DOI: 10.37317/biul-2009-0018

KAROLINA KRYSTKOWIAK
TADEUSZ ADAMSKI
MARIA SURMA
ZYGMUNT KACZMAREK
ANETTA KUCZYŃSKA
Instytut Genetyki Roślin Polskiej Akademii Nauk, Poznań

Ocena zróżnicowania odmian pszenicy pod względem cech użytkowych z wykorzystaniem jedno- i wielowymiarowych metod statystycznych

Variation of wheat cultivars with regard to agronomic traits estimated by uni- and multivariate analysis

Celem badań było przedstawienie możliwości wykorzystania jedno- i wielozmiennej analizy statystycznej danych eksperymentalnych w procesie wyboru odmian pszenicy charakteryzujących się korzystnymi wartościami zarówno pod względem elementów struktury plonu jak i cech reologicznych. Materiał do badań stanowiło 18 odmian pszenicy ozimej wykorzystywanych w programach hodowlanych. Doświadczenie przeprowadzono w układzie bloków losowanych kompletnych w trzech powtórzeniach. Dla każdej odmiany zmierzono wysokość rośliny, masę ziarna z rośliny, długość kłosa, masę ziarna z kłosa i masę 1000 ziaren, a także określano zawartość białka w s.m. ziarna, wskaźnik Zeleny'ego oraz wykonano analizy farinograficzne przy użyciu aparatu Brabendera. Uzyskane dane opracowano statystycznie. Biorąc pod uwagę wyniki uzyskane z jedno- i wielowymiarowej analizy statystycznej, spośród badanych odmian na wyróżnienie zasługują Alidos i Batis, o istotnie lepszych lub nie odbiegających od średniej dotyczących wszystkich badanych odmian parametrach dla elementów struktury plonu i cech technologicznych ziarna.

Słowa kluczowe: analiza statystyczna, cechy reologiczne, struktura plonu, odległości Mahalanobisa, pszenica ozima

The aim of this study was to present the use of uni- and multivariate statistic analysis for evaluation of initial material diversity in wheat breeding. Material for the studies included 18 winter wheat cultivars utilized in breeding programs. The field experiment was carried out in the randomized block design with three replications. After harvesting, the plant height, grain weight per plant, ear length, grain weight per ear, thousand — grain weight, protein content and Zeleny test were recorded for all cultivars. In addition, rheological parameters were evaluated using the Brabender farinograph. The obtained data were analyzed statistically. Results of the statistical analysis showed that among the genotypes under study two, Alidos and Batis, may be distinguished as cultivars characterised by better performance of morphological and technological traits, as compared to than the other genotypes.

Key wards: grain quality, Mahalanobis distances, morphological traits, rheological properties, statistical analysis, winter wheat

WSTĘP

Znajomość zróżnicowania materiałów wyjściowych (odmian, rodów, linii) stanowi podstawę wyboru form do programów hodowlanych. Przy ocenie zróżnicowania pod uwagę brane są różne cechy agronomiczne i właściwości technologiczne. W przypadku pszenicy oprócz odporności na choroby, wysokości plonu i kształtowania się elementów jego struktury, ważna jest także jakość mąki oraz jej przydatność do celów wypiekowych. O właściwościach wypiekowych mąki pszenicznej wnioskować można pośrednio na podstawie składu wysokocząsteczkowych podjednostek białek gluteninowych (high-molecular-weight-glutenin subunits, HMW-GS), ponieważ jednak nie determinują one w sposób jednoznaczny właściwości reologicznych, konieczne jest przeprowadzenie odpowiednich analiz, na podstawie których określa się parametry technologiczne pozwalające zakwalifikować odmiany do grupy E (pszenice elitarne), A (jakościowe), B (chlebowe) lub C (niespełniające norm jakościowych) (Shewry i in., 1992; Salmanowicz i in., 2008). Odmiany pszenicy o dobrych właściwościach technologicznych są na ogół mniej plenne (Calderini i Slafer, 1999; De Vita i in., 2007). Stąd dla hodowców szczególnie cenne są te formy, które charakteryzują się dobrymi wartościami technologicznymi oraz wysokim plonem.

