

TADEUSZ DRZAZGA¹
JAKUB PADEREWSKI²
WIESŁAW MĄDRY²
PAWEŁ KRAJEWSKI³

¹ Hodowla Roślin Rolniczych „Nasiona Kobierzyc”

² Katedra Doświadczalnictwa i Bioinformatyki SGGW

³ Instytut Genetyki Roślin PAN w Poznaniu

Ocena rodzajów reakcji plonowania odmian pszenicy ozimej w doświadczeniach PDO na przestrzennie zmienne warunki przyrodnicze w kraju

The estimation of winter wheat field response to variable environmental conditions in post-registration cultivar trials

Analizowano wyniki plonowania 31 odmian pszenicy ozimej, uzyskane w wielokrotnej i wieloletniej (2005–2007) serii doświadczeń PDO wykonanych w 20 Stacjach Doświadczalnych Oceny Odmian (SDOO), należących do COBORU przy pierwszym (niższym) poziomie intensywności agrotechniki. Celem pracy było określenie rodzajów funkcji średniej wieloletniej plonu ziarna odmian pszenicy ozimej pod wpływem zmiennych warunków przyrodniczych (środowiskowych) w Polsce. Na podstawie średnich z powtórzeń, stanowiących 3-kierunkową klasyfikację odmiany × miejscowości × lata (klasyfikacja GLY) wykonano trójczynnиковą analizę wariancji według modelu mieszanego. Dla średnich plonu poprzez lata (kombinacje GL), wykonano analizę AMMI. Badane odmiany pszenicy ozimej zostały podzielone na grupy o podobnym profilu efektów interakcji GL za pomocą analizy skupień metodą Warda. Odmiany w każdej takiej grupie jednorodnej podzielono na rozłączne podgrupy o jednorodnych średnich genotypowych stosując niehierarchiczną analizę skupień Calińskiego i Corstena (1985).

Słowa kluczowe: pszenica ozima, doświadczenia PDO, analiza AMMI, analiza skupień

The yields of 31 winter wheat cultivars were assessed in post-registration cultivar trials (PDO) done in the years 2005–2007 in 20 locations. The aim of this work was to determine the patterns of grain yield response to environmental conditions, as related to the multi-year means. For the three-way classification of the GLY (genotypes × locations × years) combinations, the analysis of variance according to the mixed model was done. The AMMI analysis was carried out on the GL combinations (means for replications and years). The genotypes were classified in groups on the basis of similar GL interaction effects, measured according to Ward's method of cluster analysis. The groups were divided into subgroups based on the uniform values of genotypic means for yield. Non-hierarchical cluster analysis, developed by Caliński and Corsten in 1985 was used.

Key words: winter wheat, post-registration cultivar trials, AMMI analysis, cluster analysis

WSTĘP

Głównym celem hodowli ważnych roślin rolniczych jest tworzenie nowych odmian o dużej zdolności adaptacyjnej do zmiennych warunków środowiskowych w obrębie danego rejonu uprawy. Zdolność adaptacyjna odmiany do zmiennych warunków środowiskowych wyraża się poprzez jej relatywne plonowanie względem innych odmian. Wyróżnia się dwa rodzaje adaptacji odmian, tj. szeroką i wąską. Odmiany plonujące relatywnie wysoko i stabilnie w obrębie dużego docelowego rejonu uprawy, zwykle o znaczącej zmienności warunków środowiskowych, nazywane są odmianami o szerokiej adaptacji. Natomiast, odmiany plonujące średnio relatywnie wysoko i stabilnie w obrębie podrejonu, zwykle o ograniczonej zmienności warunków środowiskowych, nazywane są odmianami o wąskiej adaptacji (Gauch i Zobel, 1997; Sivapalan i in., 2000; Annicchiarico, 2002 a, b; Mądry i in., 2003; Lillemo i in., 2005; Samonte i in., 2005; Annicchiarico i in., 2006; Gauch i in., 2008; Rodriguez i in., 2008; Roozeboom i in., 2008). Odmiany o szerokiej adaptacji mają większy potencjał plonowania i tolerancję na niesprzyjające warunki środowiskowe w porównaniu do odmian o wąskiej adaptacji (Singh i in., 2007; Trethowan i Crossa, 2007). Chociaż zwykle preferuje się odmiany o szerokiej adaptacji, to jednak dostrzegane są także zalety odmian o wąskiej adaptacji (Annicchiarico, 2002 a, b; Annicchiarico i in., 2006; Zhang i in., 2006; Singh i in., 2007).

