

IRENA KOLASIŃSKA

Zakład Genetyki i Hodowli Roślin

Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin — Państwowy Instytut Badawczy, Radzików

Rezultaty programu hodowli w kierunku poprawienia męskiej płodności odmian mieszańcowych żyta

Results of the breeding program aimed at improvement of male fertility of hybrid rye varieties

W pracy omówiono rezultaty programu hodowli nowej generacji komponentów ojcowskich odmian mieszańcowych żyta o pełnej zdolności przywracania męskiej płodności w cytoplazmie Pampa. Materiał badań stanowiły genotypy żyta, pochodzące z poszczególnych etapów programu hodowli HR Smolice Sp. z o.o.: linie wsobne pokolenia S₂ i S₃, wyprowadzone z nowych populacji hodowlanych z udziałem donorów genów przywracających płodność (R-pol, R-tur, R-ir), komponenty ojcowskie mieszańców (tzw. syntetyki restorery (Syn-R)) oraz mieszańce testowe i mieszańce eksperymentalne. Zdolność przywracania płodności wszystkich grup genotypów żyta określono poprzez krzyżowanie ich z tym samym męskosterylnym testerem trudnym do przywrócenia płodności (CMS-Tt) i ocenę męskiej płodności mieszańców testowych w dwóch warunkach uprawy (tunele foliowe, pole). Efektywność działania wybranych restorerów (R) sprawdzono poprzez krzyżowanie ich z ośmioma liniami męskosterylnymi (P) o zróżnicowanym wpływie na poziom przywrócenia płodności mieszańców P×R. Męską płodność mieszańców testowych oceniono poprzez wizualną bonitację intensywności pylenia roślin na poletkach obserwacyjnych i/lub bonitację męskiej sterylności/płodności pojedynczych roślin. Następnie wyznaczono indeksy restoracji według wzoru: $IR = \% \text{ roślin płodnych (\%mf)} + 1/2\% \text{ roślin częściowo płodnych (\%pmf)}$. Następnie określono frekwencję pełnych (IR>70%) i częściowych restorerów (IR=50–70%) wśród grup genotypów, pochodzących z poszczególnych etapów programu. Badania wykazały, że większość genotypów (linie wsobne, komponenty ojcowskie), charakteryzowała się wysoką zdolnością przywracania męskiej płodności w cytoplazmie Pampa. W latach 2014–2017 osiągnięto znaczny postęp w hodowli pełnych restorerów płodności w porównaniu z poprzednim okresem (dane 2013 roku). W każdej grupie genotypów (linie wsobne pokolenia S₂ i S₃, komponenty ojcowskie) stwierdzono wysoką frekwencję restorerów całkowicie przywracających męską płodność mieszańców z cytoplazmą Pampa. Niektóre komponenty ojcowskie całkowicie przywróciły męską płodność mieszańców z wszystkimi liniami męskosterylnymi (IR = 100%) w obu warunkach uprawy. Niektóre pełne i stabilne restorery mogą być bezpośrednio użyte do tworzenia odmian mieszańcowych żyta o wysokim poziomie męskiej

plodności. Ponadto najlepsze z nich powinny zostać wykorzystane, jako donory genów przywracających plodność, w kolejnych cyklach hodowli odmian mieszańcowych żyta.

Słowa kluczowe: cytoplazma Pampa, hodowla odmian mieszańcowych, męska sterylność, przywracanie męskiej plodności, restorer, żyto

The paper discusses the results of the breeding program for a new generation of paternal components of rye hybrid varieties with full capacity to restore male fertility in the Pampa cytoplasm. Plant material involved S₂ and S₃ inbred lines, male parents (restorer synthetics), test hybrids and experimental hybrids derived from the current breeding program in Smolice Plant Breeding Ltd. The S₂ and S₃ inbred lines were developed from new breeding populations including donors of restorer genes with different origins (R-pol, R-tur, R-ir). The inbred lines and the male parents were crossed to the same hard-restoration tester (CMS-Tt) under isolation bags, between isolation walls and in foil tunnels. The level of male fertility of test hybrids was assessed in two growing conditions (foil tunnel, field) by pollen shedding visual scores of plant plots and/or by anther dehiscence visual scores of single plants with a 1–9 scale. The restoration indices (RI%) were calculated according to the formula: $RI = \% \text{ of male fertile (\%mf) plants} + 1/2\% \text{ of partially male fertile plants (\%pmf)}$. Moreover, frequency of full (IR>70%) and partial (IR=50–70%) restorers was determined among genotype groups from particular stages of the program. In the years 2014–2017, a considerable progress was achieved in the improvement of male fertility restoring ability in the Pampa cytoplasm compared to the previous period (data 2013). Majority of the newly developed inbred lines and created male parents were highly effective in restoration of male fertility in the Pampa cytoplasm. High frequency of full restorers was found in each group of genotypes. Several genotypes were able to restore completely pollen fertility (IR = 100%) of their hybrids with various male sterile lines cultivated in both growing conditions — foil tunnel and field. Very effective restorers directly could be used for creation of Pampa-based rye hybrids with improved male fertility. In addition, the best of them should be also utilized as restoring gene donors in breeding programme of rye hybrids.

