

ZNACZENIE TECHNOLOGICZNE OCENY WŁAŚCIWOŚCI FIZYCZNYCH POJEDYNCZYCH ZIARNIAKÓW PSZENICY I ICH NIEJEDNORODNOŚCI*

A. Miś¹, E. Klockiewicz-Kamińska²

¹Institut Agrofizyki im. Bohdana Dobrzańskiego PAN, Doświadczalna 4, 20-290 Lublin 27

²Stacja Doświadczalna Oceny Odmian, Laboratorium Chemiczno-Technologiczne
63-022 Słupia Wielka

Streszczenie. Przeprowadzono badania związków cech fizycznych pojedynczych ziarniaków z wyróżnikami wartości technologicznej ziarna