

ZYGMUNT KACZMAREK ¹
HENRYK WOŚ ²
ELŻBIETA ADAMSKA ¹
TADEUSZ ADAMSKI ¹
ROMAN BILIŃSKI ³
GRZEGORZ BUDZIANOWSKI ²
ŁUKASZ MAŃKOWSKI ²
EWELINA MAJCHRZAK ²
JANINA WOŚ ²
LAURENCJA SZAŁA ⁴
TERESA CEGIELSKA-TARAS ⁴
RENATA TRZECIAK ¹

¹ Instytut Genetyki Roślin PAN, Poznań

² Hodowla Roślin Strzelce Grupa IHAR

³ Hodowla Roślin Smolice Grupa IHAR

⁴ Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin — PIB, Oddział w Poznaniu

Ocena linii rodzicielskich rzepaku ozimego na podstawie plonu mieszańców z niekompletnego układu krzyżowania*

Evaluation of parental lines on the basis of yield of hybrids obtained from incomplete crossing scheme

Praca zawiera propozycję procedury obliczeniowej umożliwiającej ocenę hodowlaną mieszańców i ich form rodzicielskich (linii męskosterylnych (linii MS) i restorerów) na podstawie plonu mieszańców otrzymanych w wyniku niekompletnego schematu krzyżowania linia × tester w serii doświadczeń jednopowtórzeniowych z wzorcami. Proponowane podejście jest rozszerzeniem metody przedstawianej w pracy Wosia i in. (2010) dotyczącej oceny zdolności kombinacyjnej form rodzicielskich rzepaku ozimego na podstawie analizy mieszańców otrzymanych w wyniku kompletnego schematu krzyżowania linia × tester. Metodologia analizy prezentowana w wyżej cytowanej pracy jest oparta na ogólnej teorii analizowania wyników serii doświadczeń przeprowadzonych z tymi samymi genotypami w układzie bloków niekompletnych, podanej przez Kaczmarka (1986). Dla zilustrowania stosowanego w pracy podejścia została wykonana analiza

* Praca została wykonana w ramach grantu MRiRW z. 47

Praca przedstawiona na konferencji IHAR — PIB, Zakopane, 3 lutego 2015 roku

statystyczna danych pochodzących z serii czterech doświadczeń jednopowtórzeniowych z 96 mieszaneńcami rzepaku ozimego replikowanymi jeden raz i dwoma wzorcami replikowanymi wielokrotnie. Dla przeprowadzenia analizy wariancji, wyznaczenia i testowania istotności ocen efektów głównych mieszaneńców, linii męskosterylnych i restorerów oraz ich interakcji ze środowiskiem wykorzystano programy komputerowe EKSPLAN (Krajewski i in., 2003) i SERGEN (Caliński i in., 1998).

Słowa kluczowe: niekompletny schemat krzyżowania, rzepak ozimy, seria doświadczeń jednopowtórzeniowych, zdolność kombinacyjna

The paper contains a proposal of calculation procedure to enable an assessment of breeding hybrids and their parental forms (male-sterile lines (MS lines) and restorers) on the basis of the analysis of these hybrids, obtained from incomplete crossing scheme and observed in series of unreplicated experiments with standards. The proposed approach is a generalization of the method presented in the paper of Woś et al. (2010) on the evaluation of combining ability effects of parental lines on the basis of the analysis of hybrids obtained from a complete crossing scheme line \times tester. The methodology presented in the above cited paper is based on the general theory for the analysis of series of experiments with the same genotypes conducted in incomplete block design, given by Kaczmarek (1986). To illustrate the approach used in the paper a statistical analysis of the data from series of winter oilseed rape experiments with 96 unreplicated hybrids and 2 replicated standards was performed. Analysis of variance and evaluation of the main effects of hybrids, male-sterile lines and testers and their interaction with environments was carried out using the computer programs EKSPLAN (Krajewski et al., 2003) and SERGEN (Caliński et al., 1998).

Key words: incomplete crossing scheme, winter oilseed rape, series of unreplicated experiments, combining ability

WSTĘP

Przy tworzeniu nowych kreacji genotypowych podstawowy problem stanowi ocena i wybór najlepszych genotypów do dalszych etapów ich ulepszania. Zakładane w tym celu doświadczenia jednopowtórzeniowe z dużą liczbą mieszaneńców i jednym, dwoma bądź trzema wzorcami, często prowadzone w kilku lokalizacjach, dają szansę uzyskania wiarygodnego rankingu najbardziej plennych mieszaneńców. Pierwszym etapem przebiegu procesu hodowli heterozyznej jest wyprowadzenie linii wsobnych a następnie testowanie ich pod względem zdolności kombinacyjnych i wybór do dalszych etapów hodowli. Wybór ten wymaga wszechstronnego badania zmienności genetycznej cech ilościowych w tej populacji poprzez właściwą analizę genetyczno-hodowlaną mieszaneńców uzyskanych w wyniku krzyżowania form rodzicielskich. Metody genetyki ilościowej, wsparte odpowiednimi metodami statystyki matematycznej pozwalają dokonać nie tylko wyboru mieszaneńców odznaczających się dobrymi właściwościami obserwowanych cech ale także pozwalają ocenić zdolność kombinacyjną ich form rodzicielskich, zwłaszcza, gdy krzyżowanie przebiegało zgodnie z odpowiednim schematem takim jak układ dialleliczny, linia \times tester czy top-cross. W pracy proponowane są metody analizy statystycznej wyników serii doświadczeń jednopowtórzeniowych prowadzonych w kilku miejscowościach z tym samym zestawem mieszaneńców i wzorców rzepaku ozimego. Oprócz oceny plonowania mieszaneńców dokonywane jest także, na podstawie ich obserwacji, badanie zdolności kombinacyjnych ich form rodzicielskich poprzez ocenę i testowanie istotności efektów głównych oraz efektów interakcji tych form ze środowiskiem

