

WIESŁAW MĄDRY
MARZENA IWAŃSKA

Katedra Doświadczalnictwa i Bioinformatyki, SGGW w Warszawie

Ilościowe miary szerokiej adaptacji odmian i ich zastosowanie w doświadczeniach wstępnych z pszenicą ozimą

Quantitative measures of the cultivar wide adaptation degree and their using in preliminary yield trials for winter wheat

W pracy wprowadzono trzy nowe koncepcje stopnia szerokiej adaptacji odmiany, odpowiednio w sensie I, II oraz III. Uznano, że stopień szerokiej adaptacji odmiany w określonym sensie może być charakteryzowany ilościowo za pomocą wskaźników statystycznych, nazywanych ilościowymi miarami stopnia szerokiej adaptacji odmiany w sensie I, II i III. Tymi wskaźnikami są odpowiednio miara nadrzędności plonu odmiany, P_i , miara niezawodności przewagi plonu odmiany, R_i oraz miara niezawodności przewagi o $d > 0$ plonu odmiany, $R_i(d)$. Wysłano hipotezę, że wymienione miary oceniają wzajemnie zgodnie, w sensie porządkowym, stopień szerokiej adaptacji badanych odmian, chociaż wyrażają go za pomocą różnych wielkości. Hipotezę sprawdzano na podstawie danych dla plonu ziarna z 15 wstępnych serii doświadczeń z pszenicą ozimą, przeprowadzonych w latach 1993-2007. Stwierdzono, że badane miary stopnia szerokiej adaptacji w sensie I, II i III porządkują zgodnie odmiany pszenicy ozimej w różnych zbiorach obiektów oraz warunkach przyrodniczych Polski i sezonach wegetacyjnych (latach). Do oceny stopnia szerokiej adaptacji odmian według każdej z trzech koncepcji, wystarczy jedna z rozważanych miar, która pozwala na wykrycie odmian o możliwie najwyższym lub bardzo wysokim stopniu szerokiej adaptacji w sensie I, II i III w rozpatrywanym rejonie uprawy. Ocena przydatności badanych miar stopnia szerokiej adaptacji odmian, oparta na analizie danych empirycznych dla plonu ziarna pszenicy ozimej, odnosi się przede wszystkim do tego gatunku. Jednakże, stanowi ona też wstępne wskazanie o podobnej przydatności tych miar dla innych gatunków roślin uprawnych.

Słowa kluczowe: doświadczenia wstępne, koncepcje stopnia szerokiej adaptacji odmiany, ilościowe miary stopnia szerokiej adaptacji, plon ziarna, pszenica ozima

In this paper three new concepts of cultivar's wide adaptation degree in I, II and III sense, respectively were presented. It was recognized that cultivar's wide adaptation degree in any considered sense can be measured using some statistical indices (measures) called quantitative measures of cultivar's wide adaptation degree in I, II and III sense. To do this, adequate quantitative measures like superiority measure, P_i , Eskridge's yield reliability measure, R_i and Eskridge's yield reliability function, $R_i(d)$ were selected. A hypothesis was formulated that the three measures of cultivar's wide adaptation degree can evaluate consistently, in order sense, wide adaptation degree of the tested cultivars although it is described by each of them in a specific way. The hypothesis was tested using

the data for grain yield of winter wheat from 15 of preliminary yield trials carried out across the years 1993–2007. As a result of the empirical studies good agreements were proved (high Spearman rank correlation coefficients) between each of pairs of quantitative measures of cultivar's wide adaptation degree in I, II and III sense within all sets of cultivars. Then, one may conclude that in evaluating wheat cultivar's wide adaptation degree only one of the considered measures could be sufficient. The conducted studies, as based on winter wheat grain yield data delivered new results regarding the investigated crop species. However, the conclusions also deliver important primary viewing on usefulness of the measures for evaluating adaptation degree of cultivars in other crops.

Key words: concepts of cultivar's wide adaptation degree, grain yield, preliminary yield trials, winter wheat, quantitative measures of the degree of cultivar wide adaptation

WPROWADZENIE

Ważną kategorią w hodowli roślin jest interakcja genotypowo-środowiskowa (GEI) dla danej cechy roślin (np. plonu), jest ona zjawiskiem ujawniającym się jako niejednakowe zróżnicowanie tej cechy odmian w różnych środowiskach. Wynika z tego, że interakcja GEI jest to różna (nierównoległa) reakcja danej cechy badanych odmian (np. plonu) na zmienne warunki środowiskowe (Basford i Cooper, 1998; Kang, 1998; Annicchiarico, 2002 a, b). Rozpatruje się trzy podejścia do interakcji GEI w hodowli roślin. Interakcję GEI można: 1) zignorować (Kang, 1998; Blanche i in., 2009), 2) wykorzystać do wyboru odmian o specyficznej adaptacji (Gauch i Zobel, 1997; Cooper, 1999; Annicchiarico, 2002 a, b) lub 3) wykorzystać brak interakcji GEI u niektórych odmian przy wyborze odmian o szerokiej adaptacji (Braun i in., 1996, 1998; Cooper, 1999, Annicchiarico, 2002 b; Scapim i in., 2010). W niniejszej pracy oraz w hodowli roślin najczęściej jest stosowane podejście trzecie do interakcji GEI. Głównym celem hodowli roślin rolniczych jest tworzenie nowych odmian o szerokiej zdolności adaptacyjnej do zmiennych środowisk w miejscowościach (agroekosystemów) w rozpatrywanym rejonie uprawy, a więc odmian, które jednocześnie plonują średnio wysoko w stosunku do innych odmian oraz ich plonowanie jest stabilne (Eskridge, 1990; Eskridge i Johnson, 1991; Eskridge i in., 1991; Rajfura i Mądry, 2001; Mądry, 2002; Yan i Kang, 2003).

