także wysoce istotne (wartości statystyki F dla tych kombinacji przewyższają wartość krytyczną $F_{0,05} = 10,13$, a w dwóch przypadkach nawet wartość krytyczną $F_{0,01} = 34,12$). Nie jest natomiast istotna interakcja efektów SCA tych par ze środowiskiem. Oznacza to, że mieszańce wyżej wymienionych linii rodzicielskich nie tylko uzyskiwały wysokie plony w każdym z omawianych środowisk, lecz także okazały się stabilne. Z pozostałych par na uwagę zasługuje kombinacja L13-T9, mimo że jej ocena efektu SCA okazała się nieistotna. Dość wysoką chociaż nieistotną, interakcję ze środowiskiem ($F = 2,09$) można wyjaśnić za pomocą regresji liniowej efektów interakcyjnych SCA tej pary względem środowiska. Współczynnik nachylenia prostej regresji wyniósł 0,52 i jest istotny na poziomie 0,05, a współczynnik determinacji okazał się bardzo wysoki i wyniósł 93,4%.

Podsumowanie

Przeprowadzone za pomocą programów EKSPLAN i SERGEN obliczenia statystyczne serii doświadczeń zakładanych w różnych lokalizacjach dostarczyły szeregu informacji dotyczących badanych genotypów.

Uzyskane wyniki obliczeń serii doświadczeń jednopowtórzeniowych z wzorcami, przeprowadzonych zarówno za pomocą tzw. metody wzorcowej jak i metody opartej na ogólnej teorii analizy doświadczeń w układach o blokach niekompletnych, pozwoliły wyciągnąć wniosek, że prowadzenie tego typu doświadczeń nie w jednym lecz w kilku środowiskach znacznie zwiększa wiarygodność.

Wykonana analiza serii doświadczeń jednopowtórzeniowych z wzorcami pozwoliła na wyodrębnienie genotypów, które z jednej strony odznaczają się wysokim przeciętnym plonem, z drugiej zaś są genotypami względnie dobrze plonującymi we wszystkich środowiskach.

Występowanie w analizowanej serii doświadczeń jednopowtórzeniowych z wzorcami mieszańców powstałych w wyniku krzyżowania linia \times tester umożliwiło dokonanie oceny ogólnych efektów zdolności kombinacyjnych form rodzicielskich tych mieszańców i interakcji tych efektów ze środowiskiem. Otrzymane tą drogą informacje dotyczące linii rodzicielskich mogą być podstawą do praktycznego wykorzystania w procesie hodowlanym.

Literatura

- Caliński T., Ceranka B., 1976. Układy zrównoważone o blokach niekompletnych rozszerzone obiektami wzorcowymi. Szóste Colloquium Metodologiczne z Agrobiometrii. PAN, Warszawa, str. 189-205.
- 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.
- Ceranka B. 1973. Układy doświadczalne o blokach niekompletnych. Teoria i zastosowanie. Trzecie Colloquium Metodologiczne z Agrobiometrii. PAN, Warszawa – Wrocław, 143-212.
- Ceranka B., Chudzik H. 1977. Doświadczenia jednopowtórzeniowe z wzorcem. Siódme Colloquium Metodologiczne z Agrobiometrii. PAN, Warszawa, 318-331.
- Kaczmarek Z., Kielczewska H., Łuczkiwicz T. 1985. Analiza statystyczno-genetyczna doświadczeń jednopowtórzeniowych z wzorcem na przykładzie doświadczenia z rodami pszenicy jarej. Piętnaste Colloquium Metodologiczne z Agrobiometrii. PAN, Warszawa, 183-194.
- Kaczmarek Z. 1986. Analiza doświadczeń wielokrotnych zakładanych w blokach niekompletnych. Rozprawy Naukowe AR Poznań.
- Kempton R.A., Fox P.N. 1979. Statistical methods for plant variety evaluation. Chapman and Hall.
- Krajewski P., Kaczmarek Z., Czajka S. 2006. Planowanie i analiza statystyczna doświadczeń hodowlanych. EKSPLAN, IGR PAN, Poznań.
- Pesek J. 1974. The efficiency of controls in balanced incomplete block design. Biometrical Zeitschrift, 15: 21-26.