(z miejscowościami, w których prowadzone były doświadczenia). Analiza interakcji genotypowo-środowiskowej przeprowadzana dla uzyskania wielu informacji hodowlanych zawsze wzbudzała na świecie, ale również w Polsce duże zainteresowanie nie tylko ze strony statystyków ale także genetyków i hodowców. W szeregu prac, między innymi prac Calińskiego i in. (1980, 1983), Mądrego i Rajfury (2003), Mądrego i in. (2006), Iwańskiej i in. (2008), Mądrego i in. (2010), Bujaka i Tratwala (2011), Mądrego i Iwańskiej (2011 a, b) podejmowane były próby rozwijania różnych metod umożliwiających uzyskiwanie informacji dotyczących parametrów genetyczno-hodowlanych badanych genotypów w aspekcie ich interakcji ze środowiskiem. W pracy Wosia i in. (2010) przedstawiono propozycję wykorzystania plonu mieszańców obserwowanych w serii doświadczeń jednopowtórzeniowych z wzorcami do oceny i testowania istotności efektów głównych i interakcyjnych mieszańców linia \times tester rzepaku ozimego, a także oceny i testowania efektów ogólnej zdolności kombinacyjnej (GCA) form rodzicielskich ze szczególnym uwzględnieniem badania interakcji efektów GCA ze środowiskiem. W praktyce hodowlanej mieszańce uzyskiwane w wyniku krzyżowania l linii MS z t restorerami nie wypełniają całkowicie tablicy linia \times tester, czyli ich liczba jest mniejsza od lt . Taki schemat krzyżowania będzie w dalszej części pracy nazywany niekompletnym schematem krzyżowania linia \times tester. W pracy Kaczmarka i Krajewskiego (1996) przedstawiono metodykę oceny form rodzicielskich na podstawie niekompletnych systemów krzyżowania dla doświadczeń pojedynczych. W niniejszej pracy pokazano w jaki sposób można dokonać oceny zdolności kombinacyjnej linii rodzicielskich rzepaku ozimego na podstawie plonu ich mieszańców uzyskanych w wyniku niekompletnego krzyżowania linia \times tester i obserwowanych w serii doświadczeń jednopowtórzeniowych z wzorcami. Wyznaczono oceny efektów głównych linii MS i restorerów i przeprowadzono testowanie ich istotności, a także testowanie istotności interakcji tych efektów z miejscowościami. Oceny efektów głównych form rodzicielskich będą w dalszej części pracy interpretowane jako oceny ich zdolności kombinacyjnych (GCA). Dla pełniejszej interpretacji interakcji badanych mieszańców i linii rodzicielskich z miejscowościami zostały wykonane analizy regresji liniowej. Ilustracją wyników tych analiz są wykresy równań regresji efektów interakcji wybranych mieszańców, linii MS i restorerów względem środowiska (średniej z miejscowości).

MATERIAŁ I METODY

Materiał doświadczalny

Materiał do badań obejmował 96 mieszańców F_1 rzepaku ozimego uzyskanych w wyniku krzyżowania 21 linii męskosterylnych (linii MS) z 10 restorerami (tab. 1). Mieszańce oraz odmiany wzorcowe (Visby i Chagall) były badane w serii doświadczeń jednopowtórzeniowych z wzorcami prowadzonych w czterech miejscowościach (stacjach hodowli roślin, Borowo (BOH), Kończewice (KOH), Małyszyn (MAH), Strzelce (STH)). Każde z doświadczeń obejmowało 6 pasów (bloków niekompletnych) obejmujących 18 poletek o powierzchni 12 m². Na poletkach każdego z nich (na pierwszym i ostatnim) rozmieszczono w sposób regularny wzorzec systematyczny Visby oraz rozlosowano 16

mieszkańców i wzorzec losowy Chagall. Obserwowaną cechą u mieszkańców był plon z poletka (kg/poletko). Dane okazały się niekompletne, ponieważ w jednym z doświadczeń nie było obserwacji z dwóch poletek. Brakujące obserwacje zostały uzupełnione metodą opisaną w pracy Calińskiego i in. (1992), wykorzystywaną również w programie SERGEN (Caliński i in., 1998).

