

TADEUSZ ADAMSKI ¹
ZYGMUNT KACZMAREK ¹
MARIA SURMA ¹
ANETTA KUCZYŃSKA ¹
KAROLINA KRYSZKOWIAK ¹
BOLESŁAW SALMANOWICZ ¹
RENATA TRZECIAK ¹
ZOFIA BANASZAK ²
BOGUSŁAWA ŁUGOWSKA ²
MAŁGORZATA MAJCHER ³
WIKTOR OBUCHOWSKI ³

¹ Instytut Genetyki Roślin PAN, Poznań

² DANKO Hodowla Roślin, Sp. z o.o

³ Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

Wielocechowa analiza wybranych cech jakości ziarna pszenicy ozimej*

Multivariate analysis of some quality traits of winter wheat grain

Jakość ziarna pszenicy zależy od wielu cech, spośród których twardość ziarna uważana jest za jedną z ważniejszych. Rezultaty wielu badań wskazują, że twardość ziarna ma związek z wymiawowością oraz z podstawowymi wskaźnikami wartości wypiekowej, jak wodochłonność mąki, test sedymentacyjny i objętość chleba. Praca przedstawia wyniki badań cech technologicznych oraz twardości ziarna 104 rodów pszenicy ozimej polskiej hodowli. Rody te oraz odmiany wzorcowe Muszelka i Bogatka badane były w doświadczeniach polowych w dwóch miejscowościach. Określano — używając aparatu NIR System Infratec 1241 Analyzer (Foss, Hillerod, Denmark) — na 600-gramowych próbach pełnego ziarna relatywną twardość ziarna, zawartość białka, gluten mokry, liczbę sedymentacji Zeleny'ego oraz parametr alweograficzny. Uzyskane dane analizowano statystycznie stosując wielozmienną analizę wariacji i pokrewne metody wielu zmiennych. Utworzono teoretyczną linię charakteryzującą się najkorzystniejszymi wartościami analizowanych cech, z którą porównywano badane rody, zarówno pod względem poszczególnych cech, jak i wszystkich cech traktowanych łącznie. Zastosowane metody pozwoliły wyodrębnić grupę rodów nie różniących się istotnie od najlepszej linii pod względem wszystkich analizowanych parametrów jakościowych. Zaproponowane podejście może być wykorzystane w programach hodowli pszenic jakościowych.

Słowa kluczowe: pszenica ozima, rody hodowlane, twardość ziarna, parametry jakościowe, analiza wielozmienna

* Praca wykonana w ramach projektu badawczo-rozwojowego nr R12 016 03 Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

Wheat grain quality depends on several traits, among which grain hardness is considered as a very important. Results of many research indicate that grain hardness is connected with flour yield and with the main indices of technological properties, such as flour water absorption, sedimentation value and final loaf volume. The paper presents results of experiment, in which 106 advanced Polish breeding lines of winter wheat were analysed in regard to grain hardness and technological properties. These lines along with standard cultivars Bogatka and Muszelka were observed in field experiments conducted in two localities. 600-g samples of whole grains were analysed with the use of NIR System Infracore 1241 Analyzer (Foss, Hillerod, Denmark). Relative grain hardness, protein content, wet gluten, Zeleny sedimentation value and alveograph parameter were recorded. The obtained data were statistically processed by multivariate analysis of variance and related methods. Besides, a theoretical line characterized by the most advantageous values of analysed traits was created and the contrasts between that line and the studied breeding lines were estimated and tested in regard to all traits treated simultaneously and individually. Applied methods permitted to identify breeding lines similar to theoretical line in terms of all analysed parameters. Proposed statistical approach may be helpful in selection of wheat genotypes with improved grain quality.

