

IRENA KOLASIŃSKA¹
JACEK JAGODZIŃSKI¹
WALDEMAR BRUKWIŃSKI²
KATARZYNA BANASZAK²
BARBARA KOZBER²
RENATA KRYSZTOFIK²
MICHAŁ MATERKA³

¹ Zakład Genetyki i Hodowli Roślin IHAR — PIB w Radzikowie

² Danko Hodowla Roślin Sp. Z o.o.

³ Poznańska Hodowla Roślin Sp. z o.o.

Wartościowe komponenty rodzicielskie dla hodowli mieszańców żyta

Valuable parental components for creation of rye hybrids

Badano zdolność kombinacyjną zróżnicowanych komponentów matecznych oraz komponentów ojcowskich wytworzonych w programach hodowli mieszańców żyta. Komponenty rodzicielskie tworzonych mieszańców żyta zostały wyhodowane w firmach hodowlanych: Danko Hodowla Roślin Sp. z o.o., Poznańska Hodowla Roślin Sp. z o.o. i Hodowla Roślin Smolice Sp. z o.o. Krzyżowanie 29 męskosterylnych mieszańców pojedynczych (CMS-SC) z trzema populacjami przywracającymi płodność (Syn-R) wykonano w układzie czynnikowym na polach przestrzennie izolowanych. W okresie wegetacji 2012/2013 oceniono ogółem 87 mieszańców F₁ typu CMS-SC×Syn-R w trzech doświadczeniach polowych, które zostały założone metodą bloków niekompletnych w 3 miejscowościach i w 3 powtórzeniach. Wielkość poletka wynosiła 5 m², a gęstość siewu 250 kiełkujących ziaren/m². Analizowano następujące cechy: plon ziarna, masa 1000 ziaren, wysokość roślin, termin kłoszenia, intensywność pylenia, porażenie rdzą brunatną i mączniakiem, stopień wylegania. Obliczenia statystyczne wykonano za pomocą programów komputerowych SERGEN i EKSPLAN. Przeprowadzono analizę wariancji zdolności kombinacyjnej, oszacowano efekty ogólnej zdolności kombinacyjnej rodziców (GCA) i swoistej zdolności kombinacyjnej par rodzicielskich (SCA) oraz ich współdziałanie ze środowiskiem. Analiza wariancji wykazała istotne zróżnicowanie mieszańców pod względem wszystkich cech agronomicznych. Stwierdzono istotną zmienność ogólnej zdolności kombinacyjnej komponentów matecznych i ojcowskich dla większości cech. Zmienność swoistej zdolności kombinacyjnej okazała się istotna głównie dla wysokości roślin, intensywności pylenia i masy 1000 ziaren. Oszacowano wielkość i istotność średnich efektów GCA komponentów matecznych i ojcowskich. Ponadto testowano istotność interakcji GCA komponentów matecznych i ojcowskich ze środowiskiem. Wyodrębniono komponenty mateczne i ojcowskie o

wysokiej i stabilnej ogólnej zdolności kombinacyjnej plonu i innych cech agronomicznych, które mogą być wykorzystane w programach hodowli odmian mieszańcowych żyta.

Słowa kluczowe: hodowla odmian mieszańcowych, *Secale cereale* L., zdolność kombinacyjna, żyto

General combining ability (GCA) of various rye female components (CMS-SC) and male components (Syn-R) and specific combining ability (SCA) of parental pairs were determined. Parental components were created in three plant breeding companies: Danko Plant Breeding Ltd., Poznan Plant Breeding Ltd. and Smolice Plant Breeding Ltd. 87 F₁ rye hybrids (CMS-SC×Syn-R) were produced by crossing 29 female components (single male sterile hybrids) to three male components (restorer synthetics) in spatially isolated fields. In the season 2012/2013, rye hybrids were evaluated in three field trials (3 locations, 3 replicates, plot size — 5 m², sowing density — 250 viable kernels/m²). The following traits were assessed: grain yield, 1000 grain weight, plant height, heading date, pollen shedding, resistance to brown rust and lodging. Statistical analyses were made with the SERGEN and the EKSPLAN computer packages. Significant variation was found among experimental hybrids for all traits studied. General combining ability of both females and males was significant for majority traits in the experiments. Significant specific combining ability was detected mainly for the plant height, pollen shedding and 1000 grain weight. The GCA effects of female and male components for agronomic traits were estimated. Moreover, GCA effects × environment interactions were tested. Several female and male components with significant favourable and stable GCA effects for grain yield and other agronomic traits were selected for utilization in rye hybrid breeding.

Key words: combining ability, hybrid breeding, rye, *Secale cereale* L.

