

ADRIANA DEREJKO¹
WIESŁAW MĄDRY¹
DARIUSZ GOZDOWSKI¹
JAN ROZBICKI²
JAN GOLBA²
MARIUSZ PIECHOCIŃSKI²
MARCIN STUDNICKI¹

¹ Katedra Doświadczalnictwa i Bioinformatyki, SGGW, Warszawa

² Katedra Agromonii, SGGW, Warszawa

Wpływ odmian, miejscowości i intensywności uprawy oraz ich interakcji na plon pszenicy ozimej w doświadczeniach PDO

The influence of cultivar, location, crop management intensities, and their interactions on winter wheat yield in post-registration multi-environment trials (PDO)

Celem pracy jest adaptacja, przedstawienie, empiryczna ilustracja zastosowania oraz ocena przydatności łącznej trójkierunkowej analizy wariancji i procedury Tukeya dla wielokrotnych porównań średnich do wnioskowania o reakcji odmian na warunki agroekologiczne (środowiskowe) w miejscowościach i na intensywność uprawy (A1 i A2), z wykorzystaniem danych z jednorocznej, wielokrotnej serii dwuczynnikowych doświadczeń PDO, zakładanych w układzie split-block. Ilustracja empiryczna obejmowała analizę danych dla plonu ziarna pszenicy ozimej z mikropoletek, wyodrębnionych w doświadczeniach PDO w 2009 roku. Proponowana metodyka statystyczna okazała się efektywna przy wnioskowaniu o reakcji badanych odmian pszenicy ozimej zarówno na warunki środowiskowe, jak i intensywność uprawy. W badanych warunkach pogodowych odmiany pszenicy ozimej reagowały różnie pod względem plonu ziarna na zmienne warunki środowiskowe w Polsce, zaś reagowały one podobnym wzrostem plonu na zwiększenie intensywności uprawy, niezależnie od miejscowości. Średnie dodatnie efekty wzrostu intensywności uprawy na plon w środowiskach stacji oceny odmian zmniejszały się, wraz ze zmniejszaniem się produktywności tych środowisk.

Słowa kluczowe: interakcja odmiana × środowisko, interakcja odmiana × uprawa, interakcja środowisko × uprawa, niekompletny układ split-block, łączna analiza wariancji, procedura Tukeya

The objective of the research was adaptation, presentation, empirical illustration and evaluation of usefulness of the three-way combined analysis of variance and the Tukey's procedure of multiple mean comparisons to inference on cultivars response patterns to agro-ecological conditions (environments, locations) and to two crop management intensities (A1 and A2), using data obtained in post-registration

two-factorial multi-environment trials (the PDO trials), arranged in split-block design. Empirical illustration involves the analysis of winter wheat grain yield data recorded on micro-plots within plots of the PDO trials in 2009. The proposed statistical methodology was effective to inference on the studied cultivars response to environments and the crop management intensities. In the weather conditions of 2009 the winter wheat cultivars responded variously with grain yield to varied environments across Poland, meanwhile they showed similar increase of yield under more intensive crop management, independently on the test locations. The mean positive effects of more intensive crop management on yield decreased in locations when their productivity (fertility) decreased.

Key words: interaction cultivar \times environment, interaction cultivar \times crop management intensity, interaction environment \times crop management intensity, incomplete split-block design, combined analysis of variance, Tukey's procedure

WSTĘP

W Polsce od 1998 roku wprowadzony został system doświadczalnictwa odmianowo-uprawowego, zwany Porejestrowym Doświadczalnictwem Odmianowym (PDO). W ramach tego systemu doświadczeń wykonuje się wielokrotną (w wielu miejscowościach) i wieloletnią serię doświadczeń dwuczynnikowych, w których jednym czynnikiem są odmiany, drugim zaś, poziomy intensywności uprawy (A1 — o niższych nakładach, A2 — o wyższych nakładach). Największy zakres takich badań dotyczy odmian zbóż, w tym pszenicy ozimej. We wszystkich doświadczeniach założonych w systemie PDO obowiązuje metodyka opracowana przez Centralny Ośrodek Badania Odmian Roślin Uprawnych, w której zawarte są wytyczne dla każdego etapu doświadczenia, tj. planowania, obserwacji, pomiarów i sposobu dokumentowania wyników (COBORU 2002). W serii dwuczynnikowych doświadczeń PDO, w każdej miejscowości i roku, jest stosowany eksperymentalny niekompletny układ pasów prostopadłych, nazywany też układem split-block (Elandt, 1964; Mejza, 1999; Mintenko i in., 2002).

Serie dwuczynnikowych doświadczeń PDO prowadzone jednocześnie w wielu miejscowościach i wielu latach umożliwiają badanie zróżnicowanej reakcji odmian najważniejszych roślin pod względem cech rolniczych (głównie plonu i cech jego jakości) na przestrzennie zmienne warunki środowiskowe, czyli agroekologiczne (warunki glebowe, pogodowe, czynniki biotyczne) w kraju oraz poziomy intensywności uprawy w różnych warunkach środowiskowych. Takie serie doświadczeń i wszechstronne badania na nich oparte stanowią dojrzałą i bardzo wartościową koncepcję naukowo-wdrożeniową w agronomii (Ma i in., 2004; Anderson, 2010; Annicchiarico i in., 2010). Ich wyniki dostarczają sprawdzonych informacji o rolniczej przydatności odmian do uprawy intensywnej lub umiarkowanej intensywnej w różnych mikro-rejonach (podstawa do mikro-rejonizacji odmian w województwach) lub w całym kraju, a także pozwalają wykryć czynniki ograniczające dla uprawy zarejestrowanych odmian w niektórych rejonach kraju (Ayoub i in., 1994; Oscarsson i in., 1998; Cooper i in., 2001; Schmidt i in., 2001; Annicchiarico, 2002; Mintenko i in., 2002; Ma i in., 2004; Souza i in., 2004; Anderson, 2010; Annicchiarico i in., 2010).