Tabela 1

Niekompletny schemat krzyżowania Linia MS × Restorer (21B × 10R)
Incomplete crossing scheme MS line × Restorer (21B × 10R)

Linia MS MS line	Restorer Restorer										Liczba mieszkańców Number of hybrids
	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	
B1	x	x	x	x	x		x	x			7
B2	x	x	x	x	x		x	x	x		8
B3	x	x	x	x	x			x			6
B4		x			x						2
B5	x	x		x	x	x	x	x	x	x	9
B6			x	x	x			x			4
B7	x	x	x	x	x			x	x		7
B8	x	x	x	x	x	x	x	x	x		9
B9	x	x	x	x	x			x		x	7
B10		x		x		x	x		x	x	6
B11	x	x	x	x	x	x	x	x			8
B12				x							1
B13	x				x	x		x			4
B14		x						x			2
B15	x	x					x	x		x	5
B16				x				x			2
B17	x									x	2
B18	x					x					2
B19				x							1
B20		x	x								2
B21			x				x				2
Liczba mieszkańców Number of hybrids	12	13	10	13	11	6	8	13	5	5	96

Metody statystyczne

Do analizy poszczególnych doświadczeń jednopowtórzeniowych z wzorcami, przeprowadzonych w 4 miejscowościach, wykorzystano metodę opartą na ogólnej teorii analizy doświadczeń o blokach niekompletnych (Ceranka i Chudzik, 1977). Podstawowe analizy statystyczne przedstawionej wyżej serii doświadczeń jednopowtórzeniowych z wzorcami przeprowadzono, zgodnie z teorią podaną przez Kaczmarka (1986) dotyczącą analizy doświadczeń zakładanych w układzie bloków niekompletnych. Zastosowanie do doświadczeń jednopowtórzeniowych z wzorcami ogólnej teorii analizy doświadczeń prowadzonych w układach o blokach niekompletnych było możliwe, ponieważ spełniony został warunek, aby w pasach doświadczenia (blokach niekompletnych) oprócz mieszkańców replikowanych jeden raz występowały wzorce replikowane wielokrotnie. Przeprowadzono analizę wariancji i dokonano testowania hipotez dotyczących braku

różnic między miejscowościami, braku różnic między mieszańcami oraz braku interakcji mieszańce \times miejscowości. W analizie szczegółowej przeprowadzono indywidualną charakterystykę poszczególnych mieszańców. Wyliczono w pierwszym rzędzie oceny efektów głównych mieszańców, podano odpowiadające im wartości statystyki F oraz wartości statystyki F dla oceny interakcji poszczególnych mieszańców z miejscowościami. Podjęto także próbę wyjaśniania interakcji mieszańców z miejscowościami poprzez badanie regresyjnej zależności tej interakcji od przeciętnego plonowania wszystkich mieszańców występujących w miejscowościach. Wyliczono w tym celu współczynniki regresji oraz współczynniki determinacji. Zbadano istotność współczynników regresji i na tej podstawie uzyskano możliwość przeprowadzenia wnioskowania o zachowaniu się mieszańców w poszczególnych miejscowościach. Mieszańce odznaczające się istotnymi i dodatnimi ocenami współczynników regresji charakteryzują się plonowaniem intensywnym w tym sensie, że plonują względnie dobrze w miejscowościach, w których przeciętne plony mieszańców są wyższe, a względnie gorzej tam gdzie przeciętne plony są niższe. Istotne i ujemne wartości współczynników regresji mieszańców względem średniej z miejscowości wskazują na ich ekstensywny charakter wyrażający się lepszym plonowaniem w miejscowościach o niższych plonach a słabszym w miejscowościach o średnich plonach wyższych. Obliczenia wykonano za pomocą programów komputerowych ESKPLAN (Krajewski i in., 2003) i SERGEN (Caliński i in., 1998). Program SERGEN został także częściowo wykorzystany do badania ocen zdolności kombinacyjnych plonowania linii MS i restorerów, jak również badania struktury ich interakcji ze środowiskiem. W wyniku jego zastosowania wyznaczono oceny i przeprowadzono testowanie istotności średnich efektów głównych linii MS i restorerów oraz przeprowadzono testowanie hipotez o braku interakcji tych efektów z miejscowościami. Dla pełniejszej interpretacji interakcji badanych mieszańców i linii rodzicielskich z miejscowościami zostały wykonane analizy regresji liniowej. Ilustracją wyników tych analiz są wykresy równań regresji efektów interakcji.

WYNIKI

Ocena zdolności plonowania mieszańców

Przeprowadzona w pierwszej kolejności analiza wariancji dla 96 mieszańców rzepaku ozimego obserwowanych w serii czterech doświadczeń jednopowtórzeniowych z wzorcami pozwoliła uzyskać dla każdego doświadczenia oprócz tak zwanych „średnich poprawionych” dla tych mieszańców ze względu na układ bloków niekompletnych, również rezultaty testowania hipotez ogólnych dotyczących braku różnic między miejscowościami, między mieszańcami i hipotezy o braku interakcji mieszańce \times miejscowości. Wszystkie testowane hipotezy zostały odrzucone co najmniej na poziomie istotności 0,05. Odrzucenie hipotezy ogólnej o braku różnic między miejscowościami wskazuje na istotne różnice między średnimi środowisk. Średnie plony w poszczególnych miejscowościach, uporządkowane od najniższego do najwyższego, są następujące: MAH (5,205), KOH (5,616), BOH (5,845) i STH (6,093). Odrzucenie hipotez ogólnych dotyczących oceny mieszańców i ich interakcji ze środowiskiem upoważnia

do przeprowadzenia testowania hipotez szczegółowych dotyczących poszczególnych mieszańców. W tabeli 2 podane są oceny i wyniki testowania efektów głównych mieszańców o najwyższych plonach. Spośród wyróżnionych w tej tabeli mieszańców na szczególną uwagę zasługują te, które okazały się w niewielkim stopniu wrażliwe na różne warunki środowiskowe występujące w miejscowościach, a więc mogą być uznane jako mieszańce stabilne plonujące podobnie we wszystkich miejscowościach. Do tej grupy zaliczyć można przede wszystkim mieszańce: B2 × R5, B5 × R7, B8 × R3, B10 × R2, B10 × R7, B11 × R3 i B11 × R8.