Key words: hybrid breeding, male sterility, Pampa cytoplasm, restorer, male fertility restoration, rye

WSTĘP

W ostatnich latach wzrasta zainteresowanie polskich rolników uprawą odmian mieszańcowych żyta. W Krajowym Rejestrze obecnie znajdują się 52 odmiany żyta ozimego, z czego 52% stanowią odmiany mieszańcowe (27) (COBORU, 2017). Niestety tylko trzy z nich to odmiany krajowe: Stach, Gradan, Tur. Hodowla odmian mieszańcowych stwarza możliwość osiągnięcia znacznego postępu pod względem plonu ziarna i innych cech agronomicznych. W doświadczeniach rejestrowych COBORU najlepsze odmiany mieszańcowe osiągają plon ziarna nawet 30% wyższy w porównaniu z wzorcowymi odmianami populacyjnymi (COBORU, 2017). Dodatkowym powodem zainteresowania hodowlą heterozyjną żyta jest aspekt ekonomiczny. Uprawa odmian mieszańcowych wiąże się z koniecznością corocznej wymiany materiału siewnego. Stąd odmiany mieszańcowe muszą być corocznie odtwarzane z komponentów rodzicielskich, będących w dyspozycji hodowcy, co stwarza możliwość pełnej ochrony jego interesów. Komercyjna odmiana mieszańcowa żyta jest wytwarzana poprzez krzyżowanie męskosterylnego mieszańca prostego, będącego komponentem matczym z syntetykiem restorerem, składającym się z przynajmniej dwóch częściowo wsobnych linii, jako komponentem ojcowskim. Produkcja nasion mieszańców żyta głównie jest prowadzona z wykorzystaniem genowo-cytoplazmatycznego systemu męskiej sterylności typu Pampa

(CMS-Pampa) (Geiger i Schnell, 1970). Zachowanie sterility w cytoplazmie Pampa jest łatwe, ponieważ genotypy dopełniające męską sterility (non-restorer) często występują w populacjach żyta oraz stabilne w szerokim zakresie warunków uprawy w Europie (Geiger i in., 1995). Znaczne problemy stwarza natomiast pełne przywrócenie męskiej płodności u mieszańców z cytoplazmą Pampa. Wszystkie uprawiane odmiany mieszańcowe żyta charakteryzują się niższym poziomem męskiej płodności w porównaniu z odmianami populacyjnymi (Kolasińska, 2016 — dane niepublikowane, Miedaner i in., 2017). Niepełna płodność tego typu odmian i związana z tym obniżona produkcja pyłku (Geiger i in., 1995) sprzyjają zakażeniu roślin zarodnikami sporyszu (*Claviceps purpurea* (Fr.) Tul.). Stąd w warunkach zimnej i deszczowej pogody w okresie kwitnienia może wystąpić duże zanieczyszczenie ziarna żyta przetrwalnikami zawierającymi toksyczne alkaloidy (Kolasińska i Małuszyńska, 2004). Wysokie wymagania dotyczące zawartości przetrwalników sporyszu w handlowych partiach ziarna konsumpcyjnego i paszowego stwarzają konieczność czyszczenia ziarna, co generuje wysokie koszty jego produkcji. Głównym zadaniem w hodowli odmian mieszańcowych żyta, prowadzonej z wykorzystaniem systemu CMS-Pampa, jest wyhodowanie komponentów ojcowskich (restorerów) efektywnie przywracających męską płodność roślin pokolenia F₁. Jest to jednak zadanie bardzo trudne, gdyż genotypy przywracające męską płodność występują rzadko (od 1 do 5%) w europejskich populacjach żyta (Geiger i Morgenstern, 1975; Geiger i in., 1995). Ponadto ekspresja sterility/płodności pylników w dużym stopniu zależy od warunków środowiska (Geiger i Miedaner, 1996) oraz od interakcji genotypu restorera z genotypem matecznym (Kolasińska, 2009). Dodatkowym utrudnieniem jest złożone genetyczne uwarunkowanie tej cechy u europejskich genotypów, zakładające działanie dwóch (Madej, 1976), trzech (Scoles i Evans, 1979), a nawet czterech (Ruebenbauer i in., 1984) par genów *Rfp*. Poprawienie zdolności restoracji jest jednak możliwe poprzez wykorzystanie nowych efektywnych donorów genów przywracających płodność oraz zastosowanie skutecznej metody selekcji w programie hodowli komponentów ojcowskich. Takimi donatorami efektywnych genów *Rfp* okazały egzotyczne populacje, pochodzące z Południowej Ameryki i Bliskiego Wschodu, tj. irańska prymitywna populacja Iran IX i argentyńska odmiana miejscowa Pico Gentario (Geiger i Miedaner, 1996). Jednak wraz z wykorzystywaniem tych genów w hodowli mieszańców pojawiły się dowody o ich negatywnym wpływie na kilka ważnych cech rolniczych, a szczególnie na plon ziarna, wysokość roślin i masę 1000 ziaren (Miedaner i in., 2017). Wydaje się, że główne geny przywracające męską płodność (*Rfp1* i *Rfp2*) z Iran IX i Pico Gentario są silnie sprzężone z genami warunkującymi te cechy. Wcześniejsze badania prowadzone w Pracowni Żyta IHAR-PIB (Kolasińska, dane niepublikowane) wykazały, że miejscowe populacje, pochodzące z Turcji, wyróżniają się zdolnością przywracania męskiej płodności w cytoplazmie Pampa. Efektem prac nad wprowadzeniem genów restorujących z tureckich i irańskich populacji do polskich populacji żyta było wyprowadzenie linii wsobnych całkowicie przywracających męską płodność (Kolasińska, 2011; 2014). Najbardziej wartościowe spośród nich zostały wykorzystane w programie hodowli odmian mieszańcowych żyta w Hodowli Roślin Smolice Sp. z o. o. W 2010 roku rozpoczęto realizację programu hodowli nowej generacji