Key words: winter wheat, advanced breeding lines, grain hardness, quality parameters, multivariate analysis

WSTĘP

Jakość ziarna pszenicy zależy od wielu cech, spośród których za najważniejsze uważa się zawartość białka, skład jakościowy wysokocząsteczkowych podjednostek białek gluteninowych oraz twardość ziarna. W polskich ośrodkach hodowlanych podstawą selekcji pszenic jakościowych najczęściej są takie wskaźniki jak test sedymentacyjny Zeleny'ego, liczba opadania i zawartość białka, natomiast w większości krajów europejskich oraz w Kanadzie i USA we wczesnych etapach hodowli określana jest twardość ziarna. Rezultaty wielu badań wskazują bowiem, że twardość ziarna ma istotny wpływ na jego cechy technologiczne, w szczególności wyrażające się łatwością przesiewania i sortowania młewa, stopniem uszkodzenia skrobi podczas przemiału, wodochłonnością wytwarzanego ciasta, podatnością na działanie enzymów amylolitycznych, lepszą zdolnością fermentacyjną i w konsekwencji lepszą wartością wypiekową (Shewry i in., 1992; Autron i in., 1997; Martin i in., 2001; Gross i in., 2004; Ceglińska i in., 2007).

Twardość ziarna można zdefiniować jako właściwość wyrażającą się odpornością na odkształcenia plastyczne i pęknięcia przy działaniu siły skupionej na powierzchnię danego ciała. Złożoność budowy anatomicznej, struktury i własności mechanicznych poszczególnych części ziarna oraz odmienność zasad, na których oparta jest ocena twardości są powodem znacznego zróżnicowania uzyskiwanych wyników (Obuchowski i in., 1981). Stopień powiązania oceny twardości ziarna z określonymi wyróżnikami oceny technologicznej ziarna pszenicy jest także zróżnicowany. Techniki oznaczania twardości ziarna są bardzo różne (Gąsiorowski i Poliszko, 1977; Obuchowski i in., 1981, 2010), przy czym dla hodowców najbardziej interesująca jest metoda oznaczania za pomocą techniki bliskiej podczerwieni (NIR), ponieważ jest łatwa, szybka i nie niszczy materiału (Martin i in., 2001; Osborne, 2006; Obuchowski i in., 2010).

Celem przeprowadzonych badań była analiza zmienności polskich rodów hodowlanych pszenicy ozimej pod względem twardości ziarna oraz wybranych cech warunkujących jakość ziarna oznaczonych z wykorzystaniem techniki bliskiej podczerwieni.

MATERIAŁ I METODY

Materiał do badań stanowiły 104 rody pszenicy ozimej oraz dwie odmiany wzorcowe Bogatka i Muszelka. Rody pochodziły z DANKO Hodowla Roślin Sp. z o.o. Rody te badano w serii dwóch doświadczeń jednopowtórzeniowych z wzorcem przeprowadzonych w miejscowościach Dębina i Laski. Po zbiorach, na 600-gramowych próbach pełnego ziarna oznaczono relatywną twardość ziarna (NIT), zawartość białka, gluten mokry, liczbę sedymentacji Zeleny'ego oraz wartość parametru alweograficznego W, za pomocą NIR System Infratec 1241 Analyzer (Foss, Hillerød, Denmark).

W celu wyróżnienia rodów odznaczających się dobrymi właściwościami technologicznymi zastosowano najpierw wielozmienną analizę wariancji opartą na ogólnej teorii o blokach niekompletnych (Ceranka i in., 1976) oraz pokrewne metody wielozmienne (Caliński i in., 1976; Seber, 1984), a następnie dokonano testowania istotności porównań poszczególnych rodów z teoretyczną linią najlepszą. Biorąc pod uwagę najwyższe wartości średnie z dwóch miejscowości dla każdej z obserwowanych w doświadczeniach cech utworzono linię teoretyczną charakteryzującą się najlepszymi parametrami jakościowymi, jakimi w tych warunkach powinna odznaczać się linia „idealna”. Badane w doświadczeniach rody porównano z linią teoretyczną (LTN) pod względem wszystkich analizowanych cech łącznie poprzez ocenę odpowiednich wielocechowych kontrastów, których istotność testowano za pomocą statystyki F . Przeprowadzono dodatkową charakterystykę badanych rodów obliczając wartości średnie, rozstęp, współczynniki zmienności oraz współczynniki korelacji między analizowanymi cechami. Dla twardości ziarna dokonano podziału rodów na grupy wewnętrznie jednorodne, przeprowadzonego zgodnie z metodyką podaną przez Gabriela (1964). Jako najlepszy uważany jest ten podział, dla którego wewnętrzna suma kwadratów odchyłeń przyjmuje minimum. Jako kryterium jednorodności wewnątrzgrupowej przyjęto wartość statystyki F dla testowania hipotezy o równości średnich wewnątrz grup.