Hodowla odmian o szerokiej lub wąskiej adaptacji pszenicy ozimej, podobnie jak innych roślin rolniczych, wymaga oceny i wykorzystania zarówno średniej genotypowej plonu (średniej poprzez miejscowości i lata w wielokrotnej i wieloletniej serii doświadczeń odmianowych) oraz efektów interakcji genotypowo-środowiskowej testowanych rodów w programie hodowlanym, złożonym z dwóch składowych, tj. posiadanej puli genowej i docelowego rejonu uprawy (Allard i Bradshaw, 1964; Yan i Hunt, 1998; Trethowan i in., 2002; Mądry i in., 2003; Annicchiarico, 2002 a, b; Annicchiarico i in., 2006; Mądry i in., 2006; Trethowan i Crossa, 2007; Roozeboom i in., 2008). Oceny średniej genotypowej plonu i efektów interakcji genotypowo-środowiskowej przypisane danej odmianie, tworzą empiryczną funkcję (krzywą) reakcji plonu odmiany na zmienne warunki przyrodnicze w badanych stacjach. Środowiskowe funkcje reakcji plonu odmian charakteryzują rodzaje ich adaptacji do różnorodnych warunków, tj. szeroką i wąską adaptację oraz relatywne nieprzystosowanie do danego rejonu uprawy. Wspomnianą ocenę rodzaju adaptacji nowo zarejestrowanych odmian ważnych gatunków roślin uprawnych wykonuje się w Polsce w ramach doświadczeń PDO. Dostarcza ona informacji niezbędnych w doskonaleniu doradztwa odmianowego i wdrażania odmian do uprawy w poszczególnych rejonach jednorodnych przyrodniczo lub w całym kraju.

Celem pracy było określenie rodzajów adaptacji odmian pszenicy ozimej na podstawie oceny ich funkcji reakcji plonu ziarna na przestrzennie zmienne warunki przyrodnicze (środowiskowe) w Polsce i przy stosowaniu pierwszego poziomu (A1) intensywności agrotechniki w doświadczeniach PDO.

MATERIAŁ I METODY

Materiał doświadczalny

W badaniach analizowano dane dla plonu ziarna 31 odmian pszenicy ozimej, uzyskane w wielokrotnej i wieloletniej (2005–2007) serii doświadczeń PDO wykonanych w 20 Stacjach Doświadczalnych Oceny Odmian (SDOO), należących do COBORU przy pierwszym (niższym) poziomie intensywności agrotechniki. Doświadczenia PDO należały do tzw. serii L (z szerokim doбором odmian ustalonym przez specjalistów COBORU) i były przeprowadzone na dwóch poziomach intensywności agrotechniki: A1 i A2. Poziom A1 (niższy, czyli umiarkowanie intensywny) nie obejmuje zabiegów ochrony roślin tylko standardowe nawożenie, dostosowane do warunków danej stacji doświadczalnej. Na poziomie A2 (wyższym, czyli intensywnym) stosowano zwiększone nawożenie azotem o 40 kg/ha w porównaniu do poziomu A1 oraz ochronę przed chorobami roślin i wyleganiem. Pozostałe zabiegi uprawowe i pielęgnacyjne były takie same dla obu poziomów agrotechnicznych. Dla obu poziomów agrotechniki obsada ziaren podczas siewu na glebach kompleksów 1, 2, 3, 10 i 11 wynosiła od 400 do 450 szt./m² w zależności od odmiany. Na glebach kompleksu przydatności rolniczej 4 obsadę ziaren zwiększano o 50 szt./m², a na glebach kompleksu 5 — o 100 szt./m².

Tabela 1

Odmiany pszenicy ozimej badane w serii doświadczeń PDO przeprowadzonych w 20 Stacjach Doświadczalnych Oceny Odmian (SDOO) i powtórzonych w latach 2005-2007
Winter wheat cultivars evaluated in post-registration (PDO) trials done in the years 2005–2007

Odmiana Cultivar	Rok Year	Hodowca Breeding company	Odmiana Cultivar	Rok Year	Hodowca Breeding company
Kobra Plus	1992	Nasiona Kobierzyc	Flair	2002	Hans Schweiger
Tonacja	2001	HR Strzelce	Aristos	2003	Saaten Union
Finezja	2002	HR Danko	Kobiera	2003	Nasiona Kobierzyc
Bogatka	2004	HR Danko	Nadobna	2003	PHR Tulce
Sakwa	1996	HR Strzelce	Rapsodia	2003	Monsanto
Kaja	1997	PHR Tulce	Rubens	2003	G.I.E Recherche
Mewa	1998	HR Danko	Rywalka	2003	HR Strzelce
Symfonia	1999	HR Smolice	Trend	2003	Lochow_petkus
Zyta	1999	HR Strzelce	Dorota	2004	RAGT Semences
Soraja	2000	HR Strzelce	Fregata	2004	HR Strzelce
Kris	2000	Monsanto	Satyna	2004	Nasiona Kobierzyc
Nutka	2001	HR Strzelce	Olivin	2004	RAGT Semences
Sława	2001	PHR Tulce	Smuga	2004	HR Danko
Sukces	2001	HR Strzelce	Zawisza	2004	HR Smolice
Turnia	2001	Małopolska Hodowla Roślin	Muza	2004	Małopolska Hodowla Roślin
Pegassos	2001	Saaten Union			