komponentów ojcowskich poprzez wytworzenie nowych populacji wyjściowych (PwR_2010) z wykorzystaniem efektywnych donorów genów restorujących o różnym pochodzeniu, zidentyfikowanych we wcześniejszych badaniach (Kolasińska, 2011; 2014). W następnych latach prowadzono kolejne etapy programu hodowli populacji PwR_2010 zgodnie ze stosowaną obecnie metodyką (Kolasińska, 2009) oraz wytwarzano nowe populacje wyjściowe z udziałem wybranych wartościowych genotypów. Corocznie monitorowano zdolność przywracania męskiej płodności genotypów, pochodzących z poszczególnych etapów programu hodowli.

Celem badań było określenie skuteczności programu hodowli komponentów ojcowskich o pełnej zdolności przywracania męskiej płodności w cytoplazmie Pampa w wyniku wykorzystania efektywnych donorów genów restorujących o różnym pochodzeniu oraz zastosowania skutecznej selekcji pożądaných genotypów.

MATERIAŁ I METODY

Materiał badań stanowiły genotypy żyta, pochodzące z poszczególnych etapów programu hodowli nowej generacji komponentów ojcowskich odmian mieszańcowych żyta, prowadzonego w Pracowni Żyta IHAR — PIB dla Spółki Hodowla Roślin Smolice Sp. z o.o.:

- linie wsobne pokolenia S_2 i S_3 wyprowadzone z nowych populacji hodowlanych żyta, wytworzonych z udziałem donorów genów efektywnie przywracających płodność o różnym pochodzeniu, oznaczonych R-pol, R-tur i R-ir (Kolasińska, 2014),
- komponenty ojcowskie mieszańców (populacje syntetyczne przywracające płodność, tzw. syntetyki restorery (Syn-R)),
- mieszańce testowe wytworzone poprzez krzyżowanie w/w genotypów z CMS-testerem trudnym do przywrócenia płodności (CMS-Tt),
- mieszańce eksperymentalne HR Smolice z doświadczenia wstępnego żyta w 2017 roku,
- linie męskosterylne (linie P) oznaczone literami A, B, C, D, E, F, G, H, zróżnicowane pod względem zdolności do przywrócenia płodności ich mieszańców z tymi samymi restorerami,
- mieszańce uzyskane poprzez krzyżowanie w/w linii męskosterylnych z restorerami (P×R).