Szeroką adaptacją odmiany nazywamy zdolność odmiany do tworzenia plonu na relatywnie wysokim poziomie w zmiennych warunkach środowiskowych rejonu uprawy, albo w latach lub w różnych systemach uprawy (Annicchiarico, 2002 a, b; Yan i Kang, 2003; Gauch i in., 2008). Pojęcie szerokiej adaptacji odmiany mimo częstego stosowania w teorii i praktyce hodowli oraz uprawy roślin, nie zostało dotychczas sformalizowane (Cooper i Byth, 1996; Joshi i in., 2007 b). W literaturze hodowlanej i biometrycznej spotyka się zwykle trzy aspekty heurystycznego traktowania szerokiej adaptacji odmian. W pierwszym aspekcie szeroka adaptacja odmiany jest traktowana jako jej plonowanie bliskie najwyższej plonujących odmian w większości środowisk rejonu uprawy (Eskridge, 1990; Fox i in., 1990; Eskridge i in., 1991; Braun i in., 1996, 1998; Blanche i in., 2009; Scapim i in., 2010). W drugim aspekcie szeroka adaptacja odmiany jest przeważaniem jej plonu o dowolną wartość nad średnimi środowiskowymi w większości środowisk rejonu uprawy, zaś w trzecim aspekcie jest ona traktowana jako przeważanie plonu odmiany o przynajmniej pewną wartość nad średnimi środowiskowymi w większości środowisk rejonu uprawy (St-

Pierre i in., 1967; Eskridge i Mumm, 1992; Eskridge i in., 1993; Braun i in., 1996; Herring i O'Brien, 2000; Kaut i in., 2009). Z przedstawionych rozważań wynika, że szeroka adaptacja odmiany, jako ważny atrybut rolniczy odmiany, wymaga lepszego sprecyzowania i sformalizowania, zgodnego z trzema podanymi wyżej aspektami. Rozsądnym podejściem był pomysł stopniowania szerokiej adaptacji odmiany. Zatem, w niniejszej pracy wprowadzamy trzy nowe koncepcje stopnia (natężenia) szerokiej adaptacji odmiany, tj. koncepcję stopnia szerokiej adaptacji odmiany w sensie (aspekcie) I, II oraz III.

- **Stopniem szerokiej adaptacji odmiany w sensie I** nazywamy podobieństwo reakcji plonu tej odmiany na środowiska do reakcji plonu maksymalnego w środowiskach.
- **Stopniem szerokiej adaptacji odmiany w sensie II** nazywamy prawdopodobieństwo (częstość) plonowania tej odmiany powyżej średnich środowiskowych w zbiorze środowisk.
- **Stopniem szerokiej adaptacji odmiany w sensie III** jest częstość plonowania tej odmiany powyżej średnich środowiskowych o wartość przynajmniej $d > 0$ w zbiorze środowisk.

Autorzy pracy uznali, że stopień szerokiej adaptacji odmiany w sensie I, II i III może być charakteryzowany ilościowo (mierzony) za pomocą pewnych wskaźników statystycznych. Wskaźniki te nazwiemy ilościowymi miarami stopnia szerokiej adaptacji odmiany w sensie I, II i III. Ilościową miarą stopnia szerokiej adaptacji odmiany w sensie I jest miara nadrzędności plonowania odmiany, P_i (ang. *superiority measure*) — (Lin i Binns, 1988; Piepho, 1995). Jako ilościową miarę stopnia szerokiej adaptacji odmiany w sensie II przyjęto miarę niezawodności przewagi plonowania odmiany, R_i (ang. *Eskridge's yield reliability measure*) — (Eskridge i Mumm, 1992; Eskridge i in., 1993; Piepho, 1998). Natomiast, ilościową miarą stopnia szerokiej adaptacji odmiany w sensie III jest miara niezawodności przewagi o $d > 0$ plonu odmiany, $R_i(d)$ (ang. *Eskridge's yield reliability function*) — (Eskridge, 1990; Eskridge i in., 1993). Każda z podanych miar jest oparta na parametrach modelu mieszanego (Shukla, 1972; Mądry, 2003).

Celem przeprowadzonych badań jest:

- przedstawienie statystycznych podstaw ilościowych miar stopnia szerokiej adaptacji odmian w sensie I, II i III.
- empiryczne sprawdzenie hipotezy statystycznej, że trzy ilościowe miary stopnia szerokiej adaptacji oceniają wzajemnie zgodnie, w sensie porządkowym, stopień szerokiej adaptacji badanych odmian

Postawioną hipotezę sprawdzono na podstawie danych dla plonu ziarna pszenicy ozimej z 15 serii doświadczeń wstępnych, przeprowadzonych w latach 1993–2007.

MATERIAŁ I METODY BADAŃ

Material

W badaniach wykorzystano dane dla plonu ziarna z 15 serii doświadczeń wstępnych z odmianami pszenicy ozimej, pochodzącymi z różnych ośrodków hodowlanych w Polsce (tab. 1). Doświadczenia, te przeprowadzono w latach 1993–2007, w koordynacji z IHAR,

Oddział w Krakowie. Pojedyncze doświadczenia jednoczynnikowe były zakładane w układzie bloków niekompletnych rozkładalnych. Liczba powtórzeń wynosiła 4 w latach 1993–2000, a od roku 2001 została zredukowana do 3. Wielkość poletek wynosiła 10 m² (10 m × 1 m). Liczba odmian w badanych seriach była różna, zmieniała się od 53 do 86. Testowane odmiany w każdej serii doświadczeń stanowią w przybliżeniu próbę reprezentatywną zbioru odmian pszenicy ozimej, wytwarzanych w Polsce. Liczba miejscowości w latach zmieniała się od 14 do 7, były one wybierane spośród 16 miejscowości, reprezentujących główne rejony uprawy pszenicy ozimej w Polsce. W poszczególnych latach stosowano różne odmiany wzorcowe, tj. Emikę, Almari, Kobrę, Elenę, Tonację i Turkus (tab. 1).

Tabela 1
Charakterystyka 15 serii doświadczeń wstępnych z pszenicą ozimą w latach 1993–2007
Characteristic of the 15 preliminary yield trials for winter wheat cultivars carried out across the years 1993–2007