Liczba ocenianych odmian była różna w latach, od 36 do 41, natomiast liczba miejscowości (stacji) w latach wynosiła 21 lub 22. Do badań wykorzystano dane dla plonu ziarna tych 31 odmian pszenicy ozimej, które były badane we wszystkich 20 stacjach doświadczalnych PDO w 3 latach 2005–2007, ograniczając się do pierwszego poziomu (A1) intensywności agrotechniki. Zatem, kombinacje odmiany × miejscowości × lata stanowiły kompletną klasyfikację trójkierunkową krzyżową. Badane odmiany i ich ogólna

charakterystykę przedstawiono w tabeli 1, natomiast lokalizację stacji oceny odmian na rysunku 1. Z rysunku 1 wynika, że rozmieszczenie stacji doświadczalnych dobrze reprezentuje zmienność przestrzenną warunków przyrodniczych (glebowych, klimatycznych i biotycznych) w Polsce, ważnych dla uprawy pszenicy ozimej. Stacje te są ulokowane także w głównych rejonach uprawy tego gatunku w kraju.



Rys. 1. Lokalizacja Stacji Doświadczalnych Oceny Odmian (SDOO), należących do COBORU, w których przeprowadzono wielokrotną serię doświadczeń PDO z odmianami pszenicy ozimej w latach 2005–2007

Fig. 1. Location map of the experimental stations at which the investigations were conducted

Doświadczenia PDO z serii L zakładano w dwóch powtórzeniach w dwuczynnikowym układzie split-block, zwanym także układem pasów prostopadłych (Elandt, 1964). Na jednych podblokach w obrębie bloków były rozlosowane odmiany (od 36 do 58, zależnie od miejscowości i roku), zaś na drugich podblokach były rozlosowane dwa poziomy intensywności agrotechniki. Powierzchnia poletek wynosiła 15 m². W niniejszym opracowaniu wykorzystano dane dla plonu ziarna, obserwowane dla pierwszego poziomu intensywności agrotechniki, czyli A1 (poziom przeciętny).

Analiza statystyczna danych

Dla danych, dotyczących plonu ziarna z poletka w każdej miejscowości i roku badań wykonano analizę wariancji jednoczynnikową w układzie losowanych bloków, oddzielnie dla każdego poziomu intensywności agrotechniki. Na podstawie średnich z powtórzeń, stanowiących 3-kierunkową klasyfikację odmiany \times miejscowości \times lata (klasyfikacja GLY) wykonano trójczynnikową analizę wariancji według modelu mieszanego, w której czynnikami stałymi były odmiany i miejscowości, zaś czynnikiem losowym były lata (SAS Institute, 2001).

Do oceny funkcji reakcji plonu ziarna na przestrzennie zmienne warunki środowiskowe w Polsce zastosowano nową metodę łącznej analizy AMMI i analizy skupień, opisaną w pracy Paderewskiego (2008).

Dla średnich plonu poprzez lata, dotyczących kombinacji odmiany \times miejscowości (GL), wykonano analizę AMMI (Gauch, 1992; Annicchiarico, 2002 b). Istotność składowych głównych dla efektów interakcji GL określono za pomocą testu F_R (Cornellius, 1993) przy poziomie istotności $\alpha = 0,05$. Oceny AMMI efektów interakcji GL, uważane za dokładniejsze oceny populacyjnych efektów interakcji niż średnie kombinacji GL (Annicchiarico, 2002 b; Gauch, 1992; Gauch i Zobel, 1996; Gauch i in., 2008) posłużyły do dalszych analiz. Badane odmiany pszenicy ozimej zostały podzielone na grupy o podobnym profilu efektów interakcji GL (grupy jednorodnej) za pomocą analizy skupień metodą Warda, w której miarą odległości pomiędzy miejscowościami był kwadrat odległości Euklidesa dla efektów interakcji GL.

O funkcji reakcji plonu danej odmiany na środowiska w stacjach decyduje zarówno kształt reakcji plonu na środowiska (genotypowy profil efektów interakcji GL), jak i średnia genotypowa. Odmiany w każdej grupie jednorodnej (pod względem kształtu reakcji plonu na środowiska), podzielono na rozłączne podgrupy o jednorodnych średnich genotypowych (na poziomie istotności $\alpha = 0,05$), stosując niehierarchiczną analizę skupień Calińskiego i Corstena (1985). Funkcje reakcji plonu ziarna odmian na warunki środowiskowe w stacjach zostały wyznaczone przez sumę ocen:

- a) średniej ogólnej,
- b) efektu głównego danej miejscowości,
- c) średniego efektu głównego odmian w podgrupie (jednorodnej ze względu na efekt główny odmian),
- d) średniej efektów interakcji GL odmian w grupie (o podobnych efektach interakcji GL) z daną miejscowością.

W ten sposób uzyskano średnie funkcje reakcji plonu ziarna odmian w danej podgrupie jednorodnej ze względu na kształt funkcji reakcji i odmianowy efekt główny. Średnie reakcje podgrup odmian pod względem plonu ziarna na zmienne warunki środowiskowe w stacjach zostały przedstawione na wykresach.