We wszystkich dotychczasowych badaniach nad przywracaniem męskiej płodności w CMS-Pampa stosowano jednakową metodę wytwarzania mieszańców testowych oraz oceny sterility/płodności ich roślin. Zdolność przywracania płodności wszystkich grup genotypów żyta określono poprzez krzyżowanie ich z tym samym męskosterylnym testerem, który uznano za trudny do przywrócenia płodności (CMS-Tt) we wcześniejszych badaniach (Kolasińska, 2012). W ostatnich latach tester CMS-Tt jest wykorzystywany do oceny zdolności przywracania płodności wszystkich wyprowadzanych linii wsobnych i wytwarzanych komponentów ojcowskich. Ocena męskiej płodności mieszańców testowych prowadzono w dwóch warunkach uprawy — tunele foliowe, pole. Krzyżowanie linii wsobnych S_2 z męskosterylnym testerem

wykonano ręcznie, używając kilku pojedynczych roślin każdej linii. Nasiona wytworzonych mieszańców testowych wysiano na poletkach obserwacyjnych. Następnie wykonano wizualną bonitację (w skali 1–9°) intensywności pylenia roślin mieszańców testowych (Geiger i Morgenstern, 1975). Krzyżowanie linii wsobnych S₃R i komponentów ojcowskich (Syn-R) z męskosterylnym testerem CMS-Tt prowadzono pomiędzy ścianami izolacyjnymi lub w tunelach foliowych. Produkcję nasion eksperymentalnych mieszańców F₁ o formule CMS-SC×Syn-R przeprowadzono na polach przestrzennie izolowanych. Dokładną ocenę męskiej płodności roślin mieszańców pochodzących z krzyżowania CMS-Tt z liniami S₃R i z Syn-R wykonano w dwóch warunkach uprawy — w tunelach foliowych i w polu. Oznaczono sterylność/płodność pojedynczych (30–60) roślin każdego mieszańca metodą wizualnej bonitacji pylników w skali 1–9° (Morgenstern, 1983), przy czym 1 oznacza pylniki silnie zdegenerowane, puste i niepękające, a 9 pylniki normalnej wielkości, pękające i obficie pyłące. Rośliny ocenione na 1, 2, 3 sklasyfikowano jako męskosterylne [ms], rośliny 4, 5, 6 jako częściowo-płodne [pmf], a rośliny 7, 8, 9 jako płodne [mf]. Następnie obliczono procentowy udział roślin o różnym stopniu męskiej płodności oraz wyznaczono indeksy restoracji według wzoru: $IR = \% mf + 1/2\% pmf$. Zdolność restoracji genotypów pochodzących z nowego programu hodowli, ocenianych w latach 2014–2016, częściowo omówiono we wcześniejszej publikacji (Kolasińska, 2017). W celu udokumentowania postępu w hodowli nowej generacji komponentów ojcowskich dane te poddano ponownej analizie i syntetycznie przedstawiono w tej pracy (tab. 1, tab. 2, tab. 3) wraz z wynikami kolejnego cyklu programu hodowli przeprowadzonego w 2017 roku. Jako wskaźnik efektywności hodowli przyjęto frekwencję częściowych restorerów (pylenie 4–6° lub $IR = 50–70\%$) i pełnych restorerów (pylenie 7–9° lub $IR > 70\%$) wśród różnych grup genotypów, pochodzących z poszczególnych etapów programu hodowli w latach 2014–2017. Wyniki porównano z częstością występowania takich restorerów w 2013 roku wśród genotypów wprowadzonych z wcześniejszych populacji wyjściowych.

WYNIKI

Badania wykazały dużą skuteczność programu hodowli nowej generacji komponentów ojcowskich o pełnej zdolności przywracania męskiej płodności w cytoplazmie Pampa. W latach 2014–2017 stwierdzono znacznie wyższą frekwencję pełnych restorerów wśród wszystkich grup genotypów w porównaniu z efektami wcześniejszej hodowli (dane 2013 roku). W tym okresie testowano zdolność przywracania płodności ogółem 1712 linii wsobnych pokolenia S₂, wyprowadzonych z nowych populacji hodowlanych, wytworzonych z udziałem efektywnych donorów genów restorujących o różnym pochodzeniu (R-pol, R-ir, R-tur). Frekwencja linii S₂, które całkowicie przywróciły męską płodność mieszańcom testowym wynosiła od 17,1% (2015) do 36,8% (2014) i była ona znacznie wyższa w porównaniu z 3,0% frekwencją takich genotypów w roku 2013 (tab. 1). W 2017 roku pełne restorery stanowiły już zdecydowaną większość (83,8%) wśród ocenianych linii S₂.