Rok Year	Liczba odmian No. of cultivars	Liczba miejscowości i ich kody No. of locations and their codes	Odmiany wzorcowe Check cultivars	Liczba powtórzeń No. of replicates
1993	53	14 BOA, DAD, DED, KOC, KOH, MIB, NAD POP, OLH, OZH, POB, SMH, SOD, STH, ULC	Emika, Almari	4
1994	61	14 BOA, DAD, DED, KOC, KOH, MIB, NAD, OLH, OZH, POB, SMH, SOD, STH, ULC	Emika, Almari	4
1995	63	14 BOA, DAD, DED, KOC, KOH, MIB, NAD, OLH, OZH, POB, SMH, SOD, STH, ULC	Emika, Almari	4
1996	64	14 BOA, DAD, DED, KOC, KOH, MIB, NAD, OLH, OZH, POB, SMH, SOD, STH, ULC	Almari, Elena	4
1997	62	14 BOA, DAD, DED, KOC, KOH, MIB, NAD, OLH, OZH, POB, SMH, SOD, STH, ULC	Almari, Elena	4
1998	59	14 DAD, DED, KOC, KOH, MIB, NAD, OLH, OZH, POB, SMH, SOD, STH, SZD, ULC	Almari, Elena	4
1999	67	11 DAD, DED, KOC, MIB, NAD, OLH, OZH, POB, SMH, SOD, SZD	Kobra, Elena	4
2000	71	7 DED, KOC, NAD, POB, SMH, STH, SZD	Kobra, Elena	4
2001	77	8 DAD, DED, KOC, NAD, POB, SMH, STH, SZD	Kobra, Elena	3
2002	78	8 DED, KOC, LAD, NAD, POB, SMH, STH, SZD	Kobra, Tonacja	3
2003	86	8 DED, KOC, LAD, NAD, POB, SMH, STH, SZD	Kobra, Tonacja	3
2004	56	7 DED, KOC, NAD, POB, SMH, STH, SZD	Kobra, Tonacja	3
2005	57	7 DED, KOC, NAD, POB, SMH, STH, SZD	Kobra, Tonacja	3
2006	59	7 DED, KOC, NAD, POB, SMH, STH, SZD	Kobra, Tonacja	3
2007	64	7 DED, KOC, NAD, POB, SMH, STH, SZD	Turkus, Tonacja	3

Wyjaśnienie kodów miejscowości: BOA-Borów, DAD-Dańków, DED-Dębina, KOC-Kobierzyce, KOH-Kończewice, LAD-Laski, MIB-Mikulice, NAD-Nagradowice, OLH-Oleśnica, OZH-Ożańsk, POB-Polanowice, SMH-Smolice, SOD-Sobótka, STH-Strzelce, ULC-Ulhówek, SZD-Szelejewo

Explanation of location codes: BOA-Borów, DAD-Dańków, DED-Dębina, KOC-Kobierzyce, KOH-Kończewice, LAD-Laski, MIB-Mikulice, NAD-Nagradowice, OLH-Oleśnica, OZH-Ożańsk, POB-Polanowice, SMH-Smolice, SOD-Sobótka, STH-Strzelce, ULC-Ulhówek, SZD-Szelejewo

Model statystyczny

Do analizy średnich poprawionych, \bar{y}_{ij} , dla plonu ziarna z serii doświadczeń wstępnych zastosowano model mieszany analizy wariancji (Shukla, 1972; Caliński i in., 1997; Mądry 2003):

$$\bar{y}_{ij} = m + g_i + e_j + ge_{ij} + \bar{\varepsilon}_{ij} \quad (1)$$

gdzie:

\bar{y}_{ij} jest średnią poprawioną obserwacji plonu z n powtórzeń dla i -tej odmiany ($i=1,2,\dots,I$) w j -tej miejscowości ($j=1,2,\dots,J$), m jest średnią ogólną, g_i jest stałym efektem głównym i -tej odmiany, e_j jest losowym efektem głównym j -tej miejscowości, ge_{ij} jest losowym efektem interakcji i -tej odmiany z j -tą miejscowością, $\bar{\varepsilon}_{ij}$ jest średnim błędem doświadczalnym dla (i,j) -tej kombinacji odmiany i miejscowości.

Analiza statystyczna danych

Dla danych dotyczących plonu ziarna z serii doświadczeń wstępnych przeprowadzono dwustopniową analizę statystyczną. W pierwszym kroku, wykonano analizę wariancji danych z pojedynczych doświadczeń, oddzielnie w miejscowościach. Obliczono średnie poprawione za pomocą estymatora BLUE dla odmian oraz średnie kwadraty odchyłeń dla błędu doświadczalnego. Przy estymacji średnich poprawionych dla odmian przyjęto restrykcje ważone na efekty odmianowe, aby były one jednoznacznie estymowalne (Patterson i Williams 1976, Pilarczyk 1988). Do analizy danych z doświadczeń pojedynczych zastosowano program Eksplan wersja 2. W drugim kroku, wykonano łączną analizę wariancji według mieszanego modelu (1) dla średnich poprawionych w klasyfikacji odmiany \times miejscowości w każdej serii doświadczeń, posługując się programem Statgraphics Plus wersja 4.1. Za pomocą programu Statgraphics obliczono sumy kwadratów odchyłeń dla efektów głównych odmian i miejscowości oraz interakcji GE. Oszacowano trzy ilościowe miary stopnia szerokiej adaptacji odmian w sensie I, II i III w każdej serii doświadczeń. Wszystkie trzy ilościowe miary stopnia szerokiej adaptacji odmian obliczono za pomocą własnych aplikacji w arkuszu kalkulacyjnym Excel, na podstawie średnich poprawionych w dwukierunkowej klasyfikacji odmiany \times miejscowości. Statystyczne badanie zgodności tych miar wykonano za pomocą analizy korelacji rang Spearmana w każdej serii doświadczeń. Badanie to polegało na ocenie współczynników korelacji rang pomiędzy każdą parą spośród trzech miar, posługując się programem statystycznym Statgraphics Plus wersja 4.1. Oceniono także powtarzalność współczynników korelacji rang w rozpatrywanych seriach doświadczeń, wykorzystując odchylenie standardowe, obliczone w arkuszu kalkulacyjnym Excel. Powtarzalność współczynników korelacji rang jest tym większa, im mniejsza jest wartość odchylenia standardowego dla tego parametru w seriach doświadczeń.

WYNIKI I DYSKUSJA

Podstawy ilościowych miar stopnia szerokiej adaptacji odmiany w sensie I, II i III Miara nadrzędności plonowania i -tej odmiany, P_i

Definicja. Miara P_i jest połową średnich kwadratów różnic plonu i -tej odmiany od plonu maksymalnego w środowiskach, czyli (Lin i Binns, 1988):