Analizy statystyczne wyników doświadczeń z genotypami pszenicy przeprowadzane są najczęściej za pomocą jednocechowej analizy wariancji. Dostarcza ona informacji o zróżnicowaniu badanych odmian pod względem każdej z cech oddzielnie, nie uwzględniając zależności występujących między nimi. Warunek ten spełnia wielocechowa analiza wariancji umożliwiająca dodatkowo porównanie genotypów pod względem wszystkich cech łącznie (Caliński, Kaczmarek 1973, Caliński i in. 1975). Celem badań było przedstawienie możliwości wykorzystania analizy statystycznej wielu cech łącznie dla danych eksperymentalnych w procesie wyboru odmian charakteryzujących się kompleksem korzystnych wartości zarówno elementów struktury plonu jak i cech reologicznych ziarna.

MATERIAŁY I METODY

Materiał do badań stanowiło 18 odmian pszenicy ozimej pochodzących z Niemiec, Anglii oraz Polski, wykorzystywanych w programach hodowli pszenicy. Odmiany badano na polu doświadczalnym w Cerekwicy koło Poznania stosując standardowe warunki uprawy i nawożenia. Nasiona wysiewano na poletkach o powierzchni 2 m^2 w rozstawie 10 × 3 cm (około 330 nasion 1 m^2), w układzie bloków losowanych kompletnych, każde w trzech powtórzeniach. Na podstawie 50 losowo wybranych roślin z każdego poletka określano: wysokość rośliny, plon z rośliny, długość kłosa, masę ziarna z kłosa i masę 1000 ziaren. W celu dokonania oceny jakościowej określano zawartość białka w suchej masie ziarna, przeprowadzono test sedymentacji Zeleny'ego oraz wykonano analizy farinograficzne przy użyciu aparatu Brabendera. Podstawowe parametry brane pod uwagę to: wodochłonność mąki, czas rozwoju ciasta, czas stałości ciasta, elastyczność ciasta i rozmiękczenie ciasta.

Uzyskane wyniki opracowano statystycznie. Wielocechowa analiza wariancji (MANOWA) przeprowadzona na danych z doświadczenia jednoczynnikowego umożliwiła wyznaczenie średnich dla odmian oraz uzyskanie ocen efektów głównych, będących różnicą między średnią ogólną a wartością średnią dla danego genotypu. Istotność efektów głównych badano za pomocą statystyki F na poziomie istotności $\alpha = 0,05$ i $\alpha = 0,01$. Analiza ta pozwoliła także dokonać porównania badanych odmian pszenicy pod względem wszystkich analizowanych cech łącznie oraz każdej cechy oddzielnie. Zastosowana następnie analiza zmiennych kanonicznych (Caliński, Kaczmarek, 1973; Morrison, 1976) umożliwiła przedstawienie na płaszczyźnie rozmieszczenia badanych odmian scharakteryzowanych wszystkimi cechami. Badanie wpływu poszczególnych cech na zmienne kanoniczne przeprowadzono za pomocą współczynników korelacji. Obliczone odległości Mahalanobisa między odmianami pozwoliły na wnioskowanie o wielocechowym podobieństwie wybranych par. Badano także moc dyskryminacyjną cech w celu ustalenia, który z analizowanych parametrów w największym stopniu różnicuje badane odmiany.