W latach 2014–2017 oceniono także zdolność przywracania płodności 142 linii wsobnych pokolenia S₃, wyselekcjonowanych spośród wstępnie testowanych linii S₂, wyprowadzonych z nowych populacji hodowlanych żyta (tab. 2). Zdecydowana większość tych linii całkowicie przywróciła męską płodność mieszańców testowych. Linie o indeksie restoracji ponad 70% stanowiły średnio 85,5%, wynosząc od 74,3% (2016 rok) do 95% (2017 rok). Na uwagę zasługuje wysoka frekwencja linii o IR = 100%, które stanowiły średnio 35%.

Tabela 1

Częstość genotypów (%) o różnej zdolności przywracania płodności wśród linii wsobnych S₂ w warunkach polowych

Frequency of genotypes with various restoring ability among S₂ inbred lines in the field

Rok Year	Liczba genotypów Number of genotypes	Udział (%) Frequency (%)		
		dopelniacze sterylności non-restorers	częściowe restorery partial restorers	pełne restorery full restorers
2013	528	35,0	62,0	3,0
2014	408	2,9	60,3	36,8
2015	468	5,3	77,6	17,1
2016	443	4,3	61,3	34,4
2017	393	1,0	15,2	83,8

Tabela 2

Częstość restorerów wśród linii wsobnych S₃ ocenionych w doświadczeniu polowym

Frequency of restorers among S₃ inbred lines assessed in the field trial

Rok Year	Liczba genotypów* Number of genotypes*	Udział (%) Frequency (%)	
		częściowe restorery partial restorers	pełne restorery full restorers)
2013	37	84,6	5,4
2014	36	10,0	85,5
2015	31	9,7	87,1
2016	35	17,1	74,3
2017	40	5,0	95,0

*Oceniono 20–40 roślin każdego genotypu; * 20–40 plants of each genotype were scored

Bezpośrednimi komponentami ojcowskimi odmian mieszańcowych żyta są populacje syntetyczne (Syn-R), wytworzone w wyniku krzyżowania linii przywracających płodność (linie R). W latach 2014–2017 oceniono zdolność przywracania płodności 60 komponentów ojcowskich w tunelach foliowych i w polu (tab. 3). Stwierdzono wyraźny wzrost frekwencji (od 92,3% do 100%) restorerów o IR>70% w tej grupie genotypów w porównaniu z 2013 rokiem, kiedy to wynosiła ona 23,4%. Na uwagę zasługuje znaczny wzrost udziału restorerów o IR=100% z 6,7% w 2013 roku do 30,8% w 2017 roku. Ponadto prawie połowa (46,2%) tych restorerów w pełni przywróciła płodność mieszańców także w tunelach foliowych, pomimo występowania tam niekorzystnych warunków w 2017 roku (tab. 4).

Tabela 3

Częstość restorerów wśród komponentów ojcowskich (Syn-R) ocenionych w doświadczeniu polowym
Frequency of restorers among male parents (Syn-R) assessed in the field trial

Rok Year	Liczba genotypów* Number of genotypes*	Udział (%) Frequency (%)	
		częściowe restorery partial restorers	pełne restorery full restorers
2013	15	33,3	23,4
2014	12	0	100
2015	20	5,0	95,0
2016	15	6,7	93,3
2017	13	7,7	92,3

* Oceniono 20–40 roślin każdego genotypu; * 20–40 plants of each genotype were scored

Tabela 4

Zdolność przywracania płodności komponentów ojcowskich (Syn-R) oceniona w różnych warunkach uprawy w 2017 roku
Restoration indices (%) of male parents (Syn-R) assessed in different growing conditions, 2017

Komponent ojcowski* Male parent*	Indeks restoracji (%) Restoration index (%)	
	tunel foliowy foil tunnel	pole field
1	95,2	98,9
2	48,0	60,2
3	55,1	76,2
4	48,0	95,2
5	66,3	74,5
6	57,0	99,0
7	55,7	99,1
8	58,8	100
9	74,5	100
10	70,8	100
11	73,3	80,9
12	100	100
13	80,8	77,6

* Oceniono 20–40 roślin każdego genotypu;

* 20–40 plants of each genotype were scored

Niektóre komponenty ojcowskie charakteryzowały się pełną i stabilną zdolnością przywracania płodności. Na szczególną uwagę zasługują komponenty ojcowskie oznaczone numerem 12 o IR=100% w obu warunkach uprawy oraz numerami 8, 9, 10 o IR=100% w warunkach polowych. Ponadto bardzo efektywnym działaniem wyróżniły się cztery dalsze komponenty ojcowskie o numerach 1, 4, 6 i 7 (IR>95% w polu). O postępie uzyskanym w programie hodowli komponentów ojcowskich pod względem zdolności przywracania płodności w cytoplazmie Pampa świadczy także intensywność pylenia mieszańców eksperymentalnych ocenianych w doświadczeniu wstępnym 2017 roku. Wszystkie mieszańce eksperymentalne Hodowli Roślin Smolice Sp. z o. o. charakteryzowały się prawie całkowitą lub całkowitą męską płodnością roślin w warunkach polowych (tab. 5).