WSTĘP

Żyto ozime jest i pozostanie ważną gospodarczo rośliną zbożową w Polsce, ponieważ charakteryzuje się dobrym przystosowaniem do warunków glebowo-klimatycznych oraz szeregiem korzystnych cech agronomicznych i możliwością różnorodnego wykorzystania ziarna. W 2014 roku powierzchnia uprawy żyta ozimego wynosiła 886 tysięcy hektarów (Rocznik Statystyczny, 2015). W ostatnich latach rośnie zainteresowanie hodowlą i uprawą odmian mieszańcowych żyta. Obecnie w Krajowym Rejestrze znajduje się 23 odmian tego typu, które stanowią już 50% wszystkich odmian przeznaczonych na zbiór ziarna (http://www.coboru.pl/Polska/Rejestr/ListyOdmian/lista_rolnicze_2015.pdf). Niestety tylko trzy z nich to odmiany krajowe: Stach, Gradan, Tur. Wyniki badań wartości gospodarczej (WGO) w ramach systemu porejestrowego doświadczalnictwa odmianowego i rolniczego (PDOiR) wykazały, że odmiany mieszańcowe w latach 2011–2013 osiągnęły plon ziarna średnio o 18%, a w niektórych latach o ponad 20% wyższy w porównaniu z wzorcowymi odmianami populacyjnymi (COBORU, 2014). Metoda hodowli odmian mieszańcowych żyta jest jednak bardzo złożona, kosztowna, pracochłonna i czasochłonna. W programie hodowli istnieje konieczność wyprowadzenia dużej liczby linii wsobnych i ich męskosterylnych analogów, a następnie tworzenia licznych komponentów matecznych oraz wyprowadzania linii przywracających płodność i tworzenia licznych komponentów ojcowskich. Następnym etapem jest tworzenie dużej liczby kombinacji mieszańcowych w wyniku krzyżowania komponentów matecznych z ojcowskimi oraz ich ocena w doświadczeniach prowadzonych w zróżnicowanych warunkach środowiskach. Zastosowanie skutecznych metod identyfikacji wartościowych komponentów

tów i kombinacji rodzicielskich pozwala na zwiększenie efektywności i obniżenie kosztów programu hodowlanego. Tradycyjną metodą jest ocena zdolności kombinacyjnej, umożliwiająca identyfikację genotypów wyróżniających się zdolnością przekazywania korzystnych cech potomstwu. Znajomość zdolności kombinacyjnej dużej liczby genotypów żyta wytworzonych w puli matecznej i ojcowskiej umożliwia przewidywanie wartości ich potomstwa oraz wytworzenie kombinacji mieszańcowych o pożądanych cechach agronomicznych. Ponadto udział ogólnej zdolności kombinacyjnej (GCA) form rodzicielskich i swoistej zdolności kombinacyjnej (SCA) par rodzicielskich w zmienności genetycznej mieszańców wskazuje na sposób genetycznego uwarunkowania cech ilościowych, co z kolei pozwala na doskonalenie metody hodowli heterozyznej. W literaturze nie ma jednoznacznych poglądów o udziale ogólnej i swoistej zdolności kombinacyjnej w zmienności genetycznej mieszańców. Opracowania dotyczące zdolności kombinacyjnej genotypów żyta posiadających sterylizującą cytoplazmę Pampa są bardzo potrzebne dla efektywnej realizacji programów hodowli odmian mieszańcowych żyta.

Celem badań było poznanie zdolności kombinacyjnej nowo wytworzonych komponentów matecznych (CMS-SC) oraz wybranych komponentów ojcowskich (Syn-R) w zróżnicowanych warunkach środowiska.

MATERIAŁ I METODY

Materiał badań stanowiło 87 mieszańców F_1 uzyskanych w wyniku krzyżowania 29 zróżnicowanych komponentów matecznych z trzema wybranymi populacjami ojcowskimi. Komponenty rodzicielskie (mateczne i ojcowskie) tworzących mieszańców żyta pochodzą z trzech firm hodowlanych: Danko Hodowla Roślin Sp. z o.o., Poznańska Hodowla Roślin Sp. z o.o. i Hodowla Roślin Smolice Sp. z o.o. Komponenty mateczne, czyli męskosterylne mieszańce pojedyncze (CMS-SC), wytworzono w wyniku krzyżowania linii męskosterylnych w cytoplazmie Pampa (linie P) z liniami dopełniającymi sterylność (linie N). Komponentami ojcowskimi były trzy wybrane populacje syntetyczne przywracające płodność (Syn-R), uzyskane poprzez krzyżowanie linii restorerów: SR 20, WM 34R i 25R. W sezonie wegetacyjnym 2011/2012 wytworzono trzy grupy mieszańców (D01_13, D02_13 i D03_13) w wyniku krzyżowania 29 komponentów matecznych z trzema populacjami ojcowskimi na polach przestrzennie izolowanych, zlokalizowanych w tych trzech firmach hodowlanych. Pierwszą grupę (D01_13) stanowiło 33 mieszańców pochodzących z krzyżowania 11 komponentów matecznych (WSIN_13, WCSIN_338, WNSIN_1051, WCSIN_340, WNSIN_1050, WNSIN_1047, LSIN_57, WNSIN_1053, LSIN_64, LSIN_63, LSIN_58) z trzema populacjami ojcowskimi. Drugą grupę mieszańców (D02_13) uzyskano poprzez krzyżowanie dalszych 11 komponentów matecznych (CSIN_309, CSIN_314, WCSIN_264, SIN_55, SIN_58, SIN_54, SIN_57, SIN_56, SIN_59, NSIN_1018, NSIN_1007) z tymi samymi populacjami ojcowskimi. Trzecią grupę mieszańców (D03_13) wytworzono poprzez krzyżowanie dalszych 7 komponentów matecznych (WSIN_45, WSIN_46, WSIN_50, WSIN_51, WSIN_52, WSIN_48, WSIN_49) z wymienionymi populacjami ojcowskimi.