WYNIKI I DYSKUSJA

Analiza wariancji

Analiza wariancji przedstawiona w tabeli 2, wykazała istotny wpływ efektów głównych odmian, stacji i lat oraz wzajemnych interakcji. Suma kwadratów odchyleń dla plonu w kombinacjach GLY była wyjaśniona przez efekty główne odmian (w 3,1%), efekty główne miejscowości (49,7%), efekty główne lat (18,5%) i efekty interakcji.

Tabela 2

Analiza wariancji według modelu AMMI dla plonu ziarna pszenicy ozimej z serii doświadczeń PDO w wariancie agrotechniki A1

The analysis of variance according to AMMI model for winter wheat grain yield obtained in post-registration cultivar trials at A1 growing level

Źródło zmienności Source of variability	Suma kwadratów Sum of squares	Stopnie swobody Degrees of freedom	Średni kwadrat Mean square	F _{emp}	P _{value}	
Efekty główne — Main effects						
Odmiany — Cultivars	11647,8	30	388,26	8,25	0,000	**
Miejscowość — Locations	188709,0	19	9932,03	5,61	0,000	**
Lata — Years	70115,0	2	35057,50	9112,96	0,000	**
Interakcje — Interaction						
Odmiany × Miejscowości Cultivars × Locations	15860,7	570	27,83	1,35	0,000	**
AMMI						
IPC1	1471,5	48	30,66	4,46	0,000	**
IPC2	745,4	46	16,20	2,36	0,000	**
IPC3	467,5	44	10,62	1,55	0,014	*
IPC4	448,4	42	10,68	1,55	0,014	*
IPC5	431,4	40	10,78	1,57	0,014	*
IPC6	362,7	38	9,55	1,39	0,060	
Odmiany × Miejscowości Cultivars × Locations	2823,4	60	47,06	12,23	0,000	**
Miejscowości × Lata Locations × Years	67236,3	38	1769,38	459,94	0,000	**
Odmiany × Miejscowości × Lata Cultivars × Locations × Years	23504,5	1140	20,62	5,36	0,000	**
Błąd średniej Error of the mean		2179	3,85			

Wyniki te potwierdzają ogólną prawidłowość polegającą na tym, że kluczowym źródłem zmienności plonu różnych gatunków roślin uprawnych w przestrzeni rolniczej jest przeciętny wpływ środowisk, czyli miejscowości i lat (Annicchiarico, 2002 b; Mądry i in., 2006). Pozostała zmienność plonowania odmian była związana interakcją: genotypy × miejscowości (GL, 4,2%), genotypy × lata (GY, 0,7%), miejscowości × lata (LY, 17,7%) i genotypy × miejscowości × lata (GLY, 6,2%). Efekty interakcji GL oraz GLY mają duże znaczenie w kształtowaniu rodzaju funkcji reakcji plonu (lub innej cechy) odmian na warunki środowiskowe, zmienne w przestrzeni i czasie. Efekty interakcji GL decydują o rodzaju wieloletniej funkcji reakcji (średniej reakcji poprzez lata) badanej cechy odmian na warunki środowiskowe zmienne w przestrzeni określonego rejonu uprawy. Natomiast,

efekty interakcji GLY są wyrazem niepowtarzalności w latach funkcji reakcji odmian pod względem badanej cechy na przestrzennie zmienne warunki środowiskowe (Annicchiarico, 2002 b; Annicchiarico i in., 2006; Mądry i in., 2006; Roozeboom i in., 2008). Udział sumy kwadratów odchyłeń dla efektów interakcji zarówno GL, jak i GLY, dotyczących plonu ziarna, w całkowitej sumie kwadratów, wynoszące odpowiednio 4,2% i 6,2%, jest większy niż udział sumy kwadratów dla efektów głównych odmian, wynoszący 3,1%. Wskazuje to na relatywnie większe znaczenie obu efektów interakcji (GL i GLY) w uwarunkowaniu zmienności plonu ziarna w wykonanej serii doświadczeń, w porównaniu do efektów głównych odmian. Wynika stąd, że rodzaje reakcji plonowania badanych odmian na warunki przyrodnicze w stacjach doświadczalnych były znacząco zróżnicowane i dość słabo powtarzalne (zmiennie) w latach. Ten fakt uzasadnia podjętą w niniejszej pracy, szczegółową analizę i wykrywanie różnorodnych średnich wieloletnich funkcji reakcji plonu odmian na przestrzennie zmienne warunki przyrodnicze. W ten sposób można wskazać odmiany o szerokiej i wąskiej adaptacji w odniesieniu do warunków przyrodniczych w Polsce.