WYNIKI I DYSKUSJA

Średnie wartości badanych cech dla rodów i odmian wzorcowych oraz współczynniki zmienności przedstawiono w tabeli 1. Zróznicowanie rodów i odmian pod względem wszystkich cech było istotne. Największe różnice wystąpiły w odniesieniu do twardości ziarna — wartość statystyki F będącej miarą mocy dyskryminacyjnej cech jak również współczynnik zmienności dla tej cechy były najwyższe. Współczynniki zmienności dla pozostałych cech były zbliżone i mieściły się w granicach od 6,32% dla zawartości białka do 10,53% dla parametru alweograficznego.

Tabela 1

Wartości średnie, rozstęp oraz współczynniki zmienności wybranych cech jakościowych badanych rodów i odmian pszenicy ozimej
Means, ranges and variation coefficients for selected quality traits of studied wheat breeding lines and cultivars

Genotypy Genotypes	Średnia Mean	Rozstęp Range	Współczynnik zmienności Variation coefficient (%)
Twardość ziarna — Grain hardness, (F = 4,14) ¹			
Rody Breeding lines	30,0	9,7–54,4	26,75
cv. Bogatka	32,7		
cv. Muszelka	27,5		
LTN ²	50,6		
Zawartość białka (%) — Protein content, (F = 1,94)			
Rody Breeding lines	12,5	10,8–14,5	6,32
cv. Bogatka	12,6		
cv. Muszelka	12,3		
LTN	14,4		
Gluten mokry (%) — Wet gluten, (F = 2,21)			
Rody Breeding lines	24,1	19,6–29,2	7,70
cv. Bogatka	25,1		
cv. Muszelka	24,9		
LTN	29,0		
Liczba sedymentacji Zeleny'ego — Zeleny sedimentation value, (F = 2,05)			
Rody Breeding lines	33,2	24,3–44,9	10,01
cv. Bogatka	32,8		
cv. Muszelka	32,7		
LTN	43,3		
Parametr alweograficzny — Alveograph parameter, (F = 3,16)			
Rody Breeding lines	244,7	190,2–311,4	10,53
cv. Bogatka	270,3		
cv. Muszelka	232,3		
LTN	307,8		

¹ W nawiasach podano moc dyskryminacyjną cech — in brackets discrimination power is given

² LTN — linia teoretyczna; LTN — theoretical line

Twardość ziarna była dodatnio istotnie skorelowana ze wszystkimi pozostałymi cechami; wartość współczynnika korelacji najniższa była dla zawartości białka ($r = 0,243$), najwyższa dla parametru alweograficznego ($r = 0,493$). Również współczynniki korelacji między wszystkimi pozostałymi cechami okazały się istotne, przy czym najsilniejszy związek wystąpił między zawartością białka, glutenem, liczbą sedymentacji i parametrem alweograficznym (tab. 2).

Badane rody podzielono na grupy jednorodne pod względem twardości ziarna. Przeprowadzona analiza statystyczna pozwoliła na dokonanie podziału badanych form na dwie różniące się istotnie grupy: jedna ze średnią wartością NIT = 35,0 i druga ze średnią 23,9. Oznacza to, że grupa pierwsza obejmuje rody o ziarnie istotnie twardszym niż grupa druga, jednakże nie można ich zaliczyć do pszenic twardych *sensu stricto* (tzn. takich, jak

Triticum durum). Liczebność obu grup była zbliżona i wynosiła odpowiednio 54 i 52 (tab. 3).