Tabela 2

Wyniki testowania hipotez dotyczących oceny wybranych mieszańców rzepaku ozimego i ich interakcji ze środowiskiem

The results of testing the hypotheses concerning evaluation of the chosen hybrids of winter oilseed rape and their interaction with environments

Mieszańce Hybrids	Średnia Mean kg/pol	Ocena efektu głównego Estimate of main effect	Statystyka F dla F- statistic for		Współczynnik Coefficient of	
			efektu głów. main effect	interakcji interaction	regresji regression	determinacji (%) determination
B2 × R5	6,497	0,757	16,85**	0,93	0,967	96,88
B2 × R8	7,116	1,376	18,25**	2,62*	0,993	33,54
B3 × R3	6,494	0,754	5,64*	2,54*	1,372	65,89
B4 × R2	6,524	0,784	4,00	3,88**	-1,180	31,87
B5 × R5	6,677	0,937	7,76*	2,85*	-1,474	67,72
B5 × R6	6,647	0,907	10,21**	2,20	0,912	36,40
B5 × R7	6,431	0,691	9,77*	1,23	0,555	22,22
B5 × R8	6,844	1,104	15,14**	2,03	1,490	97,27
B8 × R3	6,314	0,574	10,16**	0,82	0,118	1,52
B9 × R2	6,681	0,941	5,07	4,41**	0,537	5,82
R10 × R2	6,242	0,502	9,44*	0,67	0,798	84,21
R10 × R7	6,331	0,591	6,81*	1,29	0,614	25,96
B11 × R3	6,384	0,644	7,55*	1,39	0,208	2,79
B11 × R8	6,264	0,524	11,17**	0,62	0,750	80,58
B21 × R7	6,330	0,590	2,03	4,68**	1,826	68,61
Stand. Chagall	6,143	0,403	6,30*	5,26**	0,197	5,32