WYNIKI I DYSKUSJA

Przed przystąpieniem do przeprowadzenia MANOVA znaleziono charakterystyki statystyczne analizowanych cech (tab. 1). Wyniki analizy wariancji przeprowadzonej dla wszystkich cech łącznie wykazały istotne zróżnicowanie badanych odmian zarówno pod względem kompleksu cech morfologicznych i technologicznych ($F_{obl.} = 9,70$; $F_{0,01} = 1,36$), jak i każdej z analizowanych cech oddzielnie. W tabelach 2 i 3 przedstawiono ocenę efektów głównych dla cech struktury plonu oraz cech technologicznych ziarna wraz z wynikami ich testowania. Tylko cztery odmiany: Alidos, Aristos, Batis oraz Kobra charakteryzowały się dodatnimi wartościami efektów głównych dla cech plonotwórczych, jednakże uzyskane wyniki nie zawsze były statystycznie istotne. Interesującą z hodowlanego punktu widzenia okazała się odmiana Flair o wyższym od średniej dla wszystkich badanych form masie ziarna z rośliny i z kłosa. Uwagę zwracają również odmiany Charger, Tad, Kris o istotnie ujemnych wartościach efektu głównego dla wysokości roślin, a więc wyraźnie niższe od pozostałych odmian, zarazem nie odbiegające istotnie masą ziarna z kłosa i z rośliny od średniej dla wszystkich badanych form.

W Polsce klasyfikację przydatności odmian do przemysłu piekarniczego dokonuje się na podstawie oceny wybranych parametrów technologicznych, w tym wodochłonności mąki, rozmiękczenia ciasta, wskaźnika sedymentacji Zeleny'ego oraz zawartości białka w suchej masie ziarna. Według badań COBORU lub/i danych zamieszczonych w Beschreibende Sortenliste (w Niemczech obowiązuje zbliżony do polskiego system oceny wartości technologicznej odmian) spośród 18 badanych form, 5 należy do form elitarnych (Alidos, Aron, Bussard, Carolus, Rektor), 9 do jakościowych lub chlebowych oraz jedna (Elena) do paszowych, natomiast odmiany Borenos, Charger, Tad nie zostały scharakteryzowane.

Tabela 1

Charakterystyki statystyczne badanych cech plonotwórczych i technologicznych pszenicy
Statistic characterization of analyzed traits in wheat

Cecha Trait	Średnia Mean	Współczynnik zmienności (%) Coefficient of variation (%)	Wartość min. Min. value	Wartość maks. Max. value
Wysokość rośliny (cm) Plant height (cm)	89,7	10,58	71,0	102,3
Masa ziarna z rośliny (g) Grain weight per plant (g)	10,2	12,58	8,0	13,6
Długość kłosa (cm) Ear length (cm)	8,02	10,82	6,3	9,5
Masa ziarna z kłosa (g) Grain weight per ear (g)	2,0	12,32	1,7	2,4
Masa 1000 ziaren 1,000-grain weight (g)	44,8	8,19	39,5	50,9
Wodochłonność mąki (%) Water absorption (%)	55,4	2,94	52,2	58,2
Rozwój ciasta (min) Dough development (min)	2,3	15,08	1,8	3,0
Stałość ciasta (min) Dough stability (min)	1,3	29,18	0,8	2,2
Elastyczność cista (j.F.) Dough elasticity (BU)	134,2	12,21	116,7	175,0
Rozmiękczenie ciasta (j.F.) Dough of softening (BU)	83,4	14,41	71,7	114,7
Test sedymentacji Zeleny'ego Zeleny test	41,9	10,25	34,7	47,7
Zawartość białka (%) Protein content (%)	13,4	3,64	12,3	14,2

Tabela 2

Oceny i wyniki testowania efektów głównych dla cech struktury plonu badanych odmian pszenicy
Estimates and results of testing the main effects of wheat cultivars evaluated for morphological traits