Tabela 2

Współczynniki korelacji między badanymi cechami jakościowymi ziarna pszenicy
Correlation coefficients between wheat quality traits studied

Cecha Trait	Zawartość białka Protein content	Gluten mokry Wet gluten	Liczba sedymentacji Zeleny'ego Zeleny sedimentation value	Parametr alweograficzny Alveograph parameter
Twardość ziarna Grain hardness	0,243**	0,349**	0,344**	0,493**
Zawartość białka Protein content		0,948**	0,893**	0,603**
Gluten mokry Wet gluten			0,859**	0,696**
Liczba sedymentacji Zeleny'ego Zeleny sedimentation value				0,539**

** P<0,01

Tabela 3

Grupy jednorodne rodów pszenicy pod względem twardości ziarna
Homogeneous groups of wheat breeding lines in regard to grain hardness

Grupa 1 — group 1 Średnia 35,01 — mean 35.01	Grupa 2 — group 2 Średnia 23,90 — mean 23.90
C1, C2, C3, C4, C5, C7, C9, C12, C14, C15, C16, C17, C18, C19, C20, C21, C22, C23, C24, C25, C30, C32, D36, D37, D38, D39, D41, D43, D44, D45, D47, D48, D49, D50, D51, D55, D56, D60, D65, D66, D67, D69, D72, D75, D76, L85, L87, L94, L96, L100, L101, L103, L104, B	C6, C8, C10, C11, C13, C26, C27, C28, C29, C31, C33, D40, D42, D46, D52, D53, D54, D57, D58, D59, D61, D62, D63, D64, D68, D70, D71, D73, D74, D77, L80, L81, L82, L83, L84, L86, L88, L89, L90, L91, L92, L93, L95, L97, L98, L99, L102, M

Całkowita wewnątrzgrupowa suma kwadratów — 4037,01, wartość krytyczna — 4102,34

Total within group sum of squares — 4037.01, critical value — 4102.34

Pogrubioną czcionką zaznaczono rody nie różniące się od linii teoretycznej pod względem wszystkich analizowanych cech łącznie; Breeding lines not differing significantly from theoretical line in regard to all traits treated together are marked by bold

Porównanie poszczególnych rodów z linią teoretycznie najlepszą wykazało, że pod względem wszystkich cech traktowanych łącznie 10 rodów nie różniło się istotnie od linii teoretycznie najlepszej (tab. 4), przy czym wszystkie te rody zaliczone były do grupy form o ziarnie twardym (tab. 3). W tabeli 4 podano wartości kontrastów między linią teoretycznie najlepszą a wybranymi rodami. Można zauważyć, że aczkolwiek różnice pod względem kompleksu cech były nieistotne, to jednak nie stwierdzono żadnego rodu, który nie różniłby się istotnie od linii teoretycznej pod względem wszystkich pięciu analizowanych cech. Spośród 10 rodów wyszczególnionych w tabeli 4 dwa, L100 i D38, różniły się istotnie od LTN w odniesieniu do jednej tylko cechy (odpowiednio liczby sedymentacji i twardości ziarna), natomiast rody C15, D37 i D49 w odniesieniu do wszystkich pięciu analizowanych cech. Biorąc pod uwagę oba kryteria, to jest wartość statystyki *F* dla porównania pod względem wszystkich cech traktowanych łącznie, jak i istotność różnic dla poszczególnych cech można wyróżnić ród L100 jako najbardziej

zbliżony do linii o najlepszych parametrach. Na uwagę zasługuje także ród D38, który wprawdzie odznaczał się istotnie mniejszą twardością ziarna od LTN, jednak pozostałe parametry jakościowe kształtowały się podobnie jak u LTN.

Tabela 4

Porównanie wybranych rodów pszenicy z linią teoretycznie najlepszą (LTN)
Comparison of selected wheat breeding lines with theoretical line (LTN)

Kontrast Contrast	Wartość kontrastu Contrast value					Stat. <i>F</i> dla wszystkich cech łącznie ¹ <i>F</i> statistic for all traits together ¹
	twardość ziarna grain hardness	zawartość białka protein content	gluten mokry wet gluten	liczba sedymentacji Zeleny'ego Zeleny sedimentation value	parametr alweograficzny alveograph parameter	
LTN — C1	1,00	1,10	3,25*	5,15*	34,30	2,17
LTN — C19	13,00*	1,50*	3,65*	7,70**	33,85	2,22
LTN — C25	12,55*	1,10	2,45	6,30*	41,70*	1,95
LTN — D39	10,10*	1,30*	2,90*	4,90	49,90**	1,60
LTN — L100	7,40	0,95	1,90	5,35*	13,10	1,28
LTN — C14	6,35	1,75**	3,90**	8,40**	46,80*	2,54*
LTN — C15	12,20*	1,40*	4,25**	7,85**	42,35*	3,05*
LTN — D37	12,00*	1,20*	3,05*	5,75*	61,05**	2,47*
LTN — D38	15,50**	0,50	0,85	3,015	17,50	2,71*
LTN — D49	16,80**	1,50*	3,00*	5,80*	43,25*	3,00*