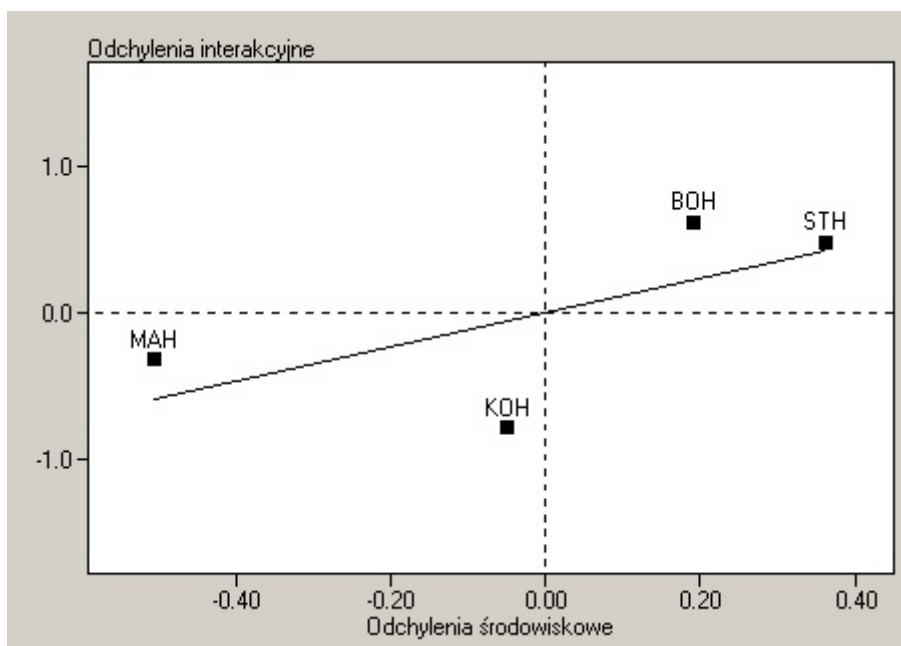
* Istotność na poziomie $p = 0,10$

* Significance at the level 0.10

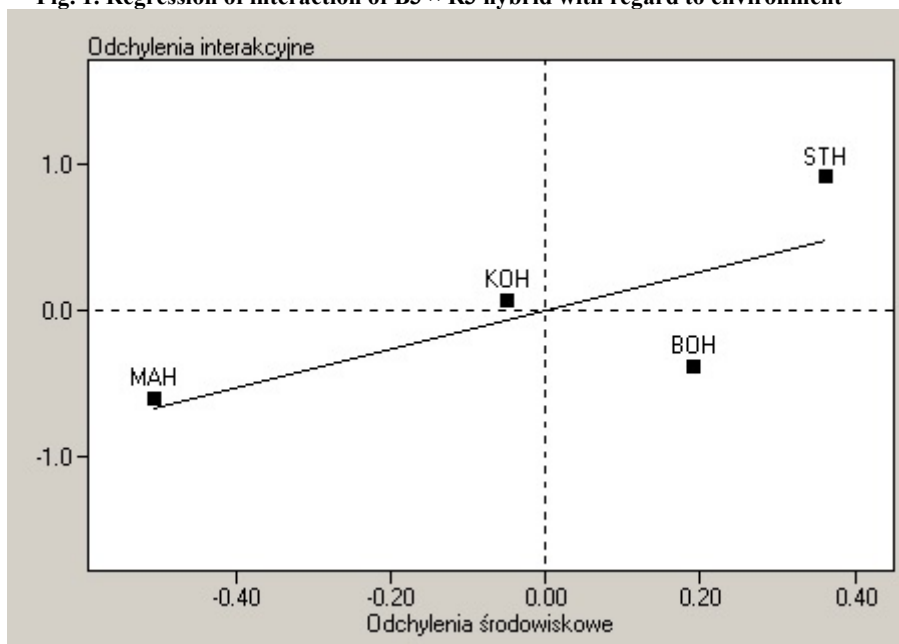
** Istotność na poziomie $p = 0,05$

** Significance at the level 0.05

Cenne mogą być także mieszańce niestabilne o wysokiej i istotnej interakcji z miejscowościami, którą to interakcję można wyjaśnić za pomocą regresji ich efektów interakcyjnych względem tych miejscowości. Są to przede wszystkim mieszańce B3 × R3 i B21 × R7 o dodatnich współczynnikach regresji (wynoszących odpowiednio 1,372 i 1,826) i wysokim współczynnikiem determinacji (wynoszącym 65,89%, i 68,61%). Dodatnie współczynniki regresji tych mieszańców względem średnich plonów w miejscowościach (rys. 1, 2) wskazują na intensywny charakter ich interakcji z tymi miejscowościami.

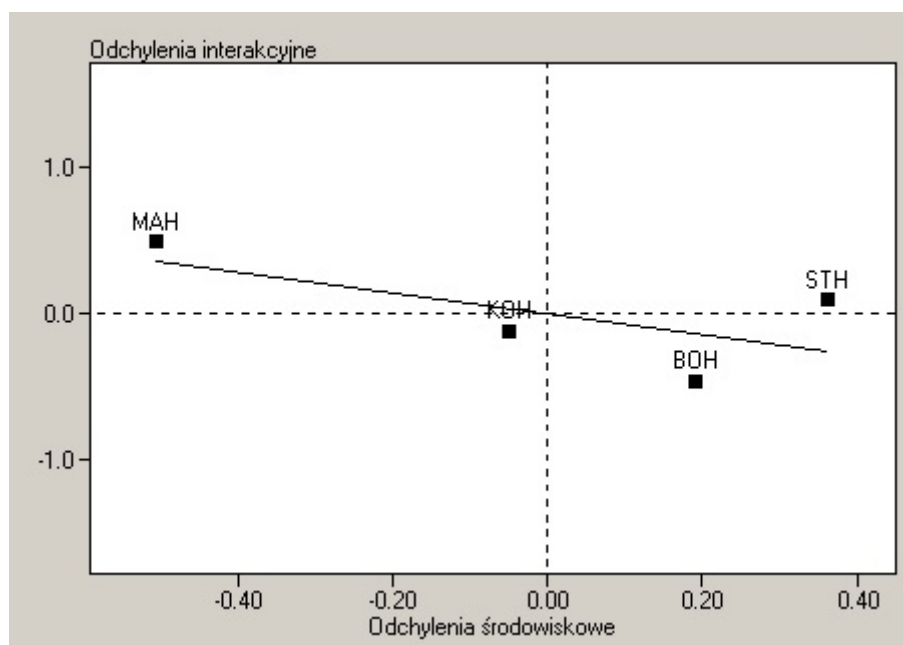


Rys. 1. Regresja efektów interakcyjnych mieszańca B3 × R3 względem środowiska
 Fig. 1. Regression of interaction of B3 × R3 hybrid with regard to environment



Rys. 2. Regresja efektów interakcyjnych mieszańca B21 × R7 względem środowiska
 Fig. 2. Regression of interaction of B21 × R7 hybrid with regard to environment

Oznacza to, że mieszańce te szczególnie dobrze plonują w miejscowościach o przeciętnie bardziej korzystnych warunkach glebowo-klimatycznych. Zgoła odmienną wrażliwością na warunki środowiskowe odznacza się mieszańiec B5 × R5 o ujemnym współczynniku Regresji i współczynniku determinacji wynoszącym 67,72%). Może on być uznany jako mieszańiec ekstensywny, plonujący szczególnie dobrze w miejscowościach średnio mniej sprzyjających uzyskiwaniu wysokich plonów (rys. 3).



Rys. 3. Regresja efektów interakcyjnych mieszańca B5 × R5 względem środowiska
Fig. 3. Regression of interaction of B5 × R5 hybrid with regard to environment

Warto zauważyć, że wśród wymienionych w tabeli 2 mieszańców, plon jedynie dwóch (B8 × R3) i B2 × R8) wynoszący odpowiednio 6,314 i 7,116) okazał się istotnie wyższy od średniego plonu wzorca „lepszego”, czyli plonu odmiany Chagall wynoszącego 6,143.