Efektywne wnioskowanie w wymienionym zakresie na podstawie danych dla plonu ziarna i innych cech, otrzymanych z wielokrotnej i wieloletniej serii dwuczynnikowych

doświadczeń PDO, wymaga opracowania oraz zastosowania adekwatnej i specjalistycznej metodyki statystycznej, opartej na stałym lub mieszanym liniowym modelu ANOVA dla tych danych. Dotychczas niewielu biometryków i badaczy zajmowało się opracowaniem nowych oraz (lub) rozwinięciem, uogólnieniem i adaptacją istniejących metod, przydatnych do wielostronnego wnioskowania w takiej serii doświadczeń, głównie ze względu na duży stopień komplikacji celów wnioskowania. Dlatego brakuje sprawdzonych i uznanych rozwiązań metodycznych w tym obszarze badań, a ponadto ograniczony dorobek tej metodyki zagranicą jest mało znany i stosowany w kraju. Jediną publikacją stricte statystyczno-metodyczną, przedstawiającą algorytmy analizy wariancji (ANOVA) do wnioskowania na podstawie danych z dwuczynnikowej serii doświadczeń, planowanych w układzie losowanych bloków i split-plot oraz powtarzanych w przestrzeni w jednym roku oraz w przestrzeni i czasie, jest krótka praca McIntosh (1983). W modelach ANOVA dla danych z wielokrotnej i wieloletniej serii doświadczeń dwuczynnikowych autorka przyjmuje, że odmiany i sposoby uprawy są czynnikami stałymi, zaś miejscowości i lata są alternatywnie, czynnikami stałymi, losowymi albo jeden z nich jest czynnikiem stałym, drugi zaś, losowym. Istnieją także nieliczne zastosowania tej metodyki (Ayoub i in., 1994; Cooper i in. 2001; Schmidt i in. 2001; Carr i in., 2003; Ma i in., 2004; Souza i in., 2004; Annicchiarico i in., 2010).

Prostszym podejściem do wnioskowania z wielokrotnej i wieloletniej serii doświadczeń jest przeprowadzenie analizy danych i wnioskowania oddzielnie dla każdego roku. To podejście jest uzasadnione, a nawet optymalne wtedy, gdy seria doświadczeń PDO była przeprowadzona tylko w dwóch latach (Fan i in., 2007) i stwierdzono co najmniej jeden rodzaj interakcji, w której uczestniczy czynnik lata. W takich przypadkach, ocena reakcji odmian na każdy z czynników środowiskowych, określona na podstawie odpowiednich średnich badanej cechy, obliczonych z dwóch lat, jest tym mniej miarodajna merytorycznie i mniej wiarygodna dla praktyki rolniczej, im większe jest znaczenie ilościowe efektów interakcji każdego z trzech badanych czynników (odmian, uprawy i miejscowości) z latami w uwarunkowaniu zróżnicowania badanej cechy. W pracy McIntosh (1983) został podany algorytm łącznej analizy wariancji dla jednorocznej, wielokrotnej serii doświadczeń dwuczynnikowych, planowanych w układzie losowanych bloków i split-plot, z odmianami i sposobami uprawy, traktowanymi jako czynniki stałe oraz miejscowościami traktowanymi, jako czynnik stały lub losowy. Jeśli miejscowości są uznane jako czynnik stały, wtedy odpowiadającym modelem ANOVA danych z serii doświadczeń jest model stały, zaś w przypadku potraktowania miejscowości za czynnik losowy, odpowiedni dla takiej serii doświadczeń jest model mieszany. Niektóre rodzaje algorytmów analizy wariancji podane w pracy McIntosh (1983) zostały zastosowane do wnioskowania w wielokrotnych seriach dwuczynnikowych doświadczeń odmianowo-uprawowych (Schmidt i in., 2001; Geleta i in., 2002; Carr i in., 2003).

Celem niniejszej pracy jest adaptacja podejścia McIntosh (1983), przedstawienie oraz empiryczna ilustracja zastosowania i ocena przydatności statystycznej metodyki wnioskowania o różnorodnej reakcji badanych odmian na zmienne warunki środowiskowe (agroekologiczne) w miejscowościach oraz intensywność uprawy na podstawie danych z jednorocznej, wielokrotnej serii dwuczynnikowych doświadczeń PDO, zakładanych w

układzie split-block. Metodyka ta obejmuje łączną trójkierunkową analizę wariancji według modelu stałego oraz procedurę Tukeya dla wielokrotnych porównań średnich obiektowych. Ilustracja empiryczna została przeprowadzona za pomocą analizy danych dla plonu ziarna pszenicy ozimej otrzymanych z mikropoletek, wyodrębnionych w doświadczeniach PDO w 2009 roku. Sformułowano także wnioski merytoryczne o reakcji plonu odmian na warunki środowiskowe w stacjach COBORU oraz intensywność uprawy.

MATERIAŁ I METODY

Materiał doświadczalny

Każdego roku przeprowadzane są serie odmianowo-uprawowych doświadczeń PDO dla pszenicy ozimej, uwzględniające odpowiedni zestaw odmian oraz badawczych miejscowości (Stacji Doświadczalnych Oceny Odmian, SDOO oraz Punktów Doświadczalnych), należących do bazy doświadczalnej COBORU i dobrze reprezentujących przestrzenną zmienność środowiskową najważniejszych rejonów uprawy tego gatunku roślin w Polsce. W kolejnych latach większość odmian badanych w ten sposób powtarza się, jednak permanentnie włączane są także inne odmiany, zarówno te nowo zarejestrowane w Polsce, jak i w Unii Europejskiej, a jednocześnie wyłączane są z badań odmiany starsze. Takie serie doświadczeń PDO nazywane są seriami L, z szerokim doбором odmian ustalany przez specjalistów COBORU.

Doświadczenia w każdej stacji są przeprowadzane na dwóch poziomach intensywności uprawy: A1 i A2, przedstawione w tabeli 1 (COBORU, 2002).

Tabela 1

Charakterystyka dwóch poziomów intensywności uprawy A1 i A2, badanych w wielokrotnej serii doświadczeń PDO
Characteristics of two crop management intensities – A1 and A2, examined in the post-registration multi-environment trials (PDO)

Rodzaj zabiegu Agronomic treatment	Poziom intensywności uprawy Crop management intensity	
	A1	A2
Nawożenie azotowe (kg N/ha) Nitrogen application level	+	dawka N dla A1+40 N level for A1+40
Stosowanie fungicydu: pierwszy zabieg (ochrona podstawy źdźbła i liści) Fungicide use: the first treatment (protection of stalk and leaves)		+
Stosowanie fungicydu: drugi zabieg (ochrona liści i kłosa) Fungicide use: the second treatment (protection of culm base and leaves)		+
Stosowanie regulatora wzrostu Retardant use		+
Nawożenie dolistne preparatem wieloskładnikowym Foliar multicomponent fertilization use		+

Poziom A1 (niższy, czyli umiarkowanie intensywny) nie obejmuje zabiegów ochrony roślin, tylko nawożenie standardowe 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 oraz nawożenie dolistne. Pozostałe zabiegi uprawowe i pielęgnacyjne były analogiczne dla obu poziomów intensywności uprawy.

Doświadczenia PDO z serii L zakładane są w dwóch powtórzeniach w dwuczynnikowym niekompletnym układzie split-block, zwanym także układem pasów prostopadłych (Elandt, 1964; Mejza, 1999; Mintenko i in., 2002). W obrębie bloków na jednych podblokach były rozlosowane odmiany, zaś na drugich podblokach, prostopadłych do pierwszych, były rozlosowane dwa poziomy intensywności uprawy. Wielkość poletka wynosi 16,5 m² (11 m × 1,5 m), natomiast do zbioru wykorzystuje się obszar 15,0 m² (10 m × 1,5 m). Dla obu poziomów intensywności uprawy obsada ziarniaków była jednakowa podczas siewu, zaś wahała się od 400 do 550 szt./m², w zależności od odmiany i żyzności gleby w stacji.