Odmiana Cultivar	Wysokość rośliny Plant height (cm)	Masa ziarna z rośliny Grain weight per plant (g)	Długość kłosa Ear length (cm)	Masa ziarna z kłosa Grain weight per ear (g)	Masa 1000 ziaren 1000-grain weight (g)
Alidos	3,95	0,73	0,57	0,39**	1,98
Aristos	8,28	0,48	0,27	0,36**	6,08**
Aron	-0,72	-0,05	-0,90*	-0,11	-5,25**
Batis	10,95*	0,73	1,50**	0,34**	2,58
Begra	7,61	0,51	-0,46	-0,11	2,00
Borenos	2,61	0,63	-0,16	-0,18	1,55
Bussard	8,95*	0,26	-0,20	-0,24*	-2,04
Charger	-18,72 **	0,62	-0,30	-0,04	-1,64
Carolus	-2,39	-0,24	0,47	-0,10	1,91
Tad	-12,72 **	-1,05	-1,03*	0,19	2,42
Elena	0,61	-1,16	1,50**	0,08	-4,02*
Flair	8,61*	3,39**	0,57	0,35**	-2,51
Kobra	0,61	1,28	0,07	0,07	0,30
Kornett	-15,05 **	-0,13	-0,66	-0,10	-5,00**
Kris	-12,05 **	0,61	-1,76**	0,00	4,94**
Mikon	-6,72	-1,5*	1,10**	-0,34**	-3,00
Pegassos	3,61	-1,16 [3]	-0,60	-0,33**	4,87**
Rektor	12,61 **	-2,12**	-0,03	-0,33**	-5,09**

*P<0,05, **P<0,01

Tabela 3

Oceny i wyniki testowania efektów głównych dla cech technologicznych badanych odmian pszenicy
Estimates and results of testing the main effects of wheat cultivars evaluated for technological traits

Odmiana Cultivar	Wodochłonność mąki Water absorption (%)	Rozwój ciasta Dough development (min)	Stałość ciasta Dough stability (min)	Elastyczność ciasta (j.F.) Dough elasticity (BU)	Rozmiękczenie ciasta (j.F) Dough of softening (BU)	Wskaźnik Zeleny'ego Zeleny test	Zawartość białka Protein content (%)
Alidos	-1,94*	0,45	0,96**	-26,50**	-11,76	3,13	0,72**
Aristos	-0,48	-0,09	0,46**	-22,50**	-11,76	2,80	-0,68**
Aron	0,22	0,28	0,13	23,50**	-6,76	0,46	-0,31*
Batis	2,06*	-0,12	-0,17	11,83*	-11,76	2,46	-0,21
Begra	1,25	-0,32	-0,44*	13,83**	-7,43	5,80*	0,19
Borenos	-0,58	0,71*	0,46**	-1,50	1,91	-3,87	-0,18
Bussard	-0,71	0,44	0,03	-1,50	1,57	4,46	-0,44**
Charger	-1,01	0,35	0,23	-0,84	-0,09	-0,20	0,22
Carolus	-1,48	0,48	-0,50**	6,83	-2,09	2,80	0,72**
Tad	-3,24**	-0,05	-0,17	-15,50**	24,91**	-5,20	-1,08**
Elena	2,22**	-0,12	-0,34	-26,50**	31,24**	-6,87*	0,12
Flair	-0,04	0,01	-0,07	-1,17	7,24	-5,54*	0,32*
Kobra	-1,74*	0,01	0,03	-0,84	7,91	2,46	-0,04
Kornett	1,56	-0,49	-0,07	-3,17	-7,43	-1,87	-0,24
Kris	-0,78	-0,49	-0,24	-21,50**	0,57	-7,20*	-0,04
Mikon	2,79**	0,08	-0,44*	11,83*	0,57	-2,20	0,82**
Pegassos	0,92	-0,52	-0,07	31,83**	-5,09	5,80*	0,22
Rektor	0,96	-0,22	0,13	21,83**	-1,75	2,80	-0,14