W 2017 roku stwierdzono znacznie niższy poziom męskiej płodności mieszańców uprawianych w tunelach foliowych niż w polu (tab. 4, tab. 5). Indeks restoracji mieszańców testowych (CMS-Tt×Syn-R) wynosił średnio 68% i 89,4% (tab. 4), a mieszańców eksperymentalnych (CMS-SC×Syn-R) średnio 54,5% i 88,6% (tab. 5), odpowiednio w tunelu i w polu. Jednak wykazano istnienie silnego związku pomiędzy wynikami oceny płodności pylników mieszańców (N=129) w tunelach foliowych i w polu. Współczynnik korelacji był wysoki ($r=0.75$) i istotny na poziomie $\alpha=0.01$.

Tabela 5

Męska płodność mieszańców F₁ żyta ocenianych w doświadczeniu wstępnym w 2017 roku
Male fertility of F₁ rye hybrids tested in preliminary trial, 2017

Mieszańce F ₁ * F ₁ rye hybrids*	Indeks restoracji (%) Restoration index (%)	
	tunele foliowe foil tunnel	pole field
SMH 5050	15,0	72,2
SMH 5053	47,6	76,7
SMH 5114	12,8	82,9
SMH 5168	9,8	74,4
SMH 6002	89,8	100
SMH 6003	91,7	98,7
SMH 6063	51,8	94,7
SMH 6091	74,0	98,0
SMH 6093	98,2	100

* Oceniono 20–40 roślin każdego genotypu; * 20–40 plants of each genotype were scored

Tabela 6

Indeksy restoracji (%) mieszańców, uzyskanych poprzez krzyżowanie trzech restorerów z ośmioma liniami męskosterylnymi w różnych warunkach uprawy w 2017 roku
Restoration indices (%) of F₁ hybrids between three restorer lines and eight male sterile lines (P lines) in different growing conditions, 2017

Linia męskosterylna* Male sterile line*	Linia restorer Restorer line					
	300		309		311	
	tunel foliowy foil tunnel	pole field	tunel foliowy foil tunnel	pole field	tunel foliowy foil tunnel	pole field
A	100	100	100	100	100	100
B	100	100	100	100	100	100
C	100	100	100	100	100	100
D	100	100	99	100	100	100
E	100	100	100	100	100	100
F	100	100	98	100	100	100
G	99	100	100	100	100	100
H	100	100	95	100	100	100

* Oceniono 20–40 roślin każdego genotypu; * 20–40 plants of each genotype were scored

Badano efektywność działania nowej generacji restorerów w przywracaniu męskiej płodności mieszańców z liniami męskosterylnymi (liniami P) zróżnicowanymi pod względem wpływu na poziom płodności mieszańców. W tym celu trzy linie restorery o numerach 300, 309, 311 krzyżowano z ośmioma liniami męskosterylnymi oznaczonymi

literami **A, B, C, D, E, F, G, H**, które w wcześniejszych badaniach okazały się zróżnicowane pod względem zdolności do przywrócenia płodności. Stwierdzono, że te restorery całkowicie przywróciły męską płodność roślin mieszańców ze wszystkimi liniami męskosterylnymi w obu warunkach uprawy. W 2017 roku wszystkie mieszańce P×R w warunkach polowych i prawie wszystkie w tunelu foliowym miały indeks restoracji 100% (tab. 6).