Tabela 2

Odmiany pszenicy ozimej badane w ośmiu miejscowościach serii dwuczynnikowych doświadczeń PDO w roku 2009

Winter wheat cultivars tested in eight locations of post-registration multi-environment trials (PDO) in 2009

Odmiana Cultivar	Rok rejestracji Release year	Hodowca Breeder
Markiza	2007	Hodowla Roślin Strzelce sp. z o.o. Grupa IHAR
Tonacja	2001	Hodowla Roślin Strzelce sp. z o.o. Grupa IHAR
Wydma	2005	Hodowla Roślin Smolice sp. z o.o. Grupa IHAR
Muszelka	2008	DANKO Hodowla Roślin sp. z o.o.
Ostroga	2008	DANKO Hodowla Roślin sp. z o.o.
Figura	2007	DANKO Hodowla Roślin sp. z o.o.
Bogatka	2004	DANKO Hodowla Roślin sp. z o.o.
Smuga	2004	DANKO Hodowla Roślin sp. z o.o.
Finezja	2002	DANKO Hodowla Roślin sp. z o.o.
Mewa	2000	DANKO Hodowla Roślin sp. z o.o.
Naridana	2006	Poznańska Hodowla Roślin sp. z o.o.
Legenda	2005	Poznańska Hodowla Roślin sp. z o.o.
Nadobna	2003	Poznańska Hodowla Roślin sp. z o.o.
Kohelia	2008	Hodowla Roślin Rolniczych - Nasiona Kobierzyc
Satyna	2004	Hodowla Roślin Rolniczych - Nasiona Kobierzyc
Boomer	2006	RAGT Seeds Ltd.
Rapsodia	2003	RAGT Seeds Ltd.
Jenga	2008	Nordsaat Saatzeitgesellschaft mbH
Mulan	2008	Nordsaat Saatzeitgesellschaft mbH
Meteor	2007	SW Seed Hadmersleben GmbH
Türkis	2006	SW Seed Hadmersleben GmbH
Alcazar	2006	Secobra Recherches
Flair	2002	Saatzeit Hans Schweiger and Co. oHG
Ludwig	2006	Saatzeit Donau Ges.m.b.H. and CoKG
Kris	2000	RAGT Seeds Ltd.
Garantus	2007	R2n SAS
Anthus	2006	KWS Lochow GmbH
Akteur	2007	Deutsche Saatveredelung AG,

W tej pracy rozpatrywano dane dla plonu ziarna 28 celowo wybranych odmian pszenicy ozimej w serii L doświadczeń PDO (tab. 2), otrzymane w 8 miejscowościach badawczych (Stacjach Doświadczalnych Oceny Odmian i Punktach Doświadczalnych COBORU) w roku 2009 (rys. 1), które wybrano możliwie reprezentatywnie spośród uczestniczących w

tej serii doświadczeń, wszystkich Stacji i Punktów Doświadczalnych COBORU rozmieszczonych w całym kraju. Taki wybór stacji podnosi poznawcze i praktyczne ogólne znaczenie wyprowadzonych w pracy wniosków. Odmiany wybrano do badań tak, aby były one powtarzalne we wszystkich stacjach oraz reprezentowały różnorodność genetyczną pod względem cech jakości ziarna i środowiskowej adaptacji nowoczesnych odmian pszenicy ozimej, zarejestrowanych w ostatnich kilku latach w Polsce i Unii Europejskiej. Analizowane dane doświadczalne uzyskano w trakcie badań w ramach projektu badawczego MNiSW nr N N310 091136 pt. „Badanie uwarunkowania plonu ziarna odmian pszenicy ozimej przez cechy plonotwórcze roślin”. Z rysunku 1 wynika, że rozmieszczenie rozpatrywanych stacji doświadczalnych dobrze reprezentuje zmienność przestrzenną warunków środowiskowych (glebowych, klimatycznych i biotycznych) w ważnych rejonach uprawy pszenicy ozimej w Polsce.



Rys. 1. Lokalizacja Stacji Doświadczalnych Oceny Odmian (SDOO) i Punktów Doświadczalnych COBORU, z których pochodzą dane uzyskane w serii doświadczeń PDO z odmianami pszenicy ozimej w roku 2009

Fig. 1. The test locations (stations) of PDO trials in which the winter wheat data were collected in 2009

Rośliny pobierano w fazie dojrzałości pełnej z mikropoletek o powierzchni 1 m², wyciętych z każdego poletka w poszczególnych doświadczeniach, we wszystkich miejscowościach. Przeprowadzono analizę statystyczną dla plonu ziarna.

Analiza statystyczna

Do wnioskowania z danych uzyskanych w rozpatrywanej serii doświadczeń PDO w ośmiu miejscowościach była zastosowana łączna trójkierunkowa analiza wariancji według modelu stałego z trzema błędami doświadczalnymi, odpowiednimi dla eksperymentalnego układu doświadczalnego typu split-block oraz podejście post-hoc, oparte na procedurze Tukeya dla wielokrotnych porównań średnich obiektowych. W niniejszych rozważaniach przyjęto, że badawcze miejscowości (stacje) są czynnikiem stałym (tak samo, jak odmiany i intensywność uprawy). Konsekwencją metodyczno-statystyczną tego założenia jest odnoszenie wniosków o plonowaniu odmian pszenicy ozimej tylko do tych miejscowości, w których wykonano serię doświadczeń PDO. Jest to związane z naturą zastosowanego narzędzia statystycznego (procedura Tukeya), umożliwiającego testowanie istotności średnich obiektowych, przy merytorycznym wnioskowaniu o przeciętnym zróżnicowaniu plonowania odmian oraz ich różnorodnej reakcji pod względem plonu na środowiska w miejscowościach i intensywność uprawy, a także o reakcji pszenicy ozimej na intensywność uprawy w różnych warunkach środowiskowych miejscowości badawczych. Łączna analiza wariancji dla rozpatrywanego typu serii doświadczeń, planowanych w układzie split-block, z miejscowościami, odmianami i poziomami intensywności uprawy traktowanymi jako czynniki stałe (tab. 3), jest odpowiednio zmodyfikowaną postacią podobnej analizy wariancji dla serii doświadczeń wielokrotnych w układzie split-plot, podaną przez McIntosh (1983) i dostosowaną do układu split-block tych doświadczeń (Elandt, 1964; Mejza, 1999; Mintenko i in., 2002).