Ocena zdolności kombinacyjnej (efektów głównych) linii MS i restorerów na podstawie plonu mieszańców otrzymanych w wyniku niekompletnego schematu krzyżowania linia × tester

W tabeli 1 dokonano zestawienia wykonanych krzyżowań 21 linii męskosterylnych z 10 restorerami. Podano także w niej liczby mieszańców uzyskanych przez poszczególne linie MS oraz liczby mieszańców otrzymanych przez restorery. Obserwacje plonu mieszańców danej linii MS mogą być wykorzystane do oceny jej efektu głównego, czyli oceny ogólnej zdolności kombinacyjnej tej linii. Oceny efektów zdolności kombinacyjnej wszystkich linii matecznych podane są w tabeli 3. Podane są także wartości statystyki F dla efektów głównych linii z zaznaczeniem ich istotności oraz wartości statystyki F dla interakcji efektów głównych linii z miejscowościami. Wśród linii MS o wysokich

dotadnich i istotnych wartościach efektów głównych wyróżnić można przede wszystkim linie B2, B5, B10, i B14. Mimo, iż oceny dwu ostatnich są wyraźnie niższe od dwu pierwszych linii to dzięki ich niewielkiej interakcji ze środowiskiem są one również istotne. Natomiast linia B21 odznaczająca się najwyższą oceną efektów głównych spośród wszystkich linii MS, z uwagi na jej istotną interakcję z miejscowościami nie została uznana jako linia posiadająca istotną ocenę efektu głównego. Dodatni współczynnik regresji posiadają także linie B2 i B5 o najwyższych średnich efektach zdolności kombinacyjnej. Oceny efektów głównych tych linii są wyższe w miejscowościach STH i BOH, czyli w środowiskach bardziej sprzyjających uzyskiwaniu wysokich plonów.

Tabela 3

Testowanie zdolności kombinacyjnej (efektu głównego) linii MS i ich interakcji ze środowiskami
Testing the combining ability (main effect) of MS lines and their interaction with environments

Linia MS MS line	Ocena efektu głównego Estimate of main effect	Statystyka F F- statistic for		Współczynnik Coefficient of	
		efektu głównego main effect	interakcji interaction	regresji regression	determinacji (%) determination (%)
B1	-0,188	12,26**	0,22	-0,221	60,30
B2	0,422	9,84*	1,55	0,468	43,14
B3	-0,079	4,95	0,08	-0,130	47,64
B4	-0,127	0,39	0,95	-0,454	17,97
B5	0,471	25,40**	0,82	0,342	47,69
B6	0,151	1,92	0,49	-0,012	0,05
B7	-0,089	2,44	0,25	-0,270	79,78
B8	0,004	0,00	0,68	-0,082	3,30
B9	-0,095	0,42	1,57	-0,695	78,59
B10	0,274	9,40*	0,50	0,371	61,16
B11	0,107	1,54	0,64	-0,311	45,80
B12	0,007	0,00	0,30	-0,688	65,87
B13	-0,132	4,95	0,16	0,219	48,73
B14	0,180	6,13*	0,11	0,034	0,77
B15	-0,233	4,93	0,60	-0,152	7,49
B16	0,010	0,00	0,89	1,004**	92,70*
B17	-0,508	10,03*	0,59	-0,720	71,55
B18	-0,184	0,74	1,06	0,529	21,69
B19	-0,507	6,28*	0,48	-0,990*	85,04
B20	-0,190	2,35	0,36	0,353	28,87
B21	0,521	3,04	2,18*	1,381	75,78

* Istotność na poziomie $p = 0,10$

* Significance at the level 0.10

** Istotność na poziomie $p = 0,05$

** Significance at the level 0.05

Średnie oceny efektów głównych restorerów wyznaczone na podstawie plonu mieszańców każdego z nich (liczba obserwacji dla restorerów, poza czterema (R9, R10, R6 i R7) była wysoka i wynosiła od 10 do 13) zostały podane w tabeli 4, natomiast oceny efektów głównych i proste regresji efektów interakcyjnych restorerów względem miejscowości przedstawiono na rysunku 4.

Tabela 4

Testowanie zdolności kombinacyjnej (efektu głównego) restorerów i ich interakcji ze środowiskami
Testing the combining ability (main effect) of restorers and their interaction with environments