W sezonie wegetacyjnym 2012/2013 przeprowadzono badanie wartości cech mieszańców w trzech doświadczeniach polowych (D01_13, D02_13 i D03_13) zlokalizowanych w trzech firmach hodowlanych. W doświadczeniach tych oceniano ogółem 102 mieszańce pok. F₁, w tym 87 mieszańców eksperymentalnych pochodzących z krzyżowania 29 komponentów matecznych (CMS-SC) z trzema populacjami ojcowskimi i 15 dodatkowych mieszańców. I tak w doświadczeniach D01_13 i D02_13 przeprowadzonych w Nagradowicach, Radzikowie i Choryni oceniono ogółem 36 mieszańców, w tym 33 mieszańce grupy pierwszej i drugiej z trzema wzorcami. W doświadczeniu D03_13 oceniono ogółem 30 mieszańców, w tym 21 mieszańców grupy trzeciej, trzy wzorce i sześć obiektów dodatkowych. Wszystkie doświadczenia polowe zostały założone metodą bloków niekompletnych w trzech powtórzeniach. Wielkość poletka wynosiła 5m², a gęstość siewu 250 kiełkujących ziaren/m². Oceniono następujące cechy: plon ziarna, masa 1000 ziaren, wysokość roślin, wczesność kłoszenia mierzona liczbą dni od 1.05 do początku kłoszenia roślin, intensywność pylenia, porażenie mączniakiem, porażenie rdzą brunatną i wyleganie. Trzy ostatnie cechy oznaczono w skali 1–9°, przy czym 9° — najlepszy. Wszystkie cechy oznaczono w trzech powtórzeniach każdej miejscowości prowadzonych doświadczeń. Obliczenia statystyczne, wykonane za pomocą programów komputerowych Sergen i Eksplan (Caliński i in., 2003; Krajewski i in., 2006; Mądry i in., 2010), obejmowały: analizę wariancji, analizę zdolności kombinacyjnej, oszacowanie efektów ogólnej zdolności kombinacyjnej rodziców (GCA), oszacowanie efektów swoistej zdolności kombinacyjnej par rodzicielskich (SCA) oraz określenie wielkości i istotności interakcji czynników głównych ze środowiskiem.

WYNIKI

Analiza wariancji wykazała istotną zmienność środowiska oraz istotną zmienność mieszańców pod względem wszystkich cech agronomicznych w każdym doświadczeniu (tab. 1, 2, 3). Stwierdzono istotną interakcję mieszańców ze środowiskiem dla większości cech, a szczególnie dla wysokości roślin i porażenia rdzą brunatną. Analiza wariancji zdolności kombinacyjnej wykazała istotne zróżnicowanie komponentów matecznych pod względem większości cech agronomicznych (tab. 1, 2, 3). We wszystkich grupach komponentów matecznych wykazano istotną zmienność ogólnej zdolności kombinacyjnej dla cech: plon ziarna, wysokość roślin, masa 1000 ziaren i pylenie. Ponadto w dwóch grupach komponentów matecznych stwierdzono istotną zmienność GCA dla wczesności kłoszenia oraz porażenia mączniakiem i rdzą brunatną. Komponenty mateczne żadnej grupy nie wykazały istotnego zróżnicowania pod względem GCA wylegania. Wyniki wszystkich trzech doświadczeń wskazują, że wybrane komponenty ojcowskie istotnie różniły się ogólną zdolnością kombinacyjną dla wszystkich cech z wyjątkiem porażenia mączniakiem i rdzą brunatną. Zmienność swoistej zdolności kombinacyjnej (SCA) najczęściej była nieistotna wśród ocenianych par rodzicielskich (tab. 1, 2, 3). Istotną zmienność SCA wśród dwóch grup par rodzicielskich stwierdzono pod względem takich cech jak: wysokość roślin, pylenie i masa 1000 ziaren.

Tabela 1

Średnie kwadraty z analizy wariancji mieszańców żyta ocenianych w doświadczeniu D01_13
Mean squares from the analysis of variance of rye hybrids evaluated in the D01_13 experiment

Źródło zmienności Source of variation	St. sw. Df	Plon Yield	Kłoszenie Heading	Pylenie Pollen shedding	Wysokość Height	Mączniak Powdery mildew	Rdza brunatna Brown rust	Wyleganie Lodging	MTZ TGW
Środowiska /E/ Environments /E/	2	19,6**	181,6**	4,67**	11,2**	99,4**	0,56*	105,5**	65,4**
Mieszańce /H/ Hybrids /H/	35	0,37**	0,85**	1,06**	0,34**	0,89**	0,32**	4,34**	5,29**
H × E	70	0,06**	0,20	0,27**	0,06**	0,42**	0,29**	1,03	0,47
GCA matek GCA of females	10	0,10**	0,44**	0,46**	0,10**	0,18	0,11	0,83	2,50**
GCA ojców GCA of males	2	0,14*	0,85**	0,41*	0,29**	0,23	0,10	4,68**	2,49**
SCA	20	0,04	0,15	0,52**	0,07*	0,33	0,18	1,01	0,85
GCA matek × E GCA of females × E	20	0,02**	0,09*	0,12**	0,03**	0,14**	0,04	0,40	0,17
GCA ojców × E GCA of males × E	4	0,03**	0,20	0,03*	0,01	0,04	0,01	0,03	0,05
SCA × E	40	0,03	0,14	0,23*	0,06	0,35*	0,40**	0,98	0,47
Błąd Error	216	0,03	0,17	0,10	0,04	0,21	0,14	0,79	0,57

*, ** Istotne odpowiednio na poziomie $\alpha = 0,05$ i $\alpha = 0,01$

*, ** Significant at the 0.05 and 0.01 probability levels, respectively

Tabela 2

Średnie kwadraty z analizy wariancji mieszańców żyta ocenianych w doświadczeniu D02_13
Mean squares from the analysis of variance of rye hybrids evaluated in the D02_13 experiment