$$P_i = \sum_{j=1}^J (\bar{y}_{ij} - M_j)^2 / 2J \quad (2)$$

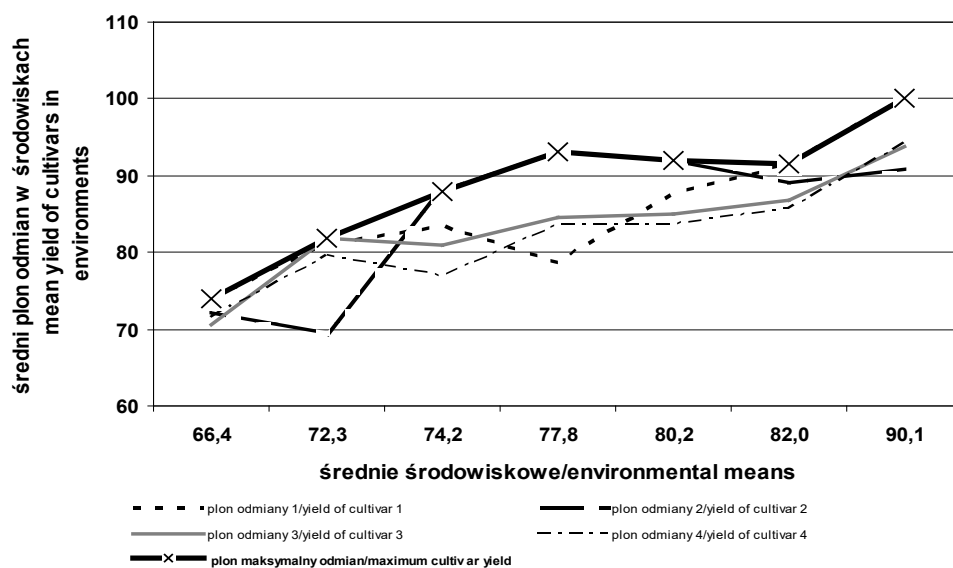
gdzie:

\bar{y}_{ij} jest średnim plonem i -tej odmiany z n powtórzeń w j -tym środowisku, M_j jest średnim plonem maksymalnym w j -tym środowisku, J jest liczbą badanych środowisk.

P_i jest parametryczną miarą, opartą na teorii statystyki opisowej i estymatorach parametrów modelu (1).

Interpretacja. Odmiana ma tym większy stopień szerokiej adaptacji w sensie I, im jej plonowanie jest bliższe maksymalnemu plonowaniu w miejscowościach, czyli środowiskowa reakcja plonu tej odmiany jest bardziej podobna do reakcji plonu maksymalnego. Wynika stąd, że im wartość miary nadrzędności plonowania i -tej odmiany, P_i , jest mniejsza (bliższa zera), tym odmiana posiada wyższy stopień szerokiej adaptacji w sensie I.

Ilustracja interpretacji miary. Na rysunku 1 zobrazowano reakcję plonowania czterech odmian pszenicy ozimej wybranych z pewnej serii doświadczeń wstępnych w siedmiu miejscowościach.



Rys. 1. Ilustracja interpretacji miary nadrzędności plonowania odmiany, P_i
Fig. 1. Graphical illustration of superiority measure, P_i

Na osi 0X przedstawiono miejscowości w postaci średnich środowiskowych dla plonu, zaś na osi 0Y, podano plon odmian. Każda linia łamana pokazuje plonowanie danej odmiany w miejscowościach. Linia z krzyżykami łączy plony najwyższej plonującej odmiany w miejscowościach, czyli jest reakcją plonu maksymalnego na środowiska. Miara nadrzędności plonowania odmiany jest oceną podobieństwa reakcji plonu każdej z odmian w miejscowościach do reakcji plonu maksymalnego. Z wizualizacji podobieństwa obu tych reakcji wynika, że dwie odmiany (1 i 2) plonowały w siedmiu miejscowościach bardziej podobnie (w mniejszej odległości) w stosunku do reakcji plonu maksymalnego, niż dwie inne odmiany (3 i 4). Dla odmian 1 i 2 wartość P_i jest mniejsza, niż dla odmian 3 i 4. Zatem, odmiany 1 i 2 mają większy stopień szerokiej adaptacji w sensie I, niż odmiany 3 i 4.

Miara niezawodności przewagi plonowania odmiany, R_i

Definicja. Miara R_i jest prawdopodobieństwem plonowania i -tej odmiany powyżej średnich środowiskowych w zbiorze miejscowości, czyli (Eskridge i Mumm 1992):

$$R_i = P\{(m_i - m_e) \geq 0\} \quad (3)$$

gdzie:

$P(\cdot)$ jest prawdopodobieństwem zdarzenia, m_i jest plonem i -tej odmiany w zbiorze miejscowości, m_e jest średnią środowiskową plonu w miejscowościach.

R_i jest parametryczną miarą, opartą na probabilistycznej teorii statystyki matematycznej i parametrach modelu (1).

Interpretacja. Odmiana posiada tym większy stopień szerokiej adaptacji w sensie II, im większe jest prawdopodobieństwo jej plonowania powyżej średnich środowiskowych w zbiorze miejscowości. Im wartość miary R_i jest bliższa 1, tym odmiana posiada wyższy stopień szerokiej adaptacji w sensie II. Odmiana, dla której miara R_i jest równa 1 plonuje zawsze powyżej średnich środowiskowych w zbiorze miejscowości. Zatem, taka odmiana wykazuje najwyższy możliwy stopień szerokiej adaptacji w sensie II.

Estymacja. Do oszacowania R_i na podstawie średnich dla klasyfikacji odmiany \times miejscowości, zastosujemy estymator \hat{R}_i o postaci:

$$\hat{R}_i = \frac{l_i}{J} \quad (4)$$

gdzie:

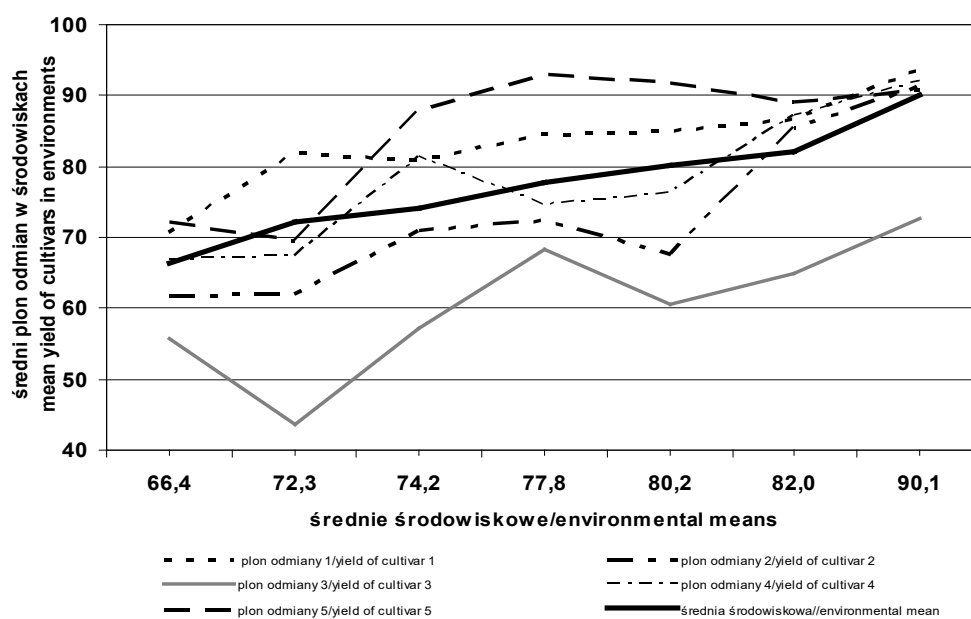
l_i jest liczbą miejscowości, w których plon i -tej odmiany,

\bar{y}_{ij} , przekroczył średni plon środowiskowy $\bar{y}_{.j}$,

J jest liczbą badanych miejscowości w serii doświadczeń.