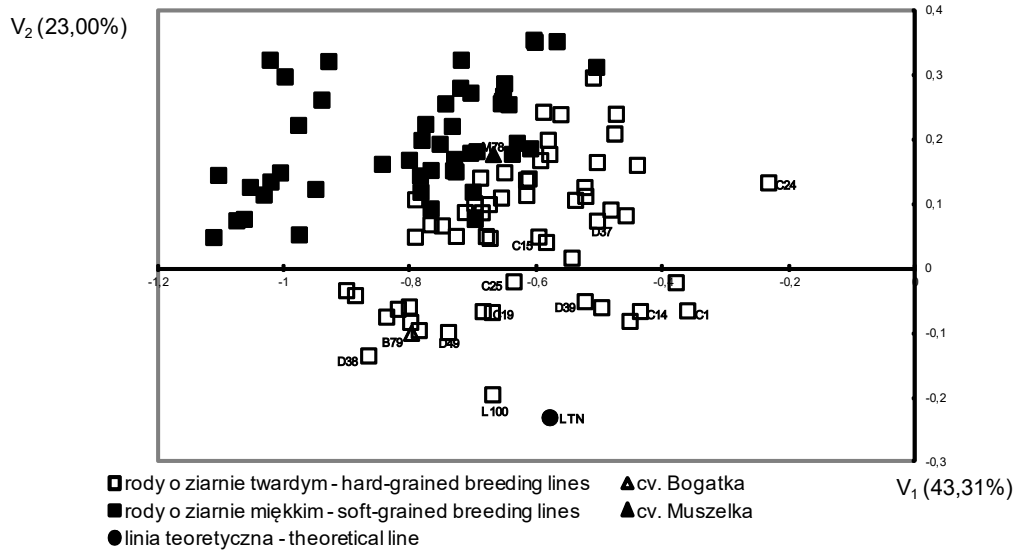
* $P < 0,05$; ** $P < 0,01$

¹ $F_{0,05} = 2,30$; $F_{0,01} = 3,20$

Na rysunku 1 przedstawiono wzajemne położenie badanych rodów scharakteryzowanych wszystkimi analizowanymi cechami traktowanymi łącznie. Można zauważyć, że formy zaliczone do dwóch klas twardości tworzą oddzielne skupienia, odmiana Bogatka znalazła się w grupie form twardych, a Muszelka w grupie form miękkich. Linia L100, wyodrębniona jako forma najbardziej zbliżona do linii teoretycznie najlepszej, zajmuje odrębną pozycję od wszystkich pozostałych rodów. W tej samej ćwiartce układu współrzędnych znajduje się 8 spośród 10 rodów o kompleksie cech nie różniącym się istotnie od linii teoretycznej, z których dwa, D38 i D49, okazały się najbardziej zbliżone do odmiany wzorcowej Bogatka. Spośród badanej grupy form wyróżnia się bardzo wyraźnie ród C24. Odznaczał się on jedną z najwyższych ocen twardości ziarna przy jednocześnie niskiej zawartości białka (12%) i relatywnie niskich wartościach pozostałych cech. Należy jednak zaznaczyć, że graficzna prezentacja wyników na rysunku 1 obciążona jest znaczą stratą informacji (33,69%) wynikającą z przejścia z przestrzeni wielowymiarowej do dwóch wymiarów.

Twardość ziarna określona w tej pracy za pomocą techniki bliskiej podczerwieni daje tylko relatywne wartości, jednak — jak wykazano wcześniej — są one istotnie skorelowane ze rzeczywistymi wskaźnikami oceny twardości, takimi jak moment skręcający (dodatnio), WHI (Wheat Hardness Index, dodatnio) i PSI (Particle Size Index, ujemnie) (Obuchowski i in., 2010). Wartości NIT w połączeniu z oceną innych wskaźników jakości ziarna

uzyskanych tą techniką mogą stanowić podstawę selekcji rodów o dobrych parametrach technologicznych.