Źródło zmienności Source of variation	St. sw. Df	Plon Yield	Kłoszenie Heading	Pylenie Pollen shedding	Wysokość Height	Mączniak Powdery mildew	Rdza brunatna Brown rust	Wyleganie Lodging	MTZ TGW
Środowiska /E/ Environments /E/	2	16,5**	177,7**	16,4**	7,16**	75,8**	1,58**	64,6**	112,8**
Mieszańce /H/ Hybrids /H/	35	0,33**	1,25**	0,85**	0,84**	1,13**	1,54**	6,31**	8,43**
H × E	70	0,03	0,21**	0,21**	0,07**	0,57**	0,73**	1,17**	1,19
GCA matek GCA of females	10	0,17**	0,59**	0,33**	0,32**	0,85**	0,98**	0,66	3,81**
GCA ojców GCA of males	2	0,13*	0,80**	0,70**	0,77**	0,26	0,61	7,83**	3,75*
SCA	20	0,08**	0,28**	0,10	0,04	0,23	0,38*	0,90	2,17**
GCA matek × E GCA of females × E	20	0,01	0,08**	0,09**	0,02	0,42**	0,41**	0,20	0,24
GCA ojców × E GCA of males × E	4	0,01	0,03	0,09**	0,04**	0,03	0,07*	0,29**	0,28*
SCA × E	40	0,04	0,18*	0,13	0,04	0,30*	0,55**	1,19**	1,17
Błąd Error	216	0,03	0,13	0,11	0,04	0,20	0,21	0,58	0,85

*, ** Istotne odpowiednio na poziomie $\alpha = 0,05$ i $\alpha = 0,01$

*, ** Significant at the 0.05 and 0.01 probability levels, respectively

Tabela 3

Średnie kwadraty z analizy wariancji mieszańców żyta ocenianych w doświadczeniu D03_13
Mean squares from the analysis of variance of rye hybrids evaluated in the D03_13 experiment

Źródło zmienności Source of variation	St. sw. Df	Plon Yield	Kłoszenie Heading	Pylenie Pollen shedding	Wysokość Height	Mączniak Powdery mildew	Rdza brunatna Brown rust	Wyleganie Lodging	MTZ TGW
Środowiska /E/ Environments /E/	2	19,11**	195,8**	13,9**	5,4**	68,1**	115,7**	142,6**	425,0**
Mieszańce /H/ Hybrids /H/	29	0,27**	0,95**	0,92**	0,54**	0,89**	1,27**	3,55**	10,43**
H × E	28	0,05**	0,22**	0,16	0,05*	0,26	0,23*	1,27**	1,95**
GCA matek GCA of females	6	0,18**	0,26	0,25*	0,21**	0,79*	1,59**	0,74	7,29**
GCA ojców GCA of males	2	0,10*	0,86**	0,34*	0,44**	0,24	0,06	2,02**	3,16**
SCA	12	0,04	0,17	0,33**	0,13**	0,43	0,17	0,61	1,81**
GCA matek × E GCA of females × E	12	0,02	0,11*	0,03	0,01	0,10	0,11	0,23	0,86**
GCA ojców × E GCA of males × E	4	0,01	0,07**	0,00	0,01	0,03	0,02	0,87	3,16**
SCA × E	24	0,04	0,18	0,14	0,05	0,26	0,26	0,34	1,53**
Błąd Error	154	0,03	0,12	0,11	0,03	0,24	0,13	0,55	0,20

*, ** Istotne odpowiednio na poziomie $\alpha = 0,05$ i $\alpha = 0,01$

*, ** Significant at the 0.05 and 0.01 probability levels, respectively

Istotną zmienność SCA dla plonu, wczesności kłoszenia i porażenia rdzą wykazano tylko w jednej grupie par rodzicielskich. Natomiast zmienność SCA dla porażenia mączniakiem i wylegania okazała się nieistotna we wszystkich grupach par rodzicielskich. Istotną interakcję GCA matek ze środowiskiem najczęściej stwierdzono w doświadczeniach D01_13 i D02_13 dla cech: wczesność kłoszenia, intensywność pylenia i porażenie mączniakiem. Interakcja GCA ojców ze środowiskiem odegrała niewielką rolę, gdyż w dwóch doświadczeniach okazała się istotna tylko dla pylenia i masy 1000 ziaren. Interakcja SCA ze środowiskiem najczęściej była nieistotna.

Analiza zdolności kombinacyjnej umożliwiła szczegółowe oszacowanie wartości i istotności efektów ogólnej zdolności kombinacyjnej (GCA) 29 komponentów matecznych i trzech komponentów ojcowskich oraz swoistej zdolności kombinacyjnej (SCA) 87 par rodzicielskich. Spośród komponentów matecznych pierwszej grupy wyróżnił się WSIN 13, który charakteryzuje się wysoką zdolnością kombinacyjną plonu ziarna (tab. 4). Średni efekt GCA wynosił 7,11 dt/ha i był istotnie różny od zera. Pozostałe cechy jego półrodzeństwa były zbliżone do średniej ogólnej kombinacji w wykonanym układzie krzyżowania, na co wskazują efekty GCA nieistotnie różne od zera. Okazało się, że komponenty mateczne tej grupy miały zbliżoną zdolność kombinacyjną (brak istotnie różnych od zera efektów GCA) dla takich cech jak: wysokość, porażenie mączniakiem, wyleganie. Stwierdzono istotne interakcje efektów GCA niektórych matek ze środowiskiem głównie dla wylegania i plonu ziarna. W doświadczeniu o największej precyzji, przeprowadzonym w Radzikowie, potwierdzono zdolność genotypu WSIN 13

do tworzenia wysokoplennych mieszańców o zwiększonej odporności na rdzę, wyleganie i masie 1000 ziaren (dane nie przedstawione w pracy).