Dla średnich plonu ziarna z powtórzeń i lat badań, w klasyfikacji GL, przeprowadzono analizę wariancji na podstawie modelu stałego AMMI (tab. 2). Sumę kwadratów dla efektów interakcji GL rozłożono na składniki przyporządkowane interakcyjnym składowym głównym, z których pierwsze pięć istotnych wyjaśniało łącznie 78,9% wymienionej sumy kwadratów (odpowiednio: 30,66%, 16,2%, 10,60% i 10,62% dla każdej z kolejnych składowych głównych). Do oceny efektów interakcji GL wykorzystano pięć istotnych interakcyjnych składowych głównych, uzyskując w ten sposób oceny AMMI(5) efektów interakcji GL (Gauch, 1992, 2006; Gauch i in., 2008).

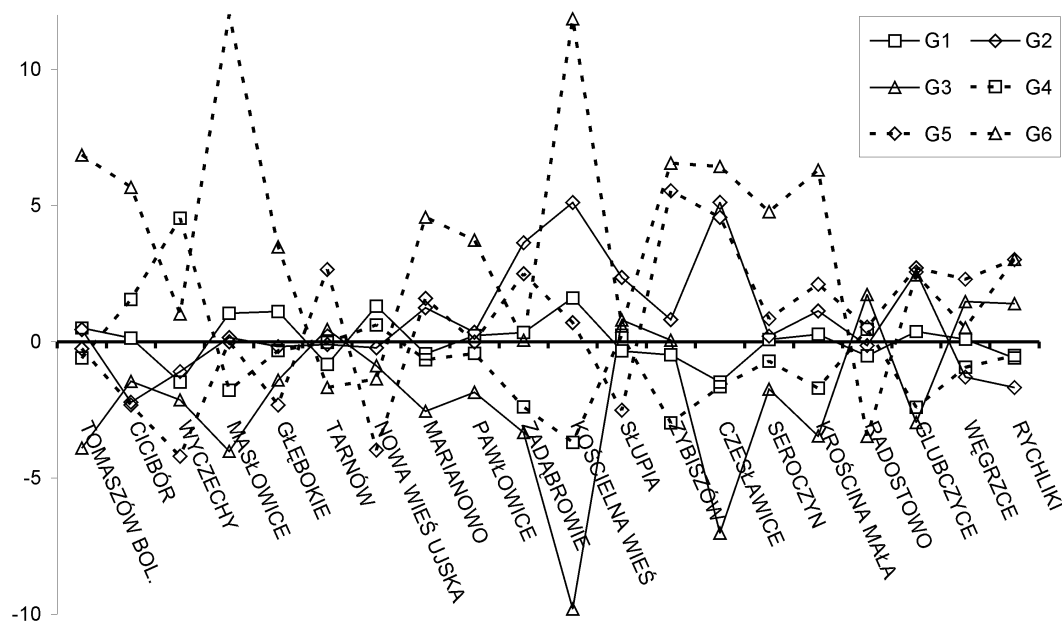
Grupowanie odmian podobnych pod względem kształtu reakcji plonowania na środowiska w miejscowościach za pomocą analizy skupień metodą Warda

Oceny AMMI(5) efektów interakcji GL w dalszej części pracy będą nazywane ocenami efektów interakcji GL. Wydzielono 6 grup odmian o podobnych profilach efektów interakcji GL dla plonu ziarna (o podobnych kształtach średniej wieloletniej funkcji reakcji plonu ziarna na środowiska w miejscowościach). Średnie grupowe ocen AMMI(5) efektów interakcji GL, obrazujące przeciętne kształty środowiskowej reakcji plonu odmian w poszczególnych grupach jednorodnych przedstawiono na rysunku 2. Na osi poziomej tych wykresów podano miejscowości w kolejności rosnących środowiskowych (stacyjnych) średnich plonów, zaś na osi pionowej podano oceny grupowych średnich ocen AMMI(5) efektów interakcji GL dla odmian w każdej grupie (Sivapalan i in., 2000; Zhang i in., 2006).

Grupy te podzielono na podgrupy o jednorodnych średnich genotypowych plonu, stosując analizę skupień Calińskiego i Corstena (1985). Przeciętne grupowe funkcje wieloletniej (średniej poprzez lata) reakcji plonu ziarna odmian pszenicy ozimej na warunki przyrodnicze w 20 Stacjach Doświadczalnych Oceny Odmian przedstawiono na wykresie (rys. 3). Miejscowości na osi poziomej zostały ułożone w kolejności rosnących średnich środowiskowych plonu (Sivapalan i in., 2000; Samonte i in., 2005; Zhang i in., 2006). Szarą linią na rysunku 3 przedstawiono średnią reakcję plonu wszystkich odmian na warunki środowiskowe w miejscowościach. Linia ta powstała przez przyporządkowanie

miejsowościom średnich środowiskowych plonu (średnich plonu wszystkich badanych odmian w miejscowości — średnio poprzez lata).