Ilustracja interpretacji miary. W sytuacji doświadczalnej estymatorem miary R_i jest częstość przewagi plonu i -tej odmiany \bar{y}_{ij} ponad średni plon środowiskowy $\bar{y}_{.j}$ (równanie 4). Na rysunku 2 zobrazowano środowiskową reakcję plonowania pięciu odmian pszenicy ozimej, wybranych z pewnej serii doświadczeń wstępnych, wykonanej w siedmiu miejscowościach. Każda linia łamana pokazuje plonowanie danej odmiany w miejscowościach, czyli reakcję plonu na środowiska w miejscowościach. Pogrubiona podwójnie ciągła linia łączy średnie środowiskowe dla plonu w miejscowościach i stanowi środowiskową średnią reakcję badanych odmian na środowiska lub krótko jest nazywana średnią

środowiskową. Rozpatrzmy częstości przekraczania plonu każdej odmiany ponad średnią środowiskową w miejscowościach, czyli wartości estymatora miary R_i . Odmiana 1 plonowała we wszystkich miejscowościach powyżej średniej środowiskowej (linii ciągłej podwójnie pogrubionej), więc częstość przekraczania jej plonu ponad średnią środowiskową wynosi 1. Odmiana 5 plonowała w 6 na 7 miejscowości ponad średnią środowiskową, czyli częstość przekraczania jej plonu ponad średnią środowiskową wynosi 0,87. Dwie odmiany, 4 i 2, plonowały powyżej średniej środowiskowej z częstością znacznie niższą, równą 0,57 i 0,30. Odmiana 3 plonowała we wszystkich 7 miejscowościach poniżej średniej środowiskowej, czyli częstość przekraczania plonu tej odmiany ponad średnią środowiskową wynosi 0. Zatem, odmiana 1 wykazuje najwyższy możliwy stopień szerokiej adaptacji w sensie II, równy 1. Odmiany 5, 4 i 2 odznaczają się coraz niższym stopniem szerokiej adaptacji w sensie II. Natomiast, odmiana 3 nie posiada ewidentnie szerokiej adaptacji w sensie II.



Rys. 2. Ilustracja estymatora miary niezawodności przewagi plonu odmiany, \hat{R}_i

Fig. 2. Graphical illustration of the estimator of Eskridge's yield reliability measure, \hat{R}_i

Miara niezawodności przewagi o d_i plonu odmiany, $R_i(d)$

Definicja. Miara $R_i(d)$ jest prawdopodobieństwem plonowania i -tej odmiany powyżej średnich w środowiskach o przynajmniej wartości $d > 0$ w zbiorze miejscowości, czyli (Eskridge i in., 1993):

$$R_i(d) = P\{(m_i - m_e) \geq d\} \quad (5)$$

gdzie:

$P(\cdot)$ jest prawdopodobieństwem zdarzenia,

m_i jest plonem i -tej odmiany w zbiorze miejscowości,

m_e jest średnią środowiskową plonu w miejscowościach,

$d \in \langle 0, d_{max} \rangle$ jest wartością minimalnej przewagi plonu odmiany nad średnią środowiskową, określaną *a posteriori* przez specjalistów, na podstawie zróżnicowania średnich genotypowych plonu w badanym zbiorze odmian, w taki sposób, aby nawet dla górnej wartości przewagi (d_{max}), miara $R_i(d)$ była jeszcze kryterium różnicującym badane odmiany.

Interpretacja. Odmiana posiada tym większy stopień szerokiej adaptacji w sensie III, im większe jest prawdopodobieństwo jej plonowania powyżej średnich środowiskowych o przynajmniej wartości $d > 0$ w zbiorze miejscowości. Im wartość miary niezawodności przewagi o d plonu odmiany, $R_i(d)$, jest bliższa 1, tym odmiana posiada wyższy stopień szerokiej adaptacji w sensie III.

Estymacja. Przed oszacowaniem miary niezawodności przewagi o $d > 0$ plonu i -tej odmiany, $R_i(d)$, konieczne jest określenie wartości d . W niniejszej pracy przyjmujemy wartość $d = 0,25 (\bar{y}_{i\ max} - \bar{y}_{..})$, gdzie $\bar{y}_{i\ max}$ jest maksymalną średnią genotypową plonu wśród badanych odmian, $\bar{y}_{..}$ jest średnią ogólną plonu dla danej serii doświadczeń odmianowych (Iwańska i in., 2008). Wybrana wartość przewagi plonu d tworzy umiarkowanie podniesioną normę („poprzeczkę”) wysokości plonu dla oceny stopnia szerokiej adaptacji w sensie III u badanych odmian. Do oszacowania miary niezawodności przyjętej przewagi o d plonu i -tej odmiany, zastosujemy estymator: $\hat{R}_i(d)$ o postaci:

$$\hat{R}_i(d) = \frac{l_{i(d)}}{J} \quad (6)$$

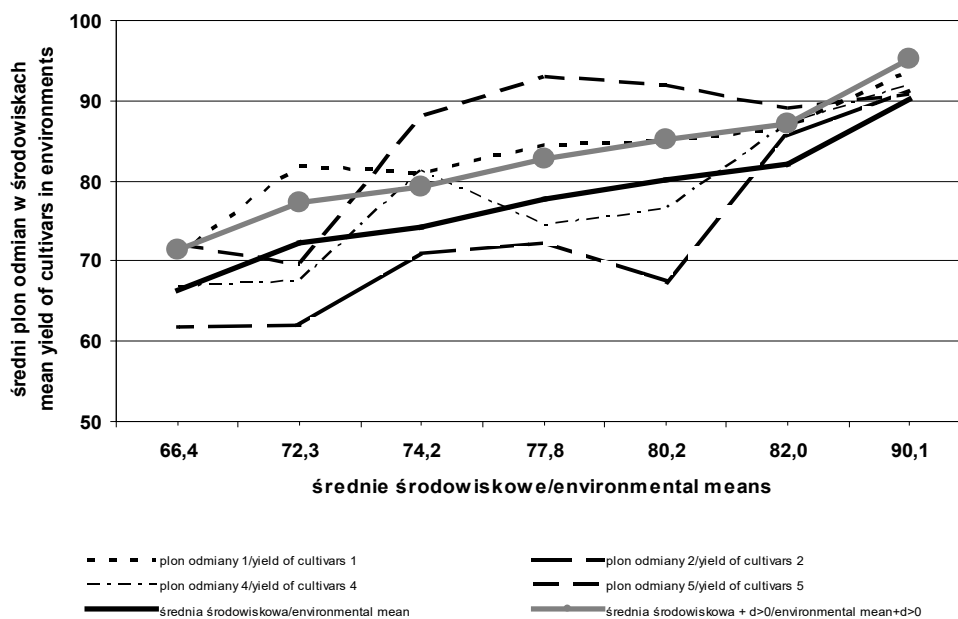
gdzie:

$l_{i(d)}$ jest liczbą miejscowości, w których plon i -tej odmiany przekroczył średni plon środowiskowy o przynajmniej wartości $d > 0$, J jest liczbą badanych miejscowości w serii doświadczeń.

Ilustracja interpretacji miary

Na rysunku 3, dotyczącym tych samych odmian w serii doświadczeń, co na rysunku 2, rozpatrujemy częstości przekraczania plonu każdej z czterech odmian ponad średnią środowiskową o przynajmniej wartości $d > 0$, wybraną arbitralnie (ciągła linia z kropkami) w miejscowościach. Wykluczono odmianę 3, bo plonowała ona zawsze poniżej średniej środowiskowej (rys. 2). Odmiana 5 plonowała w 4 spośród 7 miejscowości powyżej średniej środowiskowej o przynajmniej wartości $d > 0$ (linii z kropkami), czyli częstość rozpatrywanej przewagi plonowania tej odmiany wynosi 0,57. Dwie odmiany, 1 i 4,

plonowały ponad średnią środowiskową o przynajmniej wartość $d>0$ z częstością odpowiednio równą 0,43 i 0,14. Odmiana 2 nie plonowała powyżej $d>0$ od średniej środowiskowej we wszystkich 7 miejscowościach ($\hat{R}_i(d) = 0$). Zatem, nie posiadała ona szerokiej adaptacji w sensie III. Odmiana 5 wykazuje najwyższy stopień szerokiej adaptacji w sensie III, wśród czterech rozpatrywanych odmian, chociaż jest on daleki od maksymalnego stopnia tego rodzaju szerokiej adaptacji. Odmiany 1 i 4 odznaczają się niższym stopniem szerokiej adaptacji w sensie III, niż odmiana 5.



Rys. 3. Ilustracja estymatora miary niezawodności przewagi o $d>0$ plonu odmiany, $\hat{R}_i(d)$

Fig. 3. Graphical illustration of the estimator of Eskridge's yield reliability function, $\hat{R}_i(d)$

WYNIKI BADAŃ EMPIRYCZNYCH

Łączna analiza wariancji według modelu mieszanego (1) dla plonu ziarna

Łączna analiza wariancji dla średnich poprawionych plonu ziarna odmian pszenicy ozimej wykazała istotne efekty główne dla odmian i miejscowości oraz istotne efekty interakcji GEI w każdej serii doświadczeń (tab. 2). Wskazuje to, że badane odmiany w seriach doświadczeń były zróżnicowane pod względem średnich plonów oraz kształtu ich reakcji plonowania na zmienne warunki środowiskowe. Także z racji na zróżnicowanie ich średnich genotypowych, porównywane odmiany w obrębie serii doświadczeń wykazywały różny stopień szerokiej adaptacji. Wobec tego, uzasadniona jest ocena porównawcza ich stopnia szerokiej adaptacji za pomocą proponowanych miar i badanie podobieństwa wyników tej oceny, dokonanej przez rozpatrywane miary.

Tabela 2

Łączna analiza wariancji według modelu (1) dla plonu ziarna pszenicy ozimej z 15 serii doświadczeń wstępnych, wykonanych w latach 1993-2007

Combined analysis of variance according to the model (1) for winter wheat grain yield from 15 preliminary yield trials carried out across the years 1993-2007

Źródła zmienności Sources of variation	Rok/Year 1993			Rok/Year 1994			Rok/Year 1995			Rok/Year 1996		
	df	MS	Istot.	df	MS	Istot.	df	MS	Istot.	df	MS	Istot.
Odmiana G Cultivar G	52	167,73	**	60	162,70	**	62	180,42	**	63	162,38	**
Miejscowość E Location E	13	10491,46	**	13	9099,62	**	13	8254,69	**	13	8138,85	**
Interakcja G×E G×E interaction	676	29,61	**	780	23,56	**	806	21,20	**	819	29,92	**
Błąd średni Mean error	1792	7,56		2128	5,88		2212	5,35		2254	5,18	
Źródła zmienności Sources of variation	Rok/Year 1997			Rok/Year 1998			Rok/Year 1999			Rok/Year 2000		
	df	MS	Istot.	df	MS	Istot.	df	MS	Istot.	df	MS	Istot.
Odmiana G Cultivar G	61	352,40	**	58	109,57	**	66	122,06	**	70	81,08	**
Miejscowość E Location E	13	6675,18	**	13	10987,38	**	10	6063,93	**	6	3807,33	**
Interakcja G×E G×E interaction	793	31,69	**	754	20,46	**	660	18,57	**	420	20,48	**
Błąd średni Mean error	2170	5,04		2044	4,95		1826	4,75		1246	6,24	
Źródła zmienności Sources of variation	Rok/Year 2001			Rok/Year 2002			Rok/Year 2003			Rok/Year 2004		
	df	MS	Istot.	df	MS	Istot.	df	MS	Istot.	df	MS	Istot.
Odmiana G Cultivar G	76	153,38	**	77	72,87	**	85	197,40	**	55	118,78	**
Miejscowość E Location E	7	6152,24	**	7	4012,34	**	7	32834,14	**	6	3268,20	**
Interakcja G×E G×E interaction	532	24,63	**	539	22,35	**	595	46,18	**	330	21,50	**
Błąd średni Mean error	1024	7,30		1040	5,81		1144	6,79		623	6,65	
Źródła zmienności Sources of variation	Rok/Year 2005			Rok/Year 2006			Rok/Year 2007					
	df	MS	Istot.	df	MS	Istot.	df	MS	Istot.			
Odmiana G Cultivar G	56	90,38	**	58	115,24	**	63	77,56	**			
Miejscowość E Location E	6	4564,62	**	6	3412,12	**	6	4577,67	**			
Interakcja G×E G×E interaction	336	22,88	**	348	35,48	**	378	22,40	**			
Błąd średni Mean error	980	9,31		1022	6,24		1127	5,93				