Tabela 4

Średnie efekty GCA komponentów matecznych pierwszej grupy (D01_13)
Mean GCA effects of female components of the D01_13 group

Komponent mateczny Female component	Plon Yield	Kłoszenie Heading	Pylenie Pollen shedding	Wysokość Height	Mączniak Powdery mildew	Rdza brunatna Brown rust	Wyleganie Lodging	MTZ TGW
WSIN_13	7,11*	-0,89	-1,40	-1,40	-0,06	0,07	0,66	1,53
WCSIN_338	3,77	0,27	1,59	1,59	0,50	0,15	0,51	1,65
WNSIN_1051	1,16	-0,17	0,19	0,19	-0,15	-0,001	0,03	-0,41
WCSIN_340	1,00	0,16*	3,20	3,20	-0,31	0,44	0,59	1,59**
WNSIN_1050	0,54	-0,17	1,34	1,34	0,10	0,11	0,36	0,58
WNSIN_1047	-0,03	-0,37	-2,88	-2,88	-0,08	0,01	-0,23	-0,41
LSIN_57	-1,14	0,28	0,43	0,43	0,38	0,04	-0,37	-0,65
WNSIN_1053	-1,22	-0,31	-2,21	-2,21	-0,21	-0,05	0,46	-1,40*
LSIN_64	-1,93	0,81	0,83	0,83	0,03	-0,27**	-0,20	-0,62
LSIN_63	-3,01	0,69	-0,32	-0,32	-0,02	-0,22	-0,53	-0,66
LSIN_58	-6,25*	-0,29	-0,76	-0,76	-0,17	-0,29	-1,28	-1,21**

*, ** Istotnie różne od zera odpowiednio na poziomie $\alpha = 0,05$ i $0,01$

*, ** Significantly different from zero at the 0.05 and 0.01 levels of significance, respectively

Pogrubiona czcionka — istotna interakcja GCA ze środowiskiem

In bold — significant GCA \times environment interaction

Tabela 5

Średnie efekty GCA komponentów matecznych drugiej grupy (D02_13)
Mean GCA effects of female components of the D02_13 group

Komponent mateczny Female component	Plon Yield	Kłoszenie Heading	Pylenie Pollen shedding	Wysokość Height	Mączniak Powdery mildew	Rdza brunatna Brown rust	Wyleganie Lodging	MTZ TGW
CSIN_314	10,73*	-0,14	3,50	3,50	-0,22	1,74	0,85	3,77
CSIN_309	4,67	-0,16*	0,97	0,97	0,05	-0,21	0,31	0,17
WCSIN_264	4,10*	-0,46	0,24	0,24	0,14	-0,84	0,11	-0,66
SIN_55	1,69	0,47*	-1,58	-1,58	0,51	0,03	0,00	-0,29
SIN_58	-0,06	0,36	2,82*	2,82*	-0,06	-0,97	-0,08	0,99
SIN_54	-0,74	0,07	-1,18*	-1,18*	0,06	0,33	0,26	-0,67
SIN_57	-2,10*	0,59	3,97*	3,97*	0,81	0,21	-0,52*	0,08
SIN_56	-2,68	-0,14	2,83	2,83	0,65	0,08	-0,58*	0,01
SIN_59	-2,73	-0,06	-5,08*	-5,08*	-0,78	0,01	0,28	-1,15
NSIN_1018	-6,06*	-0,62	-2,61**	-2,61**	-0,31	-0,02	-0,76	-1,31**
NSIN_1007	-6,82*	0,10	-3,88**	-3,88**	-0,86	-0,37	0,12	-0,95

*, ** Istotnie różne od zera odpowiednio na poziomie $\alpha = 0,05$ i $0,01$

*, ** Significantly different from zero at the 0.05 and 0.01 levels of significance, respectively

Pogrubiona czcionka — istotna interakcja GCA ze środowiskiem

In bold — significant GCA \times environment interaction

Na uwagę zasługuje także komponent WCSIN 340, który łączył istotne dodatnie efekty GCA pięciu cech (plon, odporność na mączniaka, rdzę, wyleganie i MTZ) z istotnymi niekorzystnymi efektami dla kłoszenia i wysokości. Komponenty mateczne drugiej grupy

(tab. 5) charakteryzowały się istotnymi efektami GCA ważnych cech agronomicznych. Dwa z nich — CSIN 314 i WCSIN 264 warunkowały wysoki potencjał plonowania swojego potomstwa, przy zachowaniu pozostałych cech na poziomie średniej wszystkich kombinacji w wykonanym układzie krzyżowania (efekty GCA nieistotnie różne od zera).

Średnie efekty GCA tych komponentów matecznych dla plonu ziarna wynosiły odpowiednio 10,73 dt/ha i 4,10 dt/ha. Ponadto okazało się, że cztery komponenty (SIN 59, SIN 54, NSIN 1007 i NSIN 1018) można wykorzystać w programie hodowlanym do tworzenia mieszańców o obniżonej wysokości roślin. Żaden komponent nie wykazał istotnie różnych od zera efektów GCA dla porażenia rdzą i mączniakiem, co często było wynikiem istotnej interakcji tych efektów GCA ze środowiskiem. Wielkość efektów GCA komponentów matecznych w doświadczeniu wykonanym w Radzikowie (dane nie przedstawione w pracy) potwierdza, że komponenty CSIN 314 i WCSIN 264 przekazują potomstwu wysoką zdolność plonowania. Ponadto wykazano, że potomstwo CSIN 314 charakteryzowało się wyższą odpornością na rdzę, wyleganie i masą 1000 ziaren niż średnia ogólna tego doświadczenia. Szczegółowa analiza efektów GCA w doświadczeniu przeprowadzonym w Radzikowie dodatkowo wskazuje, że komponent SIN 55 stwarza szanse poprawienia kilku cech potomstwa: plonu, pylenia, odporności na rdzę i mączniaka oraz obniżenia wysokości roślin. Analiza średnich efektów GCA komponentów matecznych trzeciej grupy (tab. 6) wykazała, że WSIN 45 tworzył mieszańce o wysokim potencjale plonowania i odporności na choroby (istotne dodatnie efekty GCA) nie powodując pogorszenia pozostałych cech agronomicznych (nieistotnie różne od zera efekty GCA). Jego mieszańce plonowały średnio o 8,92 dt/ha powyżej średniej wszystkich mieszańców w doświadczeniu D03_13.