Łączną analizę wariancji dla plonu ziarna z rozpatrywanej serii doświadczeń wykonano za pomocą procedury GLM w programie SAS 9.1 (SAS Institute Inc. 2004 SAS OnlineDoc® 9.1.3. Cary, NC). Kod procedury wykorzystanej w łącznej analizie wariancji i wielokrotnych porównaniach średnich obiektowych za pomocą metody Tukeya jest przedstawiony poniżej:

```
PROC GLM data=danel;
  class miejscowosc blok poziom odmiana;
  model plon = miejscowosc blok(miejscowosc)
           poziom poziom*miejscowosc poziom*blok(miejscowosc)
           odmiana odmiana*miejscowosc odmiana*blok(miejscowosc)
           poziom*odmiana poziom*odmiana*miejscowosc;
  test h = poziom      e=poziom*blok(miejscowosc);
  test h = odmiana     e=odmiana*blok(miejscowosc);
  test h=poziom*miejscowosc e=poziom*blok(miejscowosc);
  test h=odmiana*miejscowosc e=odmiana*blok(miejscowosc);
  MEANS poziom/TUKEY      E= poziom*blok(miejscowosc);
  MEANS odmiana/TUKEY E= odmiana*blok(miejscowosc);
run;
```

WYNIKI I DYSKUSJA

Łączne średnie kwadraty dla każdego z trzech błędów w analizie wariancji (tab. 4) były następujące: $MS_5 > MS_{11}$ oraz $MS_8 > MS_{11}$. Największy był średni kwadrat dla błędu I

(równy 11498), określający losową (mikro-środowiskową) zmienność plonu ziarna pomiędzy dużymi podblokami (dla intensywności uprawy) w obrębie bloków. Natomiast, średnie kwadraty dla błędu II i III (MS_8 i MS_{11}) były ponad 2 razy mniejsze (równe odpowiednio 4491 i 4860). Zatem, losowa (mikro-środowiskowa) zmienność plonu ziarna pomiędzy znacznie (28 razy) mniejszymi podblokami (dla odmian) w obrębie bloków oraz zmienność losowa resztowa pomiędzy małymi poletkami (dla kombinacji odmian z intensywnością uprawy) w obrębie bloków jest znacząco mniejsza na polach w ośmiu miejscowościach badawczych. Ma to odpowiednie konsekwencje dla wiarygodności wnioskowania o istotności głównych i interakcyjnych efektów rozpatrywanych czynników. Zatem, zgodnie z zasadami testowania tych efektów z uwzględnieniem różnych błędów w analizie wariancji i procedurach porównań wielokrotnych (tab. 3 i 4), najmniej wiarygodnie (z najmniejszą precyzją) będziemy wnioskować o efektach głównych intensywności uprawy oraz interakcji podwójnej uprawa \times miejscowości.

Tabela 3

Tabela łącznej analizy wariancji opartej na modelu stałym dla danych z jednorocznej, wielokrotnej serii doświadczeń dwuczynnikowych, planowanych w układzie split-block
Table of the combined analysis of variance based on the fixed effect model for data from single-year two-factorial PDO trials carried out in split-block design

Źródła zmienności — Sources of variation		Stopnie swobody Degrees of freedom (Df)	Średnie kwadraty Mean squares (MS)	F F-ratio
Nazwa Name	Symbol Abbreviation			
Miejscowości Locations	L	l-1	M1	M1/M2
Bloki w miejscowościach Blocks in locations	Bloki/L Blocks/L	(r-1)l	M2	
Uprawa Management	A	a-1	M3	M3/M5
Uprawa \times miejscowości Management \times locations	A \times L	(a-1)(l-1)	M4	M4/M5
Bloki \times uprawa w miejscowościach (Błąd I) Blocks \times management in locations (Error I)	(A \times Bloki)/L (A \times BBlocks)/L	(a-1)(r-1)l	M5	
Odmiany Cultivars	B	b-1	M6	M6/M8
Odmiany \times miejscowości Cultivars \times locations	B \times L	(b-1)(l-1)	M7	M7/M8
Bloki \times odmiany w miejscowościach (Błąd II) Blocks \times cultivar in locations (Error II)	(B \times Bloki)/L (B \times BBlocks)/L	(b-1)(r-1)l	M8	
Uprawa \times odmiany Management \times cultivars	A \times B	(a-1)(b-1)	M9	M9/M11
Uprawa \times odmiany \times miejscowości Management \times cultivars \times locations	A \times B \times L	(a-1)(b-1)(l-1)	M10	M10/M11
Reszta (Błąd III) Residual (Error III)	(A \times B \times Bloki)/L (A \times B \times BBlocks)/L	(a-1)(b-1)(r-1)l	M11	

a — liczba sposobów uprawy; number of crop managements
 l — liczba miejscowości badawczych; number of test locations
 b — liczba odmian; number of cultivars
 r — liczba bloków; number of blocks

Tabela 4

Wyniki łącznej analizy wariancji opartej na modelu stałym dla plonu ziarna pszenicy ozimej z jednorocznej, wielokrotnej serii doświadczeń dwuczynnikowych PDO, planowanych w układzie split-block
Combined analysis of variance based on the fixed effect model for winter wheat grain yield data from one-year two-factorial PDO trials carried out in split-block design

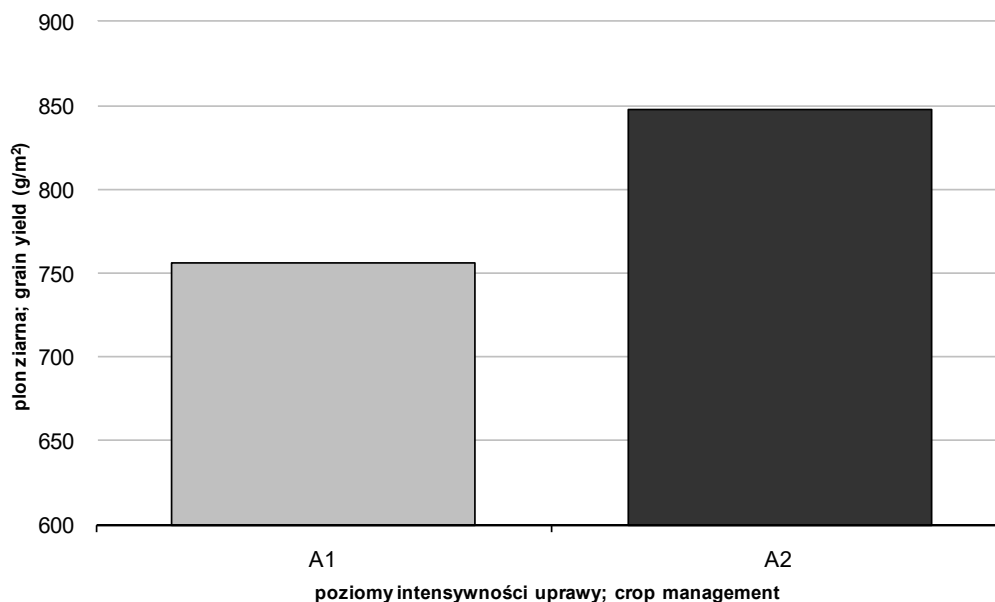
Źródła zmienności Sources of variability	Df	SS	MS	F	p
Miejscowości Locations	7	10444575	1492082	306,99	<0,0001
Bloki w miejscowościach Blocks in locations	8	394695	49337		
Uprawa Management	1	1877311	1877311	163,27	<0,0001
Uprawa × miejscowości Management × locations	7	375691	53670	4,67	0,0229
Błąd I Error I	8	91983	11498		
Odmiany Cultivars	27	503471	18647	4,15	<0,0001
Odmiany × miejscowości Cultivars × locations	189	1307860	6920	1,54	0,0011
Błąd II Error II	216	970121	4491		
Uprawa × odmiany Management × cultivars	27	161590	5985	1,23	0,2081
Uprawa × odmiany × miejscowości Management × cultivars × locations	189	894343	4732	0,97	0,574
Błąd III Error III (Residual)	216	1049823	4860		