Rys. 1. Położenie badanych rodów pszenicy w układzie pierwszych dwóch zmiennych kanonicznych V_1 i V_2

Fig. 1. Configuration of genotypes in the space of two first canonical varieties V_1 i V_2

WNIOSKI

1. Badane rody hodowlane pszenicy ozimej charakteryzowały się zarówno zróżnicowaną twardością ziarna jak i zawartością białka, glutenu mokrego, liczbą sedymentacji Zeleny'ego i parametru alweograficznego, przy czym twardość ziarna okazała się cechą o największej mocy dyskryminacyjnej.
2. Twardość ziarna była istotnie dodatnio skorelowana ze wszystkimi badanymi cechami determinującymi jakość technologiczną ziarna.
3. Zastosowane podejście polegające na utworzeniu linii teoretycznej charakteryzującej się najlepszymi z uzyskanych w doświadczeniu wartościami parametrów jakościowych i porównaniu z nią rodów pod względem badanych cech, zarówno traktowanych łącznie jak i indywidualnie, umożliwiło wybór form o najkorzystniejszym kompleksie cech. Na podstawie przeprowadzonej analizy statystycznej spośród badanych genotypów wyodrębniono grupę 10 rodów nie różniących się istotnie pod względem kompleksu badanych cech od linii teoretycznej najlepszej.

4. Ocena twardości oraz innych wyznaczników jakości ziarna za pomocą techniki bliskiej podczerwieni może stanowić podstawę selekcji form pszenicy ozimej o dobrych parametrach technologicznych.

LITERATURA

- Autron J. C., Hammer R. J., Plijter J. j., Pogna N. E. 1997. Exploring and improving the industrial use of wheats. *Cereal Foods World* 4: 216 — 227.
- Caliński T., Dyczkowski A., Kaczmarek Z. 1976. Testowanie hipotez w wielozmiennej analizie wariancji i kowariancji. *Algorytmy Biometryczne i Statystyczne ABS* 45: 77 — 114.
- Ceglińska A., Szajewska A., Haber T. 2007. Mechaniczne uszkodzenie skrobi a wartość wypiekowa mąki. *Przegl. Zboż.-Młyn.* 10: 13 — 14.
- Ceranka B., Chudzik H., Czajka S., Kaczmarek Z. 1976. Wielozmienna analiza wariancji dla układu bloków niekompletnych. *Algorytmy Biometryczne i Statystyczne ABS* 43: 39 — 48.
- Gąsiorowski H., Poliszko St. 1977. A wheat endosperm microhardness index. *Acta Alim.* 6: 113 — 117.
- Gross C., Bervas E., Charmet G. 2004. Genetic analysis of grain protein content, grain hardness and dough rheology in a hard × hard bread wheat progeny. *J. Cereal Sci.* 40: 93 — 100.
- Martin J. M., Froberg R. C., Morris C. F., Talbert L. E., Giroux M. J. 2001. Milling and bread baking traits associated with puroindoline sequence type in hard red spring wheat. *Crop Sci.* 41: 228 — 234.
- Gabriel K. R. 1964. A procedure for testing the homogeneity of all sets of means in analysis of variance. *Biometrics* 20: 459 — 477.
- Obuchowski W., Gąsiorowski H., Kołodziejczyk P. 1981. Twardość ziarna pszenicy jako kryterium jego jakości. *Post. Nauk Rol.* 5: 97 — 108.
- Obuchowski W., Salmanowicz B., Banaszak Z., Adamski T., Surma M., Kaczmarek Z., Majcher M., Ługowska B., Kuczyńska A., Krystkowiak K. 2010. Grain hardness of wheat bred in Poland and its relationship to starch damage during milling. *International Agrophysics* 24 (1): 69 — 74.
- Osborne B. G. 2006. Applications of near infrared spectroscopy in quality screening of early-generation material in cereal breeding programmes. *J. Near Infrared Spectrosc.* 14: 93 — 101.
- Seber G. A. F. 1984. *Multivariate observations.* Wiley, New York.
- Shewry P. R., Halford N. G., Tatham A.S. 1992. High molecular weight subunits of wheat glutenin. *J. Cereal Sci.* 15: 105 — 120.