Tabela 6

Średnie efekty GCA komponentów matecznych trzeciej grupy (D03_13)
Mean GCA effects of female components of the D03_13 group

Komponent mateczny Female component	Plon Yield	Kłósenie Heading	Pylenie Pollen shedding	Wysokość Height	Mączniak Powdery mildew	Rdza brunatna Brown rust	Wyleganie Lodging	MTZ TGW
WSIN_45	8,92*	-0,37	-1,44	-1,44	0,36**	1,04**	0,98	2,50
WSIN_46	4,02	-0,14*	1,62*	1,62*	0,78*	1,47	0,79	2,68
WSIN_50	-0,46	0,61*	4,58**	4,58**	-0,38	-0,64	-0,31	0,06
WSIN_51	-1,35	-0,19	-2,38*	-2,38*	-0,39	-0,49	-0,80	-1,18
WSIN_52	-1,82	-0,30*	-1,88	-1,88	0,19	-0,39	-0,61	-2,14**
WSIN_48	-3,95	0,13	-1,35	-1,35	-0,63	-0,40	0,27	-0,39
WSIN_49	-5,36	0,25	0,83	0,83	0,08	-0,59*	-0,32	-1,52

*, ** Istotnie różne od zera odpowiednio na poziomie $\alpha = 0,05$ i $0,01$

*, ** Significantly different from zero at the 0,05 and 0,01 levels of significance, respectively

Pogrubiona czcionka — istotna interakcja GCA ze środowiskiem

In bold — significant GCA \times environment interaction

Ponadto komponent mateczny WSIN 45 wpłynął korzystnie na masę 1000 ziaren, wysokość roślin i odporność na wyleganie potomstwa. Wysoką zdolność kombinacyjną tej matki potwierdzają także wielkości efektów GCA oszacowane w poszczególnych miejscowościach. Na uwagę zasługuje także komponent mateczny WSIN 46, który

w warunkach Radzikowa wykazał dobrą zdolność kombinacyjną czterech cech: plon, odporność na mączniaka i rdzę oraz masa 1000 ziaren (dane nie przedstawione w pracy).

We wszystkich doświadczeniach wykazano istotną zmienność GCA komponentów ojcowskich pod względem większości cech agronomicznych (tab. 1, 2, 3). Jednak w żadnym doświadczeniu nie stwierdzono istotnego zróżnicowania GCA komponentów ojcowskich pod względem porażenia mączniakiem i rdzą brunatną. Zestawienie średnich efektów GCA komponentów ojcowskich dla cech agronomicznych w trzech doświadczeniach wykazała, że większość z nich różniła nieistotnie od zera (tab. 7).

Tabela 7

Średnie efekty GCA komponentów ojcowskich oszacowane na podstawie wyników trzech doświadczeń D01, D02 i D03 przeprowadzonych w 2013 roku
Mean GCA effects of male components estimated in three experiments D01, D02 and D03 performed in 2013

Komponent ojcowski Male component	Plon Yield			Wysokość Height			Kłoszenie Heading			Pylenie Pollen shedding		
	D01	D02	D03	D01	D02	D03	D01	D02	D03	D01	D02	D03
SR 20	3,62	4,12	3,07	0,20	0,28*	0,32	-0,46	-0,61	-0,39*	-2,54*	-4,23**	-2,77**
WM 34R	1,67	0,30	0,73	0,24*	0,30*	0,29*	0,001	0,01	0,00	-0,91	-1,45	-1,63*
25R	-5,28	-4,41*	-3,80	-0,44	-0,58**	-0,62	0,46	0,60	0,40	3,46*	5,68**	4,40**

Komponent ojcowski Male component	Mączniak Powdery mildew			Rdza brunatna Brown rust			Wyleganie Lodging			MTZ TKW		
	D01	D02	D03	D01	D02	D03	D01	D02	D03	D01	D02	D03
SR 20	0,28	0,35**	0,31	0,27	0,66	0,24	1,13*	1,41*	0,99	0,90	1,23	1,07
WM 34R	-0,14	-0,25	-0,24	-0,13	-0,31	-0,11	0,18	0,38*	-0,11	0,16	0,16	0,30
25R	-0,14	-0,10	-0,07	-0,15	-0,35	-0,13	-1,31*	-1,79*	-0,88	-1,05*	-1,39	-1,37

*, ** Istotnie różne od zera odpowiednio na poziomie $\alpha = 0,05$ i $0,01$

*, ** Significantly different from zero at the 0,05 and 0,01 levels of significance, respectively