Natomiast, ocena pozostałych efektów badanych czynników w serii doświadczeń i wnioskowanie o nich będzie odbywało się z podobną precyzją i wiarygodnością, ale większą, niż w odniesieniu do dwóch pierwszych rodzajów efektów.

Na podstawie analizy wariancji (tab. 3) stwierdzono testem F, istotny przeciętny (poprzez odmiany i miejscowości) wpływ poziomu intensywności uprawy na plonowanie pszenicy ozimej oraz istotne zróżnicowanie średniego (poprzez dwie intensywności uprawy i miejscowości) plonu ziarna badanych odmian. Natomiast, interakcja podwójna tych czynników była nieistotna. Zatem, wszystkie odmiany reagowały podobnym (nieistotnie różnym) zwiększeniem plonu pod wpływem większej intensywności uprawy (A2), w stosunku do niższego poziomu nakładów A1 (rys. 2 i 4). Ma i in. (2004) stwierdzili podobną (nieistotnie różną) reakcję plonu odmian pszenicy jarej na nawożenie azotem w zakresie 50–200kgN/ha na obszarach wschodniej Kanady. Także Carr i in. (2003) oraz Geleta i in. (2002) nie stwierdzili interakcji odmian pszenicy ozimej oraz ilości wysiewu, czyli odmiennej reakcji plonu odmian na ten czynnik uprawowy, odpowiednio w stanie Północna Dakota i Nebraska, USA. Głębsza interpretacja interakcji uprawa × odmiany dla plonu w tych badaniach będzie rozpatrywana w dalszej części pracy.

Na rysunku 2 przedstawiono średni plon dla każdego z dwóch poziomów intensywności uprawy A1 i A2, obliczone z danych dla 28 badanych odmian i 8 miejscowości (średnie te obliczano z 448 danych mikroplotkowych). Różnica między średnim plonem ziarna dla

poziomów intensywności uprawy A2 i A1 była statystycznie istotna (tab. 4) i wynosiła blisko 100 g/m² (1 t/ha), co oznacza, że zwiększenie intensywności uprawy w badaniach (A2) spowodowało przeciętny przyrost plonu o ok. 12% w porównaniu do uprawy o mniejszej intensywności (A1).



Rys. 2. Porównanie średniego plonu ziarna pszenicy ozimej między dwoma poziomami intensywności uprawy A2 i A1, obliczone poprzez 28 odmian i 8 miejscowości (NIR_{α=0,05}=16,5)

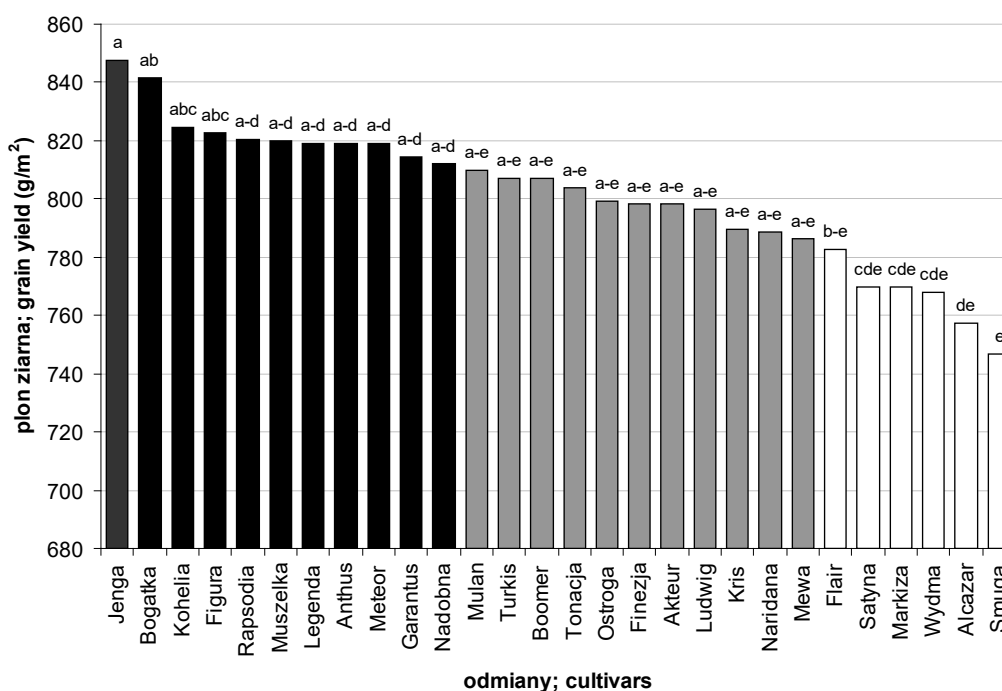
Fig. 2. Comparison of winter wheat grain yield means calculated across 28 cultivars and 8 locations for two crop management intensities (LSD_{α=0,05}=16.5)

Porównania szczegółowe średnich odmianowych (obliczonych z 8 miejscowości i 2 intensywności uprawy) przedstawiono graficznie na rysunku 3. Zakres tych średnich mieścił się w granicach 750 do 850 g/m² (rozstęp między średnimi plonu wynosił około 100 g/m²), co w przeliczeniu na hektar stanowi zakres 7,5 do 8,5 t/ha. W obrębie badanych odmian wydzielono 5 grup jednorodnych pod względem średniego plonowania.