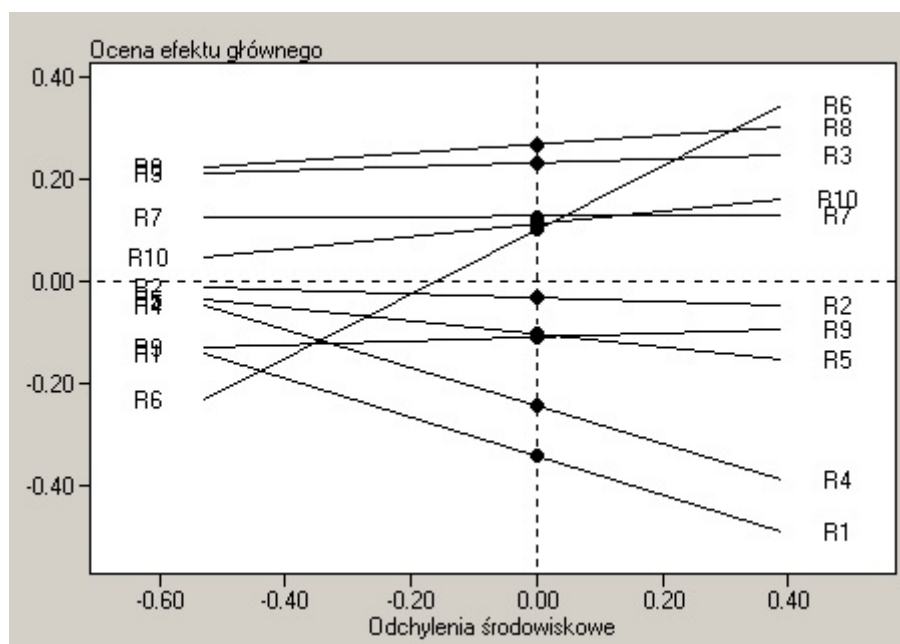
Restorer Restorer	Ocena efektu głównego Estimate of main effect	Statystyka F F- statistic for		Współczynnik Coefficient of	
		efektu głównego main effect	interakcji interaction	regresji regression	determinacji (%) determination (%)
R1	-0,341	6,22**	2,68**	-0,390	32,22
R2	-0,038	0,31	0,69	-0,051	2,25
R3	0,237	9,15*	0,67	0,052	1,72
R4	-0,261	9,78*	0,90	-0,374	79,91
R5	-0,112	11,51**	0,14	-0,124	55,82
R6	0,095	0,64	0,97	0,574**	92,58
R7	0,122	3,80	0,39	0,006	0,04
R8	0,255	22,78**	0,43	0,072	7,23
R9	-0,119	0,57	1,48	0,061	0,60
R10	0,116	0,55	1,56	0,081	1,08

* Istotność na poziomie $p = 0,10$

* Significance at the level 0.10

** Istotność na poziomie $p = 0,05$

** Significance at the level 0.05

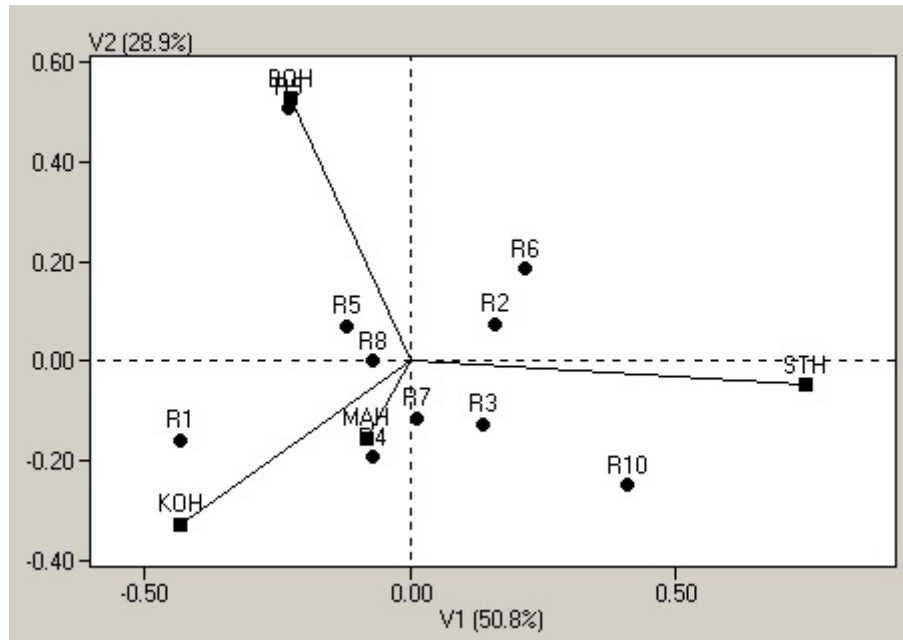


Rys. 4. Regresja efektów interakcji zdolności kombinacyjnych restorerów względem środowiska
Fig. 4. Regression of interaction effects of restorers combining ability with regard to environment

Zwracają uwagę przede wszystkim restorerzy R3 i R8 o istotnych efektach zdolności kombinacyjnej i niskiej nieistotnej interakcji ze środowiskiem. Dodatni efekt główny posiadają także restorerzy R7 i R10. Restorer R6 o dodatniej średniej ocenie efektu

głównego i wysokim dodatnim współczynnikiem regresji wskazuje w jakich lokalizacjach jego mieszańce uzyskały najwyższe plony.

Badanie struktury interakcji restorerów z miejscowościami może być dodatkowo zaprezentowane poprzez skonfrontowanie graficznego przedstawienia miejscowości z graficznym przedstawieniem restorerów, dokonane za pomocą biplotu (rys. 5).



Rys. 5. Prezentacja środowisk i efektów zdolności kombinacyjnych restorerów w układzie składowych głównych

Fig. 5. Simultaneous presentation of environments and combining ability effects of restorers in the principal component space

Rzutuując punkty reprezentujące restorery na półproste wyznaczone przez wektory reprezentujące środowiska można dla każdego z tych ostatnich znaleźć restorery wykazujące najwyższą z nimi interakcję dodatnią. Dotyczy to w szczególności środowisk STH, BOH i KOH, które mają największy udział w interakcji restorery \times środowiska. Ze środowiskiem STH o najwyższej interakcji GE koresponduje wyraźnie restorer R10, a także wyróżnione wcześniej restorery R6 i R3 oraz restorer R2. Ze środowiskiem BOH koresponduje najbardziej restorer R9 i w mniejszym stopniu restorery R5 i R8. Natomiast ze środowiskiem KOH koresponduje wyraźnie restorer R1.