Pogrubiona czcionka — istotna interakcja GCA ze środowiskiem

In bold — significant GCA \times environment interaction

Spośród populacji ojcowskich na uwagę zasługuje SR 20, charakteryzująca się korzystnymi efektami GCA większości cech agronomicznych, jednak najczęściej nieistotnie różnymi od zera. I tak populacja SR 20 wyróżniła się efektem GCA plonu wynoszącym 3,62 dt/ha, 4,12 dt/ha i 3,07 dt/ha odpowiednio w doświadczeniach D01_13, D02_13 i D03_13. Jednak te efekty GCA nie były istotnie wyższe od zera i wykazały istotną interakcję ze środowiskiem w dwóch pierwszych doświadczeniach. Stwierdzono, że głównymi zaletami tej populacji ojcowskiej jest tworzenie plennych mieszańców o wcześniejszym terminie kłoszenia i wyższej odporności na wyleganie. Jednak główną wadą tej populacji jest słaba zdolność przywracania męskiej płodności, o czym świadczą istotne ujemne efekty GCA pylenia, wyznaczone na podstawie wyników oceny potomstwa z wszystkimi komponentami matecznymi. Natomiast populacja 25R wykazała najwyższą efektywność przywracania płodności mieszańcom (istotne dodatnie efekty GCA), ale jednocześnie wpłynęła niekorzystnie na pozostałe cechy potomstwa z wyjątkiem wysokości roślin (ujemne efekty GCA).

DYSKUSJA

Badania przeprowadzone w 2013 roku są kontynuacją wcześniejszych prac nad poznaniem genetycznego uwarunkowania ważnych cech agronomicznych oraz zdolności kombinacyjnej heterozygotycznych genotypów, pochodzących z programów hodowli odmian mieszańcowych żyta (Kolasińska i in., 2011, 2012). W badaniach tych wykorzystano zróżnicowane genetycznie komponenty mateczne (męskosterylne mieszańce pojedyncze) oraz komponenty ojcowskie (syntetyki restorery) wytworzone w trzech firmach hodowlanych: Danko Hodowla Roślin Sp. z o.o., Poznańska Hodowla Roślin Sp. z o.o. i Hodowla Roślin Smolice Sp. z o.o. Oszacowanie wielkości i istotności efektów GCA komponentów matecznych i ojcowskich oraz ich interakcji ze środowiskiem umożliwiło poznanie ich wpływu na wartość cech agronomicznych tworzonych z ich udziałem kombinacji mieszańcowych. Praktycznym efektem badań było wyselekcjonowanie komponentów matecznych wyróżniających się wysoką i stabilną zdolnością kombinacyjną plonu ziarna i pozostałych cech agronomicznych: WSIN 13, WSIN 45, CSIN 314 i WCSIN 264 oraz perspektywicznej populacji ojcowskiej SR 20. Otrzymane wyniki umożliwiają wykorzystanie wybranych komponentów matecznych i komponentów ojcowskich do tworzenia różnego rodzaju mieszańców żyta o pożądanym cechach agronomicznych.

Badania wykazały, że ogólna zdolność kombinacyjna odgrywa główną rolę w zmienności genetycznej mieszańców wytworzonych z udziałem ocenianych komponentów matecznych i ojcowskich. Jest to zgodne z wynikami wcześniejszych badań własnych oraz niektórych autorów, prowadzonych z udziałem heterozygotycznych materiałów hodowlanych żyta (Grochowski i in., 1996; Bujak, 2003, Kolasińska i Węgrzyn, 2001; Kolasińska, 2009; Kolasińska i in., 2011, 2012). Zmienność swoistej zdolności kombinacyjnej (SCA) okazała się istotna tylko w niektórych grupach par rodzicielskich głównie dla masy 1000 ziaren, wysokości roślin i pylenia, będącego wskaźnikiem przywrócenia męskiej płodności mieszańcom z cytoplazmą Pampa. Znaczącą zmienność SCA par rodzicielskich także wykazano we wcześniejszych badaniach tego typu mieszańców głównie dla intensywności pylenia (Kolasińska, 2009; Kolasińska i in., 2011), wczesności kłoszenia (Kolasińska i in., 2012) i masy 1000 ziaren (Kolasińska, 2009). W przedstawionych badaniach, podobnie jak i we wcześniejszych pracach, stwierdzono brak istotnej zmienności SCA dla stopnia wylegania i porażenia mączniakiem (Kolasińska i in., 2011). Z dotychczasowych badań własnych wynika, że wariancja SCA miała największy udział w zmienności genetycznej intensywności pylenia mieszańców (Kolasińska, 2009; Kolasińska i in., 2011). Wyniki badań prowadzonych z wykorzystaniem współczesnych materiałów hodowlanych żyta wskazują, że ogólna zdolność kombinacyjna odgrywa większą rolę w przypadku materiałów zróżnicowanych, a swoista zdolność kombinacyjna u materiałów spokrewnionych (Wilde i in., 2003). Podobnie Melchinger i Gumber (1998) uważają, że zmienność GCA jest ważniejsza niż SCA u mieszańców pochodzących z krzyżowania rodziców należących do różnych puli genowych. Natomiast zmienność SCA odgrywa większą rolę u mieszańców z krzyżowania rodziców pochodzących z tej samej puli genowej.

Przeprowadzone badania wykazały przewagę addytywnego działania genów nad nieaddytywnym w dziedziczeniu analizowanych cech agronomicznych. Wyniki dotychczasowych badań prowadzonych z wykorzystaniem heterozygotycznych genotypów także wskazują na główną rolę addytywnego działania genów lub przewagę tego typu działania genów w warunkowaniu większości cech ilościowych (Grochowski i in., 1996; Kolasińska i Węgrzyn 2001; Bujak, 2003, Kolasińska, 2009; Kolasińska i in., 2011, 2012). Jednak niektóre badania prowadzone z wykorzystaniem linii wsobnych i populacji żyta wykazały, że nieaddytywne działanie genów także ma istotne znaczenie w dziedziczeniu cech ilościowych, szczególnie plonu ziarna i niektórych jego komponentów (Łapiński, 1976; Kaczmarek i Kadłubiec, 1985; Węgrzyn i Śmiałowski, 1995). Zdaniem tych autorów istotną rolę w dziedziczeniu tych cech żyta odgrywa dominacja i epistaza z niewielkim udziałem addytywnych efektów genetycznych. Poznanie sposobu działania genów warunkujących cechy agronomiczne u żyta wymaga prowadzenia dalszych badań z udziałem dużej liczby zróżnicowanych i spokrewnionych genotypów w różnych warunkach środowiska.