Wartość NIR_{Tukey α=0,05} dla średnich odmianowych była relatywnie wysoka i stanowiła około 60% rozstępu między tymi średnimi, ze względu na stosunkowo małą liczbę obserwacji mikroplotkowych, z których wyznaczano średnie odmianowe (było ich 32), pomimo mniejszego średniego kwadratu błędu II, niż błędu I, który współdecydował o wartości NIR dla średnich plonu przy obu poziomach intensywności uprawy. Zatem, grupy jednorodne są nierozłączne (jedna odmiana jest zwykle zaliczana do wielu grup jednorodnych), z wyjątkiem odmian o najwyższym (Jenga) i najniższym (Smuga) plonowaniu. Odmiana Jenga miała istotnie wyższy średni plon w porównaniu do odmian oznaczonych kolorem białym na rys. 3, natomiast odmiana Smuga miała istotnie niższy

średni plon w porównaniu do odmian oznaczonych kolorem czarnym. Szczególnym przykładem nierozłączności grup jednorodnych są odmiany oznaczone kolorem szarym pomarańczowym, które należały jednocześnie do wszystkich grup jednorodnych (od a do e), zatem nie różniły się statystycznie istotnie od pozostałych odmian.

Na rys. 4 przedstawiono plonowanie odmian średnio dla 8 miejscowości przy obu poziomach intensywności uprawy. Odmiany przedstawiono w nierosnącej kolejności średnich odmianowych plonu, tak jak na rysunku 3.

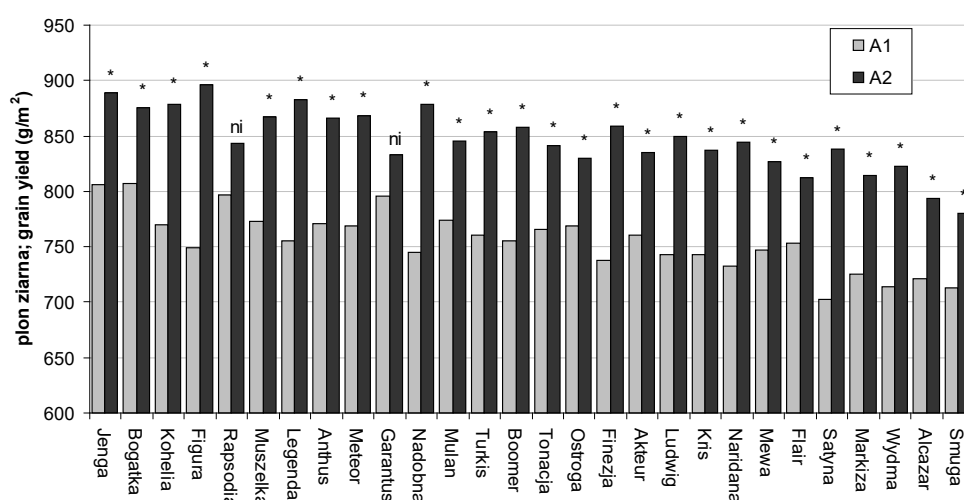


Rys. 3. Porównanie średnich plonu ziarna odmian pszenicy ozimej, obliczone poprzez 2 poziomy intensywności uprawy i 8 miejscowości oraz ich podział na grupy jednorodne za pomocą metody Tukeya ($NIR_{Tukey \alpha=0,05} = 63,1$)

Fig. 3. Comparison of winter wheat cultivar means for grain yield calculated across 2 crop management intensities and 8 locations and homogenous groups established using the Tukey's procedure ($LSD_{Tukey \alpha=0,05} = 63.1$)

Rysunek ten ilustruje szczegółowo i czytelnie wniosek o nieistotnej interakcji podwójnej uprawa \times odmiany (tab. 4). Wskazuje on, że 26 odmian charakteryzowało się istotnie wyższym średnim plonem ziarna (obliczonym poprzez miejscowości) pod wpływem poziomu intensywności uprawy A2 w stosunku do A1 (na rysunku statystycznie istotne różnice oznaczono gwiazdką, *), jedynie dla odmian Rapsodia i Garantus różnice te były na „granicy istotności”, chociaż formalnie nieistotne (oznaczono je symbolem „ni”). Zatem, wnioskujemy, że dla wszystkich 28 odmian stwierdzono statystycznie istotnie większe plonowanie przy wyższym poziomie intensywności uprawy (A2) w porównaniu z

niższym poziomie (A1). Nieistotna interakcja uprawa \times odmiany w analizie wariancji wskazuje także na statystycznie nieistotnie zróżnicowane średnie (obliczone poprzez miejscowości), przyrosty plonu u każdej z badanych odmian pod wpływem zwiększenia intensywności uprawy (A2). Inaczej mówiąc, szczegółowa interpretacja interakcji uprawa \times odmiany na rys. 4, uściśla wniosek, że przeciętna, poprzez miejscowości, reakcja badanych odmian pszenicy ozimej pod względem plonu ziarna na poziom intensywności uprawy była zbliżona. Ze względu na nieistotną interakcję potrójną uprawa \times odmiany \times miejscowości ($p = 0,5741$) oraz podwójną uprawa \times miejscowości ($p = 0,0229$), można wnioskować, że podobna, pozytywna, reakcja plonu ziarna każdej badanej odmiany pszenicy ozimej na zwiększenie intensywności uprawy ujawniła się w każdej rozpatrywanej miejscowości badawczej (Annicchiarico, 2002; Carr i in., 2003; Fan i in., 2007).

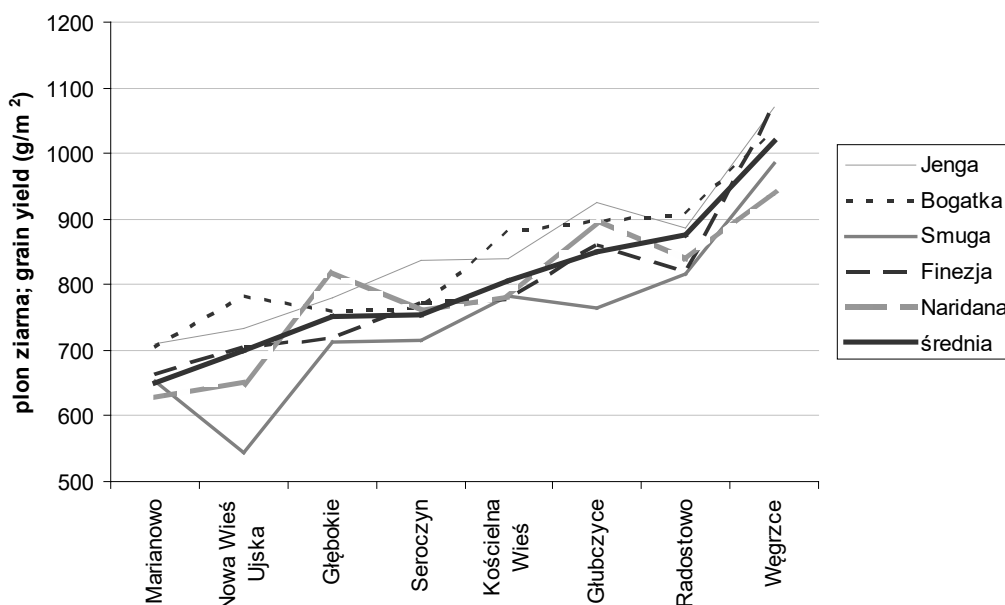


Rys. 4. Reakcja plonu ziarna badanych odmian pszenicy ozimej na intensywność uprawy A1 i A2, przeciętnie poprzez 8 miejscowości badawczych ($NIR_{\alpha=0,05} = 48,3$ dla porównania średnich przy A1 i A2 dla każdej z odmian)