Na podstawie wykresu można stwierdzić, które podgrupy odmian wykazały się szeroką adaptacją do zmiennych warunków środowiskowych w przestrzeni rolniczej kraju. Zgodnie z ideologią przyjmowaną w hodowli roślin (Allard i Bradshaw, 1964; Sivapalan i in., 2000; Annicchiarico, 2002 a, b; Trethowan i in., 2002; Fufa i in., 2005; Samonte i in., 2005; Rodriguez i in., 2008), odmiany o szerokiej adaptacji są formami, które plonują powyżej średniej środowiskowej w znaczącej większości środowisk. O stopniu szerokiej adaptacji decyduje częstość plonowania danej odmiany powyżej średniej środowiskowej oraz wielkość tej przewagi. Odmianą o wąskiej adaptacji są obiekty, które plonują powyżej średniej środowiskowej w mniejszej grupie środowisk — stacji doświadczalnych.



Rys. 2. Średnie grupowe oceny AMMI(5) efektów interakcji GL dla plonu ziarna odmian pszenicy ozimej, obrazujące przeciętne grupowe kształty reakcji (średnio poprzez lata) plonu odmian na zmienne warunki środowiskowe w stacjach

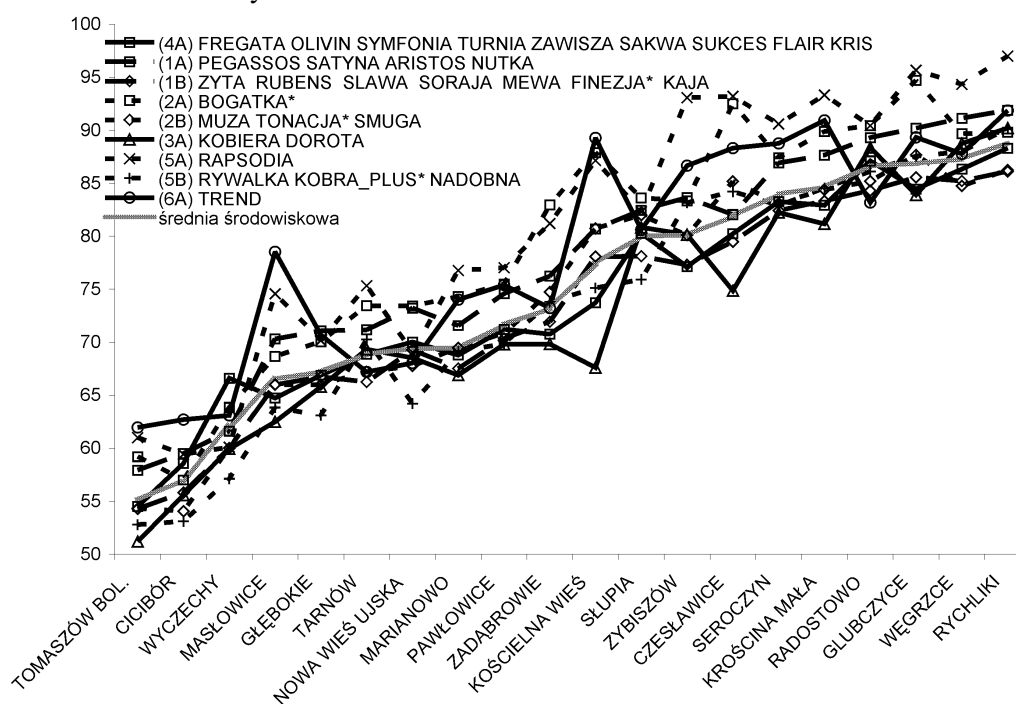
Fig. 2. The AMMI(5) estimates of GL interaction effects for grain yield of winter wheat genotypes within groups

Szeroką adaptację do różnych warunków środowiskowych w miejscowościach wykazały odmiany zaliczone do podgrup: 5A (Rapsodia), 2A (Bogatka) oraz 1A (Pegassos, Satyna, Aristos i Nutka). Odmiana Rapsodia plonowała powyżej średniej środowiskowej w 18 spośród 20 miejscowości, co świadczy o jej bardzo wysokich zdolnościach adaptacyjnych zarówno w miejscowościach o niskim jak i wysokim potencjale plonowania, przy czym widoczne jest przystosowanie do wysokoproduktywnych (sprzyjających)

warunków przyrodniczych. Tylko w warunkach stacji Wyczechy plonowanie tej odmiany było niższe od średniej środowiskowej.

Szeroką adaptacją wykazała się odmiana Bogatka. Jej plonowanie było w 16 miejscowościach wyższe od średniej środowiskowej, w pozostałych plonowała na poziomie średniej wszystkich badanych odmian. Bardzo stabilnie plonowały odmiany z grupy 1A, zawsze powyżej średniej środowiskowej w zróżnicowanych warunkach Polski.

Do odmian o wąskiej adaptacji możemy zaliczyć odmiany z grupy 3A (Kobiera i Dorota) i 5B (Rywalka, Kobra Plus i Nadobna). Odmiany Kobiera i Dorota plonowały lepiej w środowiskach o wyższej produktywności. W tych warunkach, również odmiany Rywalka, Kobra Plus i Nadobna wykazały się stabilnym plonowaniem na poziomie średnich środowiskowych.