Istot. — Istotność; Significance

** Oznacza istotne efekty przy poziomie istotności $\alpha = 0,01$, $P < 0,01$

** Denotes significant effects at the significance level of $\alpha = 0.01$, $P < 0.0$

Badanie zgodności ilościowych miar stopnia szerokiej adaptacji odmian w sensie I, II i III

Na podstawie średnich ocen współczynników korelacji rang z 15 serii doświadczeń pomiędzy każdą parą spośród trzech ilościowych miar stopnia szerokiej adaptacji odmian w sensie I, II i III (\bar{r}_s) wraz z odchyleniami standardowymi ocen tych współczynników korelacji, SD (tab. 3), zbadano zgodność uporządkowania odmian pszenicy ozimej pod względem każdej pary tych ilościowych miar. Stwierdzono silne korelacje pomiędzy każdą parą tych miar ilościowych (średnie współczynniki korelacji były następujące: dla P_i i \hat{R}_i , $\bar{r}_s = -0,91$, dla P_i i $\hat{R}_i(d)$, $\bar{r}_s = -0,87$ oraz dla \hat{R}_i i $\hat{R}_i(d)$, $\bar{r}_s = 0,90$). Oceny tych współczynników korelacji pomiędzy każdą parą spośród trzech miar ilościowych były zawsze duże co do wartości bezwzględnej i istotne oraz powtarzalne (podobne) we wszystkich seriach doświadczeń (małe wartości odchylenia standardowego, odpowiednio równe: $SD = 0,03; 0,03; 0,03$).

Tabela 3

Średnie oceny współczynników korelacji rang między ilościowymi miarami stopnia szerokiej adaptacji i odchylenia standardowe ocen tych współczynników korelacji z 15 serii doświadczeń wstępnych z pszenicą ozimą, w latach 1993–2007

Mean estimates of rank correlation coefficients between the quantitative measures of the degree of wide adaptation and standard deviations of the estimates of these correlation coefficients from 15 preliminary yield trials for winter wheat across the years 1993–2007

Miary stopnia szerokiej adaptacji Measures of the degree of wide adaptation	Parametry Parameters	\hat{P}_i	\hat{R}_i
\hat{R}_i	\bar{r}_s	-0,91	
	SD	0,03	
$\hat{R}_i(d)$	\bar{r}_s	-0,87	0,90
	SD	0,03	0,03

\bar{r}_s — Średni współczynnik korelacji rang, SD – odchylenie standardowe ocen współczynników korelacji rang

\bar{r}_s — Mean Spearman's rank correlation coefficients; SD – standard deviation of rank correlations coefficients

Wyniki tych badań potwierdzają empirycznie, postawioną w rozprawie hipotezę, że trzy oceniane ilościowe miary stopnia szerokiej adaptacji odmian porządkują podobnie badane zbiory odmian pszenicy ozimej pod względem stopnia szerokiej adaptacji w sensie I, II i III. Oznacza to, że odmiany wykazujące duży stopień szerokiej adaptacji w sensie I, posiadają przeważnie duży stopień szerokiej adaptacji w sensie II oraz w sensie III. Zatem, odmiany plonujące blisko plonu maksymalnego w zbiorze miejscowości (można to poznać po małej wartości P_i , co wskazuje na wysoki stopień szerokiej adaptacji w sensie I), także często plonują powyżej średniej środowiskowej w tych miejscowościach, a także bardzo często plonują wyżej o przynajmniej wartość d od średniej środowiskowej w tych miejscowościach (można to poznać po wartościach R_i i $R_i(d)$, równych 1 lub bardzo bliskich 1, co wskazuje na wysoki stopień szerokiej adaptacji w sensie II i III). Zatem, do oceny stopnia szerokiej adaptacji odmian w każdym rozpatrywanym sensie, wystarczy jedna z trzech miar, tj. P_i , R_i lub $R_i(d)$. Inaczej mówiąc, te trzy miary mogą być stosowane alternatywnie zarówno do ilościowej, jak i porządkowej oceny stopnia szerokiej adaptacji

odmian w każdym z podanych wyżej aspektów. Jest to poważny walor teoretyczny i aplikacyjny rozpatrywanych aspektów i koncepcji stopnia szerokiej adaptacji odmian.

WNIOSKI

1. Ilościowe miary stopnia szerokiej adaptacji odmiany w sensie I, II i III są prosto interpretowalnymi oraz przydatnymi charakterystykami liczbowymi szerokiej adaptacji według każdej z trzech koncepcji,
2. Badane miary porządkują zgodnie odmiany pszenicy ozimej w różnych zbiorach odmian, warunkach przyrodniczych Polski oraz sezonach wegetacyjnych (latach),
3. Do uporządkowania odmian pod względem stopnia szerokiej adaptacji według każdej z trzech koncepcji, wystarcza jedna z rozpatrywanych miar, która pozwala przez to na wykrycie odmian o relatywnie najwyższym stopniu szerokiej adaptacji w sensie I, II i III,
4. W praktyce hodowlanej nie jest konieczne stosowanie jednocześnie wszystkich trzech miar do ilościowej oceny stopnia szerokiej adaptacji odmian, chociaż może być to uzasadnione dla wszechstronnej charakterystyki natężenia szerokiej adaptacji odmian,
5. Ocena przydatności badanych miar stopnia szerokiej adaptacji odmian, oparta na analizie danych empirycznych dla plonu ziarna pszenicy ozimej, odnosi się przede wszystkim do tego gatunku oraz przyjętej wartości d , dla miary $R_i(d)$, jednak stanowi ona także wstępne wskazanie o podobnej przydatności tych miar dla innych gatunków roślin.