DYSKUSJA WYNIKÓW

W programie hodowli odmian mieszańcowych żyta Hodowli Roślin Smolice są prowadzone prace zmierzające do poprawienia zdolności przywracania płodności komponentów ojcowskich. W tym celu wykorzystano zidentyfikowane we wcześniejszych badaniach (Kolasińska, 2014) donory genów restorujących, wyselekcjonowane z różnych polskich odmian (R-pol), tureckich populacji miejscowych (R-tur) oraz donory wytworzone z udziałem populacji zawierających gen *Rfp* z IRAN IX (R-ir). Wybrane donory genów restorujących zostały użyte do wytworzenia nowych populacji wyjściowych dla wyprowadzania linii wsobnych, a następnie tworzenia syntetyków, będących komponentami ojcowskimi mieszańców. Przeprowadzone badania wykazały, że większość genotypów (linie restorery, syntetyki restorery), pochodzących z aktualnego programu hodowlanego charakteryzuje się wysoką zdolnością przywracania płodności w cytoplazmie Pampa. W ostatnich latach osiągnięto znaczny postęp w hodowli efektywnych restorerów w porównaniu z poprzednim okresem 2009–2013 (Kolasińska, 2014). W każdej grupie genotypów stwierdzono wysoką frekwencję restorerów całkowicie przywracających męską płodność (tab.1, tab. 2, tab. 3). Wśród linii wsobnych pokolenia S₂, wyprowadzonych z nowych populacji hodowlanych frekwencja pełnych restorerów (pylenie mieszańców testowych >7 stopni) wynosiła 34,4% i 83,8%, odpowiednio w latach 2016 i 2017. Natomiast takie restorery stanowiły średnio zaledwie 2,9% wszystkich linii ocenianych w latach 2009–2013 (Kolasińska, 2014). W latach 2014–2017 zdecydowana większość (średnio 85,5%) linii wsobnych pokolenia S₃ całkowicie przywróciła płodność potomstwa (IR powyżej 70%), a w latach 2009–2011 linie takie stanowiły średnio tylko 10,6%, (Kolasińska, 2014). O postępie świadczą także wyniki oceny zdolności przywracania płodności komponentów ojcowskich wybranych do tworzenia eksperymentalnych mieszańców. W latach 2014–2017 prawie wszystkie (średnio 95%) komponenty ojcowskie w warunkach polowych miały indeks restoracji powyżej 70% (tab. 3). Badania wykazały, że nowe komponenty ojcowskie charakteryzują się stabilną zdolnością przywracania płodności w różnych warunkach środowiska. Prawie połowa (46%) komponentów całkowicie przywróciła męską płodność roślinom mieszańców testowych w obu warunkach uprawy (tab. 4). W 2017 roku w porównaniu z poprzednimi latami, warunki panujące w tunelach foliowych były znacznie mniej korzystne niż warunki polowe dla ekspresji płodności pylników. Średni indeks restoracji komponentów ojcowskich ocenianych w tunelach był o 21,4% niższy niż w polu. Poziom podności mieszańców eksperymentalnych uprawianych w tunelach był obniżony średnio o 34,1% w porównaniu z polem. W poprzednich latach (2015 i 2016) mieszańce testowe i

mieszzańce eksperymentalne wykazały zbliżony poziom męskiej płodności w warunkach tuneli foliowych i pola, a różnica indeksów restoracji wynosiła średnio 12,1%. (Kolasińska, 2017). Wcześniejsze badania wykazały, że znaczne różnice w płodności pylników występują szczególnie u mieszańców z częściowo przywróconą płodnością (Kolasińska, 2014). Okazuje się, że zbyt wysoka temperatura występująca w tunelach foliowych w okresie poprzedzającym kwitnienie roślin mieszańców jest niekorzystna dla ekspresji męskiej płodności. Stwierdzono istotną ($\alpha=0.01$) korelację pomiędzy wynikami oceny płodności pylników mieszańców w tunelach foliowych i w polu. Współczynnik korelacji ($r = 0,75$) był jednak niższy niż we wcześniejszych badaniach ($r = 0,91$, ($r = 0,92$, $r = 0,84$) (Kolasińska 2009, 2014, 2017). Istnienie silnego związku pomiędzy płodnością pylników mieszańców w tych dwóch warunkach uprawy pozwala na znaczne zwiększenie zakresu i efektywności prac w tej dziedzinie. Niektórzy autorzy wykazali znaczny wpływ środowiska (miejscowości) na poziom męskiej płodności mieszańców (Geiger i in., 1995; Miedaner i in., 2005). We wcześniejszych badaniach stwierdzono istotną rolę genotypu matecznego oraz interakcji komponentów ojcowskich z matecznymi w zmienności męskiej płodności mieszańców (Kolasińska 2009, 2011). Rezultatem przeprowadzonego programu hodowlanego zmierzającego do poprawienia płodności mieszańców z cytoplazmą Pampa jest wyodrębnienie pełnych i stabilnych restorerów, które w wysokim stopniu przywracają męską płodność u mieszańców z licznymi komponentami matecznymi w zróżnicowanych warunkach uprawy. Te restorery mogą być bezpośrednio wykorzystane do tworzenia eksperymentalnych mieszańców i/lub stanowić donory genów przywracających płodność w dalszych cyklach hodowli odmian mieszańcowych żyta.