Fig. 4. Response of grain yield of the examined winter wheat cultivars to two crop management intensities A1 and A2 as averaged across 8 locations ($LSD_{\alpha=0,05} = 48.3$ for comparisons of means at A1 i A2, respective to each of the tested cultivars)

Interakcja odmiany \times miejscowości była istotna (tab. 5), co wskazuje na niejednakową reakcję (kształt funkcji reakcji) plonu badanych odmian na zmienne warunki środowiskowe w miejscowościach. Ten rodzaj interakcji dla plonu i jego jakości u pszenicy ozimej i innych roślin jest powszechnie stwierdzanym zjawiskiem na różnych szerokościach geograficznych (Ayoub i in., 1994; Oscarsson i in., 1998; Cooper i in., 2001; Schmidt i in., 2001; Annicchiarico, 2002; Ma i in., 2004; Souza i in., 2004; Drzazga i in., 2009; Sharma i in., 2009; Anderson, 2010; Annicchiarico i in., 2010). Ze względu na dużą

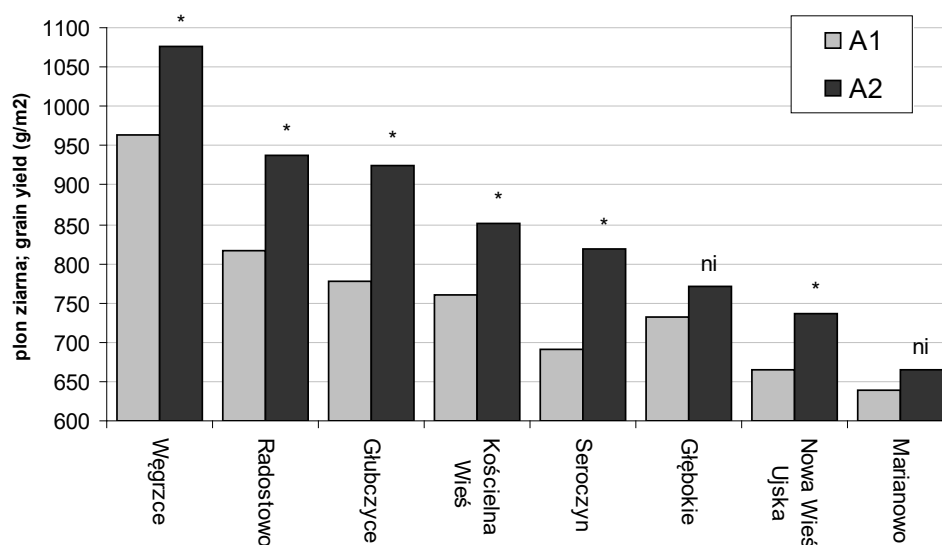
liczbę odmian i trudności w pokazaniu reakcji plonu każdej z nich na środowiska, wybrano do ilustracji tej interakcji tylko 5 odmian znacząco zróżnicowanych zarówno pod względem kształtu funkcji reakcji, jak i średniego plonowania. Na rys. 5 zobrazowano istotnie nierównoległe reakcje plonu wybranych odmian (określone przez średnie poprzez dwie intensywności uprawy dla kombinacji odmiany \times miejscowości), odnosząc je także do średniej środowiskowej reakcji, obliczone za pomocą średnich plonu ze wszystkich rozpatrywanych odmian w miejscowościach.



Rys. 5. Zróżnicowane reakcje średniego (poprzez dwa poziomy intensywności uprawy) plonu ziarna 5 wybranych odmian pszenicy ozimej na warunki środowiskowe w miejscowościach badawczych
Fig. 5. Different responses of mean grain yield of five winter wheat cultivars to varied environments in the test locations

Na tym rysunku miejscowości zostały przedstawione w niemalejącym porządku względem średnich środowiskowych. Dwie odmiany, Jenga i Bogatka, odznaczały się największym i stabilnym plonowaniem, tj. powyżej średniej środowiskowej w każdej miejscowości (Annicchiarico, 2002; Drzazga i in., 2009; Sharma i in., 2009). Odmiana Smuga odznaczała się najniższym i stabilnym plonowaniem, wyrażającym się podrzędnością plonu w stosunku do średniej środowiskowej we wszystkich miejscowościach. Dwie inne odmiany, tj. Finezja i Naridana charakteryzowały się przeciętnym poziomem plonowania (bliskim średnim środowiskowym). Jednakże, Finezja plonowała bardziej stabilnie (wykazywała mniejszą zmienność efektów interakcji $G \times E$, czyli plonowała bardziej zgodnie w stosunku do średnich środowiskowych), niż Naridana, o znaczącej zmienności efektów interakcji $G \times E$, co jest manifestowane przez mało zgodne plonowanie w stosunku do średnich środowiskowych. Naridana plonowała znacznie powyżej średniej środowiskowej w dwóch

miejsowościach, tj. w Głębokim, gdzie warunki środowiskowe (glebowe) należały do najmniej sprzyjających, potwierdzonych także średnim plonem — rys. 5 i 6) oraz w Głubczycach, gdzie warunki środowiskowe (glebowe) należały do najbardziej sprzyjających. Zatem, ta odmiana wykazała wąską (lokalną) adaptację do znacząco odmiennych warunków środowiskowych w tych dwóch miejscowościach. Należałoby postawić pytanie, co zdecydowało o takim relatywnie wysokim plonowaniu (w stosunku do innych odmian) tej odmiany. Odpowiedź wymaga szczegółowego porównania ekspresji innych cech plonotwórczych badanych odmian (porażenia chorobami, wylegania) we wszystkich rozpatrywanych stacjach. To badanie wykracza poza rozmiar tej pracy, a będzie podjęte w kolejnych publikacjach.