*P<0,05, **P<0,01

Badane odmiany wykazały duże zróżnicowanie pod względem cech technologicznych ziarna. Większość odmian należących nawet do tej samej klasy jakościowej odznaczała się równocześnie korzystnymi wartościami dla jednych wskaźników jak i niepożądanymi dla innych parametrów. Na uwagę zasługuje odmiana Batis (grupa jakości wg Beschreibende Sortenliste „A") o wyższych od średniej wartościach dla wodochłonności mąki, elastyczności ciasta oraz wskaźnika sedymentacji Zelenyego. Pod względem pozostałych cech technologicznych odmiana Batis nie różniła się istotnie od średniej dla wszystkich odmian biorących udział w doświadczeniu. Korzystnymi właściwościami reologicznymi odznaczała się także zaliczana do pszenic jakościowych odmiana Pegassos, o dodatnich efektach głównych dla elastyczności ciasta i wskaźnika sedymentacji Zeleny'ego. Uwagę zwraca również odmiana Mikon wykazująca wyższą od średniej elastyczność i wodochłonność ciasta oraz zawartość białka w suchej masie ziarna. Stałość ciasta była jednak u tej formy istotnie niższa od średniej dla wszystkich badanych odmian.

Badanie mocy dyskryminacyjnej pozwala na ustalenie kolejności poszczególnych cech ze względu na ich udział w zmienności analizowanych odmian. W tabeli 4 przedstawiono moc dyskryminacyjną cech (wyrażoną wartościami statystyki F). Z zamieszczonych danych wynika, że udział wszystkich cech w zróżnicowaniu badanych odmian pszenicy był istotny na poziomie $\alpha = 0,01$. Największy wpływ na zróżnicowanie badanych form miały zawartość białka w suchej masie ziarna oraz elastyczność ciasta (wartości statystyki F odpowiednio 29,47 i 24,28). Dopiero w dalszej kolejności uplasowały się cechy plonotwórcze: masa ziarna z kłosa i masa 1000 ziaren. Najmniej różnicującymi badane

formy okazały się wskaźnik sedymentacji Zeleny'ego i rozwój ciasta. Jest to zrozumiałe, jeśli weźmie się pod uwagę fakt, iż badane odmiany należą do różnych klas jakościowych.

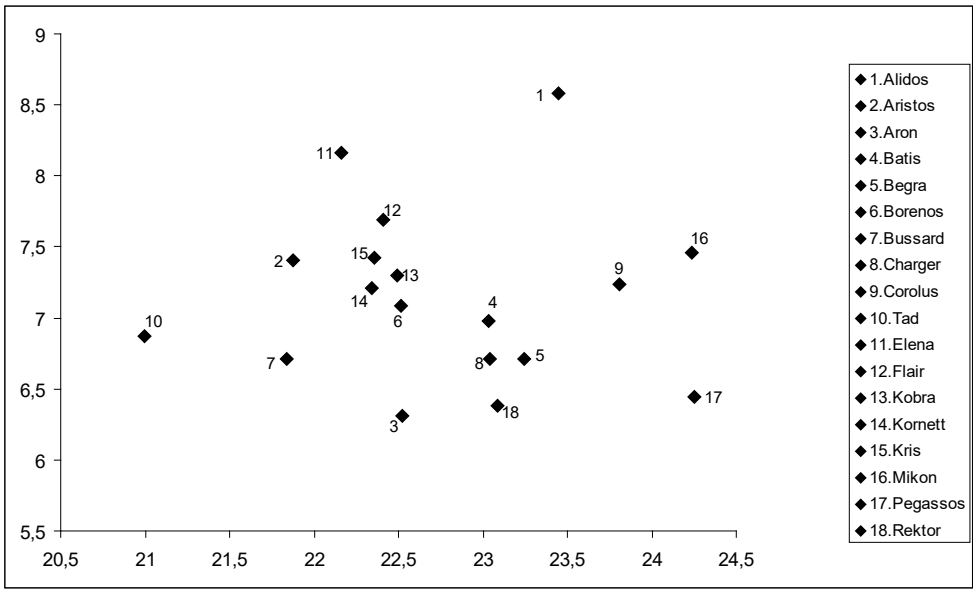
Tabela 4

Moc dyskryminacyjna cech dla badanych odmian pszenicy ozimej
Discrimination power of the analyzed traits for studied wheat cultivars