WNIOSKI

1. Znaczący postęp osiągnięto w hodowli nowej generacji komponentów ojcowskich o wysokiej i stabilnej zdolności przywracania męskiej płodności w cytoplazmie Pampa, co stwarza możliwość poprawienia męskiej płodności odmian mieszańcowych żyta.
2. Wykazano dużą efektywność metody hodowli komponentów ojcowskich, opartej na kumulacji w puli ojcowskiej genów przywracających płodność o różnym pochodzeniu oraz prowadzeniu skutecznej selekcji pełnych i stabilnych restorerów.

LITERATURA

- COBORU 2017. Syntezy wyników doświadczeń rejestrowych (SWDR). Zboża ozime 2017, zeszyt 152: 139 — 169.
- Geiger H. H., Morgenstern K. 1975. Angewandt-genetische Studien zur Cytoplasmatischen Pollensterilität bei Winterroggen. Theor. Appl. Genet. 46: 269 — 276.
- Geiger H. H., Schnell F. W. 1970. Cytoplasmic male sterility in rye (*Secale cereale* L.). Crop Sci. 10: 590 — 593.
- Geiger H. H., Miedaner T. 1996. Genetic basis and phenotypic stability of male-fertility restoration in rye. Vortr. Pflanzenzüchtg 35: 27 — 38.

- Geiger H. H., Yuan Y., Miedaner T., Wilde P. 1995. Environmental sensitivity of cytoplasmic-genic male sterility (CMS) in *Secale cereale* L. In: Genetic Mechanisms for Hybrid Breeding. Kück U. and G. Wricke (eds). Adv. Plant Breed. 18: 7 — 17, Paul Parey Sci. Publ., Berlin, Hamburg.
- Kolasińska I. 2009. Genetyczno-hodowlane aspekty wykorzystania systemu CMS-Pampa w hodowli heterozyznej żyta. Monografie i Rozprawy Naukowe nr 31, IHAR Radzików.
- Kolasińska I. 2011. Identyfikacja genotypów przywracających płodność mieszańców z cytoplazmą Pampa wśród linii wsobnych żyta o różnym pochodzeniu. Biul. IHAR 260/261: 241 — 249.
- Kolasińska I. 2012. Zróżnicowanie zdolności do przywracania płodności wśród linii męskosterylnych żyta z cytoplazmą Pampa. Biul. IHAR nr 264: 97 — 104.
- Kolasińska I. 2014. Identyfikacja donorów genów przywracających męską płodność u mieszańców żyta ze sterylizującą cytoplazmą Pampa. Biul. IHAR 271: 17 — 28.
- Kolasińska I. 2017. Postęp w hodowli komponentów ojcowskich odmian mieszańcowych żyta o wysokiej zdolności przywracania męskiej płodności w cytoplazmie Pampa. Biul. IHAR 281: 37 — 46.
- Kolasińska I., E. Małuszyńska. 2004. Factors influencing the ergot infection of male sterile rye. Phytopathol. Pol. 31:15 — 24.
- Madej L. 1976. Charakterystyka genetyczna trzech źródeł męskiej jałowości żyta (*Secale cereale* L.). Hod. Rośl. Aklim. Nasien. 20: 157 — 174.
- Miedaner T., Wilde P., Wortmann H. 2005. Combining ability of non-adapted sources for male-fertility restoration in Pampa CMS of hybrid rye. Plant Breed. 124: 39 — 43.
- Miedaner T., Herter C. P., Gosslau H., Wilde P., Hackauf B. 2017. Correlated effects of exotic pollen-fertility restorer genes on agronomic and quality traits of hybrid rye. Plant Breeding 136: 224 — 229.
- Morgenstern K. 1983. Ausprägung der cytoplasmatisch-genischen Pollensterilität (CMS) bei Roggen in Abhängigkeit von Plasmotyp und Genotyp. Dissertation, Univ. Hohenheim.
- Ruebenbauer T., Kubara-Szpunar Ł., Pająk K. 1984. Testing of a hypothesis concerning interaction of genes with mutated cytoplasm controlling male sterility of the „Pampa” type in rye (*Secale cereale* L.). Genet. Pol. 25, 1: 1 — 16.
- Scoles G. J., Evans L. E. 1979. The genetics of fertility restoration in cytoplasmic male sterile rye. Can. J. Gen. Cytol. 21, 3: 417 — 422.