WNIOSKI

1. Mieszańce eksperymentalne żyta wytworzone w wyniku krzyżowania zróżnicowanych komponentów matecznych z wybranymi populacjami ojcowskimi wykazały istotne zróżnicowanie pod względem wszystkich analizowanych cech.
2. W zmienności genetycznej mieszańców żyta główną rolę odgrywała ogólna zdolność kombinacyjna. Zmienność swoistej zdolności kombinacyjnej okazała się istotna tylko w niektórych grupach genotypów dla niektórych cech.
3. Analiza zdolności kombinacyjnej powinna być prowadzona w doświadczeniach zlokalizowanych w kilku zróżnicowanych warunkach środowiska.
4. Postęp w hodowli odmian mieszańcowych żyta można osiągnąć poprzez wykorzystanie komponentów matecznych: WSIN 13, WSIN 45, CSIN 314 i WCSIN 264 oraz komponenta ojcowskiego SR 20, które wyróżniły się wysoką i stabilną zdolnością kombinacyjną plonu ziarna i niektórych cech agronomicznych.

LITERATURA

- Bujak H. 2003. Studia nad wartością hodowlaną żółtoziarnistych form żyta ozimego. Rozprawy CC. Zesz. Nauk. AR Wrocław, nr 465.
- Caliński T., Czajka S., Kaczmarek Z., Krajewski P. 2003. Metodyka statystyczna i obsługa programu SERGEN 4 przeznaczonego do analizy serii doświadczeń odmianowych i genetyczno-hodowlanych. Podręcznik użytkownika programu SERGEN 4. Instytut Genetyki Roślin PAN i Katedra Metod Matematycznych i Statystycznych Akademii Rolniczej, Poznań: 1 — 65.
- COBORU. 2015. Lista opisowa odmian roślin rolniczych 2015. (http://www.coboru.pl/Polska/Rejestr/ListyOdmian/lista_rolnicze_2015.pdf).
- Geiger H. H. 1985. Hybrid breeding in rye (*Secale cereale* L.). Proc. Eucarpia Meeting of the Cereal Section on Rye, Svalöv, Sweden: 237 — 265.
- Grochowski L., Kaczmarek J., Kadłubiec W., Bujak H. 1996. Genetic analysis of variability and combining ability of rye hybrid cultivars. Plant Breed. Seed Sci. 40: 37 — 47.
- GUS. 2015. Rocznik Statystyczny. Wydawnictwo Statystyczne, Warszawa.

- Kaczmarek J., Kadłubiec W. 1985. Oszacowanie efektów wartości kombinacyjnej 7 linii wsobnych żyta (*Secale cereale* L.) w diallelicznym krzyżowaniu. *Hod. Rośl. Aklim. Nasien.* 29, 5/6: 61 — 68.
- Kolasińska I., Węgrzyn S. 2001. Combining ability for selected quantitative characters in winter rye (*Secale cereale* L.). *Cereal Res. Commun.* 29, 1–2: 69 — 76.
- Kolasińska I. 2009. Genetyczno-hodowlane aspekty wykorzystania systemu CMS-Pampa w hodowli heterozyjnej żyta. *Monografie i Rozprawy Naukowe* nr 31, IHAR Radzików.
- Kolasińska I., Brukwiński W., Jagodziński J., Materka M. 2011. Zdolność kombinacyjna wybranych form rodzicielskich żyta. *Biul. IHAR* 260/261: 229 — 239.
- Kolasińska I., Brukwiński W., Jagodziński J., Kozber B., Krysztofik R., Materka M. 2012. Określenie zdolności kombinacyjnej komponentów matecznych do tworzenia mieszańców żyta. *Biul. IHAR* 265: 35 — 46.
- Krajewski P., Kaczmarek Z., Czajka S. 2006. EKSPLAN (wersja 2) — Planowanie i analiza statystyczna doświadczeń hodowlanych. IGR PAN w Poznaniu.
- Łapiński M. 1976. Estimates of heterosis effects and combining ability of seven inbred lines of rye (*Secale cereale* L.) in diallel crosses. *Genet. Pol.* 17, 3: 293 — 308.
- Mądry W., Mańkowski D., Kaczmarek Z., Krajewski P., Stadnicki M. 2010. Metody statystyczne oparte na modelach liniowych w zastosowaniach do doświadczalnictwa, genetyki i hodowli roślin. *Monografie i Rozprawy Naukowe* nr 34, IHAR Radzików.
- Melchinger A. E., Gumber R. K. 1998. Overview of heterosis and heterotic groups in agronomic crops. In: *Concepts and breeding of heterosis in crop plants*. Lamkey K. R. and Staub J. S. (eds). CSSA Publication, Madison, 25: 29 — 44.
- Węgrzyn S., Śmiałowski T. 1995. Sposoby działania genów epistatycznych, dominujących i addytywnych kontrolujących ważne cechy użytkowe w odmianach populacyjnych żyta. *Biul. IHAR* 195/196: 273 — 281.
- Wilde P., Menzel J., Schmiedchen B. 2003. Estimation of general and specific combining ability variances and their implications on hybrid rye breeding. *Plant Breed. Seed Sci.* 47: 89 — 98.