Cecha Trait	Wartość statystyki F F-statistic value
Wysokość rośliny (cm) — Plant height (cm)	9,76
Masa ziarna z rośliny (g) — Grain weight per plant (g)	5,64
Długość kłosa (cm) — Ear length (cm)	8,77
Masa ziarna z kłosa (g) — Grain weight per ear (g)	10,98
Masa 1000 ziaren — 1000-grain weight (g)	10,09
Wodochłonność mąki (%) — Water absorption (%)	6,93
Rozwój ciasta (min) Dough development (min)	3,26
Stałość ciasta (min) — Dough stability (min)	9,34
Elastyczność cista (j.F.) — Dough elasticity (BU)	24,28
Rozmiękczenie ciasta (j.F.) — Dough of softening (BU)	7,34
Wskaźnik Zeleny'ego — Zeleny test	4,73
Zawartość białka (%) — Protein content (%)	29,47

$F_{0,05}$=1,93
$F_{0,01}$=2,54

Graficzny obraz rozmieszczenia badanych odmian w układzie dwóch pierwszych zmiennych kanonicznych, czyli zmiennych zawierających największy procent zmienności między obiektami, przedstawiono na rysunku 1. W przypadku zmiennej V_1 największy wpływ na rozmieszczenie badanych form w przestrzeni miała zawartość białka (wsp. korelacji między tą cechą a zmienną V_1 wynosił 0,83) oraz cechy technologiczne: elastyczność i rozwój ciasta (współczynnik korelacji równy odpowiednio 0,56 i –0,47), natomiast w odniesieniu do zmiennej V_2 — masa ziarna z kłosa i elastyczność ciasta (wsp. korelacji odpowiednio 0,45 i 0,57). Spośród analizowanego zestawu form wyróżniała się odmiana Pegassos (rys. 1, poz. 17) odznaczająca się najwyższą elastycznością ciasta przy wartościach pozostałych parametrów nie odbiegających od średniej dla wszystkich odmian, oraz odm. Mikon (rys. 1, poz. 16) o najwyższej zawartości białka oraz stosunkowo wysokiej elastyczności ciasta. Uwagę zwraca odrębność odmiany Alidos (rys. 1, poz. 1), dla której wszystkie parametry plonotwórcze miały wartości przewyższające średnią ogólną, natomiast wartości parametrów technologicznych były zróżnicowane: wyższej niż u pozostałych form zawartości białka i stałości ciasta towarzyszyła istotnie mniejsza elastyczność ciasta. Skrajnie odrębną pozycją w stosunku do pozostałych form zajmuje Tad (rys. 1, poz. 10) charakteryzująca się relatywnie niskimi wartościami efektów głównych dla dziewięciu spośród dwunastu analizowanych cech, w szczególności dla zawartości białka oraz elastyczności ciasta, a więc tych cech, które są istotnie skorelowane ze zmienną V_1.



Rys. 1. Rozmieszczenie badanych odmian pszenicy, scharakteryzowanych wszystkimi analizowanymi cechami łącznie, w układzie dwóch pierwszych zmiennych kanonicznych
Fig. 1. Scatter plot for wheat cultivars characterized by all the studied traits simultaneously in axes of two first canonical variables

Tabela 5

Pary odmian pszenicy ozimej najbardziej zbliżone pod względem badanych cech plonotwórczych i technologicznych
Winter wheat cultivars paired based on their high similarity with regard to the analyzed traits

Odmiana Cultivar	Odległość Mahalanobisa Mahalanobis distance
Alidos-Charger	9,54
Charger-Kobra	5,68
Kobra-Aristos	7,15
Kobra-Borenos	4,34
Borenos-Bussard	5,86
Bussard-Aron	6,64
Aron-Rektor	5,76
Rektor-Begra	6,38
Begra-Batis	7,34
Begra-Carolus	6,44
Carolus-Mikon	6,58
Begra-Pegassos	7,75
Bussard-Tad	8,28
Kobra-Flair	6,74
Flair-Elena	8,55
Kobra-Kornett	6,99
Kornett-Kris	7,67