Rys. 6. Reakcja plonu ziarna pszenicy ozimej na intensywność uprawy A1 i A2, przeciętnie poprzez 28 odmian, w różnych miejscowościach badawczych ($NIR_{\alpha=0,05} = 46,7$ dla porównania średnich przy A1 i A2 w każdej miejscowości)

Fig. 6. Response of grain yield of winter wheat to two crop management intensities A1 and A2, as averaged across 28 examined cultivars, in the test locations ($LSD_{\alpha=0,05}=46,7$ for comparisons of means at A1 and A2, in each of the test locations)

Interakcja uprawa \times miejscowości była istotna (tab. 4), co wskazuje na niejednakową reakcję średniej plonu z badanych odmian na zwiększenie intensywności uprawy w miejscowościach badawczych. Ten rodzaj interakcji dla plonu i jego jakości u pszenicy ozimej jest także często stwierdzanym zjawiskiem (Cooper i in., 2001; Anderson, 2010; Annicchiarico i in., 2010). Na rys. 6 przedstawiono graficznie średnie plonu dla kombinacji uprawa \times miejscowości, które obrazują zmniejszające się plonotwórcze efekty wzrostu intensywności uprawy w miejscowościach badawczych wraz ze zmniejszaniem się ich

produktywności, mierzonym za pomocą średniego plonu. Prawie we wszystkich miejscowościach stwierdzono istotne zwiększenie średniej plonu dla intensywności uprawy A2 i A1. Wyjątek stanowiły jedynie dwie miejscowości o najniższym średnim plonie, tj. Głębokie oraz Marianowo, gdzie nie stwierdzono istotnej różnicy plonu przy A1 i A2.

WNIOSKI

1. Łączna trójkierunkowa analiza wariancji według modelu stałego oraz procedura Tukeya może być efektywną metodyką do wnioskowania o różnorodnej reakcji badanych odmian pszenicy ozimej i innych roślin na zmienne warunki środowiskowe w miejscowościach oraz na intensywność uprawy, wykorzystując dane z jednorocznej, wielokrotnej serii dwuczynnikowych doświadczeń PDO, zakładanych w układzie split-block.
2. W warunkach pogodowych sezonu 2008–2009 badane odmiany pszenicy ozimej plonowały na podobnym przeciętnym poziomie, obliczonym poprzez reprezentatywne stacje oceny odmian dla warunków agroekologicznych w Polsce i dwa poziomy intensywności uprawy, zakres średnich plonu ziarna dla odmian wynosił 740-840g/m².
3. W badanych warunkach pogodowych odmiany pszenicy ozimej reagowały różnie pod względem plonu ziarna na warunki agroekologiczne w Polsce, zaś reagowały one podobnym, istotnym, wzrostem plonu na zwiększenie intensywności uprawy, niezależnie od stacji oceny odmian.
4. Średnie, dla odmian, dodatnie efekty wzrostu intensywności uprawy na plon pszenicy ozimej w środowiskach stacji oceny odmian zmniejszały się, wraz z redukcją produktywności tych środowisk.

LITERATURA

- Anderson W. K. 2010. Closing the gap between actual and potential yield of rainfed wheat. The impacts of environment, management and cultivar. *Field Crops Research* 116: 14 — 22.
- Annicchiarico P. 2002. Genotype × environment interactions — Challenges and opportunities for plant breeding and cultivar recommendations, FAO plant productions and protection paper 174.
- Annicchiarico P., Chiapparino E., Perenzin M. 2010. Response of common wheat varieties to organic and conventional production systems across Italian locations, and implications for selection. *Field Crops Research*, 116: 230 — 238.
- Ayoub M., Guertin S., Fregeau-Reid J., Smith D. L. 1994. Nitrogen fertilizer effect on breadmaking quality of hard red spring wheat in eastern Canada. *Crop Science* 34: 1346 — 1352.
- Carr P. M., Horsley R. D., Poland W. W. 2003. Tillage and seeding rate effects on wheat cultivars: I. grain production. *Crop Sci.* 43: 202 — 209.
- COBORU. 2002. Zboża. Metodyka badania wartości odmian. COBORU, Słupia Wielka.
- Cooper M., Woodruff D.R., Phillips I. G., Basford K. E., Gilmour A. R. 2001. Genotype-by-management interactions for grain yield and grain protein concentration of wheat. *Field Crops Research* 69: 47 — 67.
- Drzazga T., Paderewski J., Mądry W., Kajewski P. 2009. Ocena rodzajów reakcji plonowania odmian pszenicy ozimej w doświadczeniach PDO na przestrzennie zmienne warunki przyrodnicze w kraju. *Biul. IHAR* 253: 71 — 82.

- Elandt R. 1964. Statystyka matematyczna w zastosowaniu do doświadczeń rolniczego. PWN Warszawa: 595 ss.
- Fan X. M., Kang M. S., Chen H., Zhang Y., Tan J., Xu C. 2007. Yield stability of maize hybrids evaluated in multi-environment trials in Yunnan, China. *Agron. J.* 99: 1: 220 — 228.
- Geleta B., Atak M., Baenziger P. S., Nelson L. A., Baltenesperger D. D., Eskridge K. M., Shipman M. J., Shelton D. R. 2002. Seeding rate and genotype effect on agronomic performance and end-use quality of winter wheat. *Crop Sci.* 42: 827 — 832.
- Ma B. L., Yan W., Dwyer L. M., Fregeau-Reid J., Voldeng H. D., Dion Y., Nass H. 2004. Graphic analysis of genotype, environment, nitrogen fertilizer, and their interactions on spring wheat yield. *Agron. J.* 96: 169 — 180.
- McIntosh M. S. 1983. Analysis of combined experiments. *Crop Sci.* 75:153 — 156.
- Mejza I. 1999. Planowanie serii doświadczeń dwuczynnikowych z rozszczepionymi jednostkami i analiza wyników. *Roczniki Akademii Rolniczej w Poznaniu, Zeszyt* 301.
- Mintenko A. S., Smith S. R., Cattani D. J. 2002. Turfgrass evaluation of native grasses for the Northern Great Plains Region. *Crop Sci.* 42: 2018 — 2024.
- Oscarsson M., Andersson R., Aman P., Jonsson A. 1998. Effects of cultivar, nitrogen fertilization rate and environment on yield and grain quality of barley. *J. Sci. Food Agric.* 78: 359 — 366.
- Schmidt J. P., Lamb J. A., Schmitt M. A., Randall G. W., Orf J. H., Gollany H. T. 2001. Soybean varietal response to liquid swine manure application. *Agron. J.* 93: 358 — 363.
- Sharma R. C., Morgounov A. I., Braun H. J., Akin B., Keser M., Bedoshvili D., Bagci A., Martius C., van Ginkel M. 2009. Identifying high yielding stable winter wheat genotypes for irrigated environments in Central and West Asia. *Euphytica* 171: 3 — 64.
- Souza E. J., Martin J. M., Guttieri M. J., O'Brien K. M., Habernicht D. K., Lanning S. P., McLean R., Carlson G. R., Talbert L. E. 2004. Influence of genotype, environment, and nitrogen management on spring wheat quality. *Crop Science* 44: 425 — 432.