DYSKUSJA I PODSUMOWANIE

Wyniki obliczeń serii doświadczeń jednopowtórzeniowych z mieszańcami i wzorcami rzepaku ozimego oparte na ogólnej teorii układów o blokach niekompletnych i przeprowadzone za pomocą programu komputerowego SERGEN mogą dostarczyć

wielu informacji, dotyczących zarówno mieszańców jak i ich form rodzicielskich, czyli linii męskosterylnych i restorerów. Pozwalają w szczególności wyróżnić linie mateczne MS, których ocena efektów zdolności kombinacyjnej była dodatnia i istotna, co wskazuje na predyspozycje tych linii w uzyskiwaniu mieszańców o wyższej plenności. Równie ważne jest wyodrębnienie restorerów, których mieszańce otrzymane w wyniku skrzyżowania z liniami MS odznaczały się wysokim plonem i dużą stabilnością. Można więc z pewnym przekonaniem mieć nadzieję, że rezultaty analiz statystycznych dotyczące oceny zdolności kombinacyjnych form rodzicielskich, otrzymane, na podstawie oceny mieszańców uzyskanych w wyniku niekompletnego schematu krzyżowania linia \times tester, mogą być pomocne w dalszych pracach hodowlanych.

LITERATURA

- Bujak H., Tratwal G. 2011. Ocena stabilności plonowania odmian pszenicy ozimej na podstawie doświadczeń porejestrowych w Polsce. *Biul. IHAR* 260/261: 69 — 80.
- Caliński T., Czajka S., Kaczmarek Z. 1980. Analiza jednorocznej serii ortogonalnej doświadczeń odmianowych ze szczególnym uwzględnieniem interakcji odmianowo-środowiskowej. I. Analiza ogólna. *Biul. Oceny Odmian* 12: 67 — 81.
- Caliński T., Czajka S., Kaczmarek Z. 1983. Analiza jednorocznej serii ortogonalnej doświadczeń odmianowych ze szczególnym uwzględnieniem interakcji odmianowo-środowiskowej. I. Analiza szczegółowa. *Biul. Oceny Odmian* 12: 67 — 81.
- Caliński T., Czajka S., Denis J. B., Kaczmarek Z. 1992. EM and ALS algorithms applied to estimation of missing in series of variety trials. *Biul. Oceny Odmian* 24 — 25: 7 — 31.
- Caliński T., Czajka S., Kaczmarek Z., Krajewski P., Siatkowski I. 1998. Statistical methodology and usage of the program SERGEN (Version 3 for Windows 95) — Analysis of series of plant genetic and breeding experiments. IGR PAN, Poznań: 1 — 42.
- Ceranka B., Chudzik H. 1977. Doświadczenia jednopowtórzeniowe z wzorcem. VII Colloquium Metodologiczne z Agrobiometrii. PAN Warszawa: 318 — 331.
- Iwańska M., Mądry W., Drzazga T., Rajfura A. 2008. Zastosowanie miar statystycznych do oceny stopnia szerokiej adaptacji odmian pszenicy ozimej na podstawie serii doświadczeń przedrejestrowych. *Biul. IHAR* 250: 67 — 86.
- Kaczmarek Z. 1986. Analiza doświadczeń wielokrotnych zakładanych w blokach niekompletnych. *Roczniki AR w Poznaniu, Rozprawy Naukowe*, zesz. 185.
- Kaczmarek Z., Krajewski P. 1996. Multivariate evaluation of parental forms on the basis of incomplete crossing systems. *J. Genet. Breed.* 50: 74 — 81.
- Krajewski P., Kaczmarek Z., Czajka S. 2006. Plonowanie i analiza statystyczna doświadczeń hodowlanych. EKSPLAN, IGR PAN, Poznań.
- Mądry W., Rajfura A. 2003. Analiza statystyczna miar stabilności na podstawie danych w klasyfikacji genotypy \times środowiska. Część I. Model mieszany Scheffego-Calińskiego i modle regresji bocznej. *Coll. Biom.* 33: 181 — 206.
- Mądry W., Talbot M., Ukalski K., Drzazga T., Iwańska M. 2006. Podstawy teoretyczne znaczenia efektów genotypowych i interakcyjnych w hodowli roślin na przykładzie pszenicy ozimej. *Biul. IHAR* 240/241: 13 — 21.
- Mądry W., Mańkowski D. R., Kaczmarek Z., Krajewski P., Studnicki M. 2010. Metody statystyczne oparte na modelach liniowych w zastosowaniach do doświadczalnictwa, genetyki i hodowli roślin. *Monografie i Rozprawy Naukowe IHAR* 34/2010: 13 — 163.
- Mądry W., Iwańska M. 2011 a. Ilościowe miary szerokiej adaptacji odmian ich zastosowanie w doświadczeniach wstępnych z pszenicą ozimą. *Biul. IHAR* 260: 81 — 95.
- Mądry W., Iwańska M. 2011 b. Przydatność metod oraz miar statystycznych do oceny stabilności i adaptacji odmian: przegląd literatury. *Biul. IHAR* 260: 193 — 218.

Woś H., Adamska E., Kaczmarek Z. 2010. Metody statystyczne dla oceny mieszańców i ich linii rodzicielskich na podstawie serii doświadczeń jednopowtórzeniowych z wzorcami. *Rośliny Oleiste — Oilseed Crops* XXXI: 243 — 256.