$D_{0,05}$=5,34, $D_{0,01}$=6,31

Zastosowana do opisu zróżnicowania badanego zestawu odmian analiza zmiennych kanonicznych stanowi istotne uzupełnienie analizy jednocechowej, pozwalające wyodrębnić spośród analizowanego zestawu odmiany odznaczające się korzystnymi cechami użytkowymi. Należy jednak wziąć pod uwagę fakt, że graficzne rozmieszczenie odmian na płaszczyźnie (w przestrzeni dwuwymiarowej) związane jest z pewną stratą informacji. O zróżnicowaniu form pod względem całego kompleksu cech plonotwórczych i technologicznych wnioskować można bardziej precyzyjnie na podstawie odległości Mahalanobisa. W tabeli 5 podano odległości Mahalanobisa dla par odmian najbardziej podobnych pod względem badanych cech plonotwórczych i technologicznych. Jak można zauważyć, spośród wszystkich par odmian, tylko odległości Mahalanobisa między odmianami Kobra i Borenos okazały się na poziomie $\alpha = 0,05$ nieistotne co wskazuje, że odmiany te są najbardziej zbliżone do siebie pod względem kompleksu badanych cech morfologicznych i technologicznych.

WNIOSKI

1. Wielowymiarowa analiza statystyczna odmian (rodów) pozwala na określenie podobieństwa tych form pod względem wielu cech, ustalenie kolejności poszczególnych cech ze względu na ich udział w zmienności między badanymi formami, a także na dokonanie wyboru odmian odznaczających się korzystnymi wartościami pod względem wszystkich cech łącznie (zarówno elementów struktury plonu jak i cech technologicznych).
2. Ocenę badanych odmian pod względem pojedynczych cech można uzyskać między innymi poprzez określenie ich efektów głównych.
3. Zastosowanie jedno - i wielowymiarowych metod analizy statystycznych pozwoliło wyróżnić odmiany Alidos i Batis o istotnie lepszych lub nieodbiegających od średniej dla wszystkich badanych odmian parametrach dla cech struktury plonu i cech technologicznych ziarna. Wyróżnione pod względem kompleksu cech odmiany wykazują znaczną odrębność fenotypową, o czym świadczy uzyskana wysoce istotna odległość Mahalanobisa między nimi wynosząca 13,22.

LITERATURA

Caalderini D. F., Szafer G. A. 1999. Has yield stability changed with genetic improvement of wheat yield? Euphytica 107: 1524 — 1532.

Caliński T., Kaczmarek Z. 1973. Metody kompleksowej analizy doświadczenia wielocechowego. Trzecie colloquium metodologiczne z Agro-Biometrii. PAN, Warszawa — Wrocław, 258 — 320.

Caliński T., Dyczkowski A., Kaczmarek Z. 1975. Testowanie hipotez o wielozmiennej analizie wariancji i kowariancji. Rocz. AR Pozn. 86, 5: 77 — 113.

De Vita P., Li Destori Nicosia O., Nigro F., Platini C., Riefolo C., Di Fonzo N., Cattivelli L. 2007. Breeding Progress in morpho-physiological, agronomical and qualitative traits durum wheat cultivars released in Italy during the 20th century. Europ. J. Agronomy 26:39 — 53.

Morrison D. F. 1976. Multivariate Statistical methods 2nd ed., McGraw-Hill Kogakusha LTD, Tokyo.

Salmanowicz B., Surma M., Adamski T., Rębacz M. 2008. Effects of amounts of HMW glutenin subunits determined by capillary electrophoresis on technological properties in wheat doubled haploids. J. Sci. Food Agric. 88:1716 — 1725.

Shewry P. R., Halford N. G., Tatham A. S. 1992. High molecular weight subunits of wheat glutenin. J. Cereal Science 15:105 — 120.