Rys. 3. Różne rodzaje przeciętnych grupowych funkcji (średniej poprzez lata) plonu ziarna odmian pszenicy ozimej pod wpływem warunków środowiskowych w 20 Stacjach Doświadczalnych Oceny Odmian
Fig. 3. The effects of environmental conditions on yielding of winter wheat cultivars classified in homogeneous groups (mean for the years)

Do odmian relatywnie słabiej plonujących w warunkach przyrodniczych Polski należy grupa odmian 4A. W skład tej grupy wchodzi odmiany starsze (wcześniej zarejestrowane: Sakwa, Symfonia, Kris, Turnia), jak i wprowadzone do Rejestru odmian w ostatnich latach (Fregata, Olwin, Zawisza). Niższe plonowanie odmian starszych jest wynikiem rejestracji nowych odmian o coraz wyższej plenności, co świadczy o ciągłym postępie genetycznym

produktywności pszenicy ozimej w Polsce. Odmiany: Fregata, Oliwin i Zawisza należą do grupy jakościowej A. W przypadku tego typu odmian, ich wysoka przydatność w przemyśle młynarskim i piekarniczym, jest jednym z głównych czynników decydujących o ich rozpowszechnieniu w uprawie. Szerokie wprowadzenie do uprawy gwarantuje sukces ekonomiczny odmiany na rynku nasiennym, dostarczając środków finansowych na pokrycie kosztów prac hodowlanych, co umożliwi ich dalszy postęp w danej firmie.

Łączna analiza AMMI i skupień pozwoliła na wiarogodny podział odmian o podobnych genotypowych profilach efektów interakcji GE dla plonu na rozłączne podgrupy jednorodnie pod względem średniej genotypowej, wydzielić 9 grup odmian o jednorodnej środowiskowej reakcji plonu. Ułatwiło to klasyfikację odmian ze względu na rodzaj adaptacji. Dzięki tego rodzaju postępowaniu można wskazać grupy odmian wykazujących się szeroką i wąską adaptacją (intensywną, ekstensywną lub przystosowaną do specyficznych warunków środowiskowych). Poznanie rodzaju adaptacji zarejestrowanych odmian na podstawie ich funkcji środowiskowej reakcji plonu w oparciu o dane doświadczeń porejestrowych, jak i rejestrowych, powinno być jedną z podstawowych analiz dostarczających dodatkowych informacji niezbędnych w doskonaleniu doradztwa odmianowego i wdrażania odmian do uprawy w poszczególnych rejonach jednorodnych przyrodniczo lub w całym kraju.

WNIOSKI

1. Głównym źródłem zmienności plonu odmian pszenicy ozimej badanych w ramach doświadczeń porejestrowych był przeciętny wpływ miejscowości (stacji doświadczeniowych) i lat.
2. Rodzaje reakcji plonowania badanych odmian na warunki przyrodnicze w stacjach doświadczeniowych były znacząco zróżnicowane i dość słabo powtarzalne (zmienne) w latach, o czym świadczy relatywnie większe znaczenie (w porównaniu do efektów głównych odmian) efektów interakcji GL i GLY w uwarunkowaniu zmienności plonu ziarna pszenicy ozimej w wykonanej serii doświadczeń.
3. Szeroką adaptację do różnych warunków przyrodniczych w miejscowościach wykazały odmiany: Rapsodia, Bogatka, Pegassos, Satyna, Aristos i Nutka. Do odmian o wąskiej adaptacji można zaliczyć Kobierę i Dorotę, które plonowały lepiej w środowiskach o wyższej produktywności oraz Rywalkę, Kobrę Plus i Nadobną, które plonowały na poziomie średnich środowiskowych w tych warunkach.
4. W grupie odmian, które nie wykazały wyraźnej interakcji ze środowiskami w stacjach są odmiany wzorcowe, tj. Finezja i Tonacja. Zatem, stabilność ich plonowania w zróżnicowanych warunkach Polski wskazuje na efektywny dobór odmian wzorcowych dla Porejestrowego Doświadczenia Odmianowego.
5. Do odmian relatywnie słabiej plonujących w warunkach przyrodniczych Polski należy zaliczyć: Sakwa, Symfonia, Kris, Turnia, Fregata, Olwin i Zawisza.