LITERATURA

- Annicchiarico P. 2002 a. Defining adaptation strategies and yield stability targets in breeding programmes. In: Kang M.S. (Ed.) Quantitative genetics, genomics and plant breed. 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.
- Basford K. E., Cooper M. 1998. Genotype \times environment interactions and some considerations of their implications for wheat breeding in Australia. Austr. J. Agric. Res. 49: 153 — 174
- Blanche S. B., Utomo H. S., Wenefrida I., Myers G. O. 2009. Genotype \times environment interactions of hybrid and varietal rice cultivars for grain yield and milling quality. Crop Sci. 49: 2011 — 2018
- Braun H. J., Ekiz H., Eser V., Keser M., 1998. Breeding priorities of winter wheat programs. In: Braun HJ, Altay F, Kronstad WE, Beniwal SPS, McNab A et al (eds) Wheat: prospects for global improvement. Kluwer, Dordrecht: 553 — 560.
- Braun H.J., Rajaram S., van Ginkel M. 1996. CIMMYT's approach to breeding for wide adaptation. Euphytica 92: 175 — 183
- Caliński T., Czajka S., Kaczmarek Z. 1997. A multivariate approach to analysing genotype-environment interactions. W: Krajewski P., Kaczmarek Z (Eds), Advances in Biometrical Genetics, Poznań: 3 — 14.
- Cooper M. 1999. Concepts and strategies for plant adaptation research in rainfed lowland rice. Field Crops Res. 64: 13 — 34.

- Cooper M., Byth D. E. 1996. Understanding plant adaptation to achieve systematic applied crop improvement — a fundamental challenge. In: Cooper M., Hammer G.L. (Eds.), *Plant Adaptation, Crop Improvement*. CAB International/International Rice Research Institute (IRRI)/International Crops Research Institute for Semi Arid Tropics (CRISAT), Wallingford, UK/Los Banos, Laguna, Philippines/Hyderabad, India: 5–24.
- Eskridge K. M. 1990. Selection of stable cultivars using a safety — first rule. *Crop Sci.* 30: 369 — 374.
- Eskridge K. M. Johnson B. E. 1991. Expected utility maximization and selection of stable plant cultivars. *Theor. Appl. Genet.* 81: 825 — 832.
- Eskridge K. M., Byrne P. F., Crossa J. 1991. Selection of stable varieties by minimizing the probability of disaster. *Field Crops Res.* 27:169 — 181.
- Eskridge K.M., Mumm R.F. 1992. Choosing plant cultivars based on the probability of outperforming a check. *Theor. Appl. Genet.* 84: 494 — 500.
- Eskridge K. M., Smith O. S., Byrne P. F. 1993. Comparing test cultivars using reliability functions of test — check differences from on — farm trials. *Theor. Appl. Genet.* 87: 60 — 64.
- Fox P. N., Skovmand B., Thompson B.K., Braun H.J., Cormier R. 1990. Yield and adaptation of hexaploid spring triticale. *Euphytica* 47: 57 — 64.
- 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.
- Gauch H.G., Zobel R.W. 1997. Identifying mega — environments and targeting genotypes. *Crop Sci.* 37:311 — 326.
- Herring M. R., O'Brien L. 2000. A regional adaptation analysis of oats in New South Wales and southern Queensland for grain yield and dry matter production. *Austr. J. Agric. Res.* 51: 961 — 970
- Iwańska M., Mądry W., Drzazga T., Rajfura A. 2008. Zastosowanie miar statystycznych do oceny stopnia szerokiej adaptacji odmian pszenicy ozimej na podstawie serii doświadczeń przedrejestranych. *Biul. IHAR* 250: 67 — 86.
- Joshi K.D., Musa A.M., Johansen C., Gyawali S., Harris D., Witcombe J.R. 2007b. Highly client — oriented breeding, using local preferences and selection, produces widely adapted rice varieties. *Field Crops Res.* 100: 107 — 116.
- Kang M. S. 1998. Using genotype — by environment interaction for crop cultivar development. *Adv. Agron.* 62: 199 — 253.
- Kaut A. H. E. E., Mason H. E., Navabi A., O'Donovan J. T., Spaner D. 2009. Performance and stability of performance of spring wheat variety mixtures in organic and conventional management systems in western Canada. *J. Agric. Sci.* 147: 141–153.
- Krajewski P., Kaczmarek Z., Czajka S. 2006. EKSPLAN wersja 2. Planowanie i analiza statystyczna doświadczeń hodowlanych. Instytut Genetyki Roślin PAN, Poznań.
- Lin C. S., Binns M. R. 1988. A superiority measure of cultivar performance for cultivar x location data. *Can. J. Plant Sci.* 68: 193 — 198.
- Mądry W. 2002. Skuteczność kryterium YS Kanga, opartego na średniej i stabilności plonu w wyborze genotypów zbóż o szerokiej adaptacji w rejonie uprawnym. *Roczn. Nauk Roln. Seria A.* 116:11 — 24.
- Mądry W. 2003. Analiza statystyczna miar stabilności na podstawie danych w klasyfikacji genotypy × środowiska. Część II. Model mieszany Shukli i model regresji łącznej. *Coll. Biom.* 33: 207 — 220.
- Patterson H. D., Williams E. R. 1976. A new class of resolvable block design. *Biometrika* 63: 83 — 92.
- Piepho H. P. 1995. Assessing cultivar adaptability by multiple comparison with the best. *Agron. J.* 87:1225 — 1227.
- Piepho H. P. 1998. Methods for comparing the yield stability of cropping systems — A review. *J. Agron. Crop Sci.* 180:193 — 213.
- Pilarczyk W. 1988. Planowanie i analiza doświadczeń — teoria i praktyka. *Wiadomości Odmianoznawcze* 2/39.
- Rajfura A., Mądry W., 2001. Metoda wyboru genotypów o szerokiej adaptacji wykorzystująca zarówno ich średnie w rejonie jak i stabilność plonowania. *Coll. Biom.*: 169–182.
- Scapim C. A., Pacheco C. A., Amaral A. T., Vieira R. A., Pinto R. J., Conrado T. V. 2010. Correlations between the stability and adaptability statistics of popcorn cultivars. *Euphytica* 174:209 — 218.

- Shukla G. K. 1972. Some aspects of partitioning genotype -environmental components of variability. *Heredity* 28: 237 — 245.
- St -Pierre C. A., Klinck H. R., Gauthier F. M. 1967. Early generation selection under different environments as it influences adaptation of barley. *Can. J. Plant Sci.* 47: 507 — 517.
- Yan W., Kang M. S. 2003. *GGE biplot analysis: a graphical tool for breeders, geneticists, and agronomists.* Boca Raton, FL, CRC Press.

PODZIĘKOWANIE

Autorzy pracy serdecznie dziękują dr Tadeuszowi Drzazdze z Małopolskiej Hodowli Roślin, Oddział Nasiona Kobierzyc w Kobierzycach za udostępnienie danych z doświadczeń wstępnych z pszenicą ozimą.