LITERATURA

- Allard R. W., Bradshaw A. D. 1964. Implications of genotype-environmental interactions in applied plant breeding. *Crop Sci.* 4: 503 — 508.
- Annicchiarico P. 2002 a. Defining adaptation strategies and yield stability targets in breeding programmes. In: Quantitative genetics, genomics and plant breeding. Kang M.S. (Ed.), CABI, Wallingford, UK. 165 — 183.
- Annicchiarico P. 2002 b. Genotype-environment interactions: challenges and opportunities for plant breeding and cultivar recommendations. FAO Plant Production and Protection Paper No. 174. Food and Agriculture Organization, Rome.
- Annicchiarico P., Bellah F., Chiari T. 2006. Repeatable genotype-location interaction and its exploitation by conventional and GIS-based cultivar recommendation for durum wheat in Algeria. *Eur. J. Agron.* 24: 70 — 81.
- Caliński T., Corsten L. C. A. 1985. Clustering means in ANOVA by simultaneous testing. *Biometrics* 41: 39 — 48.
- Cornelius P. L. 1993. Statistical tests and retention of terms in the additive main effects and multiplicative interaction model for cultivar trials. *Crop Sci.* 33: 1186 — 1193.
- Elandt R. 1964. *Statystyka matematyczna w zastosowaniu do doświadczalnictwa rolniczego*. PWN, Warszawa.
- Fufa H., Baenziger P.S., Beecher B. S., Graybosch R.A., Eskridge K. M., Nelson L. A. 2005. Genetic improvement trends in agronomic performances and end-use quality characteristics among hard red winter wheat cultivars in Nebraska. *Euphytica* 144: 187 — 198.
- Gauch H. G. 1992. Statistical analysis of regional yield trials. AMMI analysis of factorial designs. Elsevier Science, New York.
- Gauch H. G. 2006. Statistical analysis of yield trials by AMMI and GGE. *Crop Sci.* 46: 1488 — 1500.
- Gauch H. G., Zobel R. W. 1996. AMMI analysis of yield trials. In: Genotype by environment interaction. M. S. Kang, H. G. Gauch (Ed.). CRC Press, Boca Raton: 85 — 122.
- Gauch H. G., Zobel R. W. 1997. Identifying mega-environments and targeting genotypes. *Crop Sci.* 37: 311 — 326.
- Gauch H. G., Piepho H. P., Annicchiarico P. 2008. Statistical analysis of yield trials by AMMI and GGE: Further considerations. *Crop Sci.* 48: 866 — 889.
- Kaczmarek Z. 1986. Analiza doświadczeń wielokrotnych zakładanych w blokach niekompletnych. *Roczniki Akademii Rolniczej w Poznaniu*: 155.
- Lillemo M., van Ginkel M., Trethowan R.M., Hernandez E., Crossa J. 2005. Differential adaptation of CIMMYT bread wheat to global high temperature environments. *Crop Sci.* 45: 2443 — 2453.
- Mądry W., Drzazga T., Laudański Z., Rajfura A., Krajewski P., Sieczko L. 2003. Statystyczna analiza adaptacji genotypów pszenicy ozimej na podstawie mieszanych modeli genotypowo-środowiskowych. *Fragm. Agron.* 80: 10 — 31.
- 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 — 31.
- Paderewski J. 2008. Przydatność modelu AMMI do badania reakcji roślin rolniczych na warunki środowiskowe. Praca doktorska, Wydział Rolnictwa i Biologii SGGW, Warszawa.
- Rodriguez M., Rau D., Papa R., Attene G. 2008. Genotype by environment interactions in barley (*Hordeum vulgare* L.): different responses of landraces, recombinant inbred lines and varieties to Mediterranean environment. *Euphytica* 163: 231 — 247.
- Roozeboom K. L., Schapaugh W.T., Tuinstra M. R., Vanderlip R. L., Milliken G. A. 2008. Testing wheat in variable environments: genotype, environment, interaction effects and grouping test locations. *Crop Sci.* 48: 317 — 330.
- Samonte S. O., Wilson L. T., McClung A. M., Medley J. C. 2005. Targeting cultivars onto rice growing environments using AMMI and SREG GGE biplot analyses. *Crop Sci.* 45: 2414 — 2424.
- SAS Institute. 2001. SAS system for Windows. v. 8.2. SAS Inst., Cary, NC.

- Singh R. P., Huerta-Espino J., Sharma R., Joshi A. K., Trethowan R. 2007. High yielding spring bread wheat germplasm for global irrigated and rainfed production systems. *Euphytica* 157: 351 — 363.
- Sivapalan S., O'Brien L., Ortiz-Ferrera G., Hollamby G. J., Barclay I., Martin P. J. 2000. An adaptation analysis of Australian and CIMMYT/ICARDA wheat germplasm in Australian production environments. *Aust. J. Agric. Res.* 51: 903 — 915.
- Trethowan R., Crossa J. 2007. Lessons learnt from forty years of international spring bread wheat trials. *Euphytica* 157: 385 — 390.
- Trethowan R. M., van Ginkel M., Rajaram S. 2002. Progress in breeding wheat for yield and adaptation in global drought affected environments. *Crop Sci.* 42: 1441 — 1446.
- Yan W., Hunt L. A. 1998. Genotype by environment interaction and crop yield. *Plant Breed. Rev.* 16:135 — 179.
- Zhang Y., He Z., Zhang A., van Ginkel M., Ye G. 2006. Pattern analysis on grain yield of Chinese and CIMMYT spring wheat cultivars grown in China and CIMMYT. *Euphytica* 147: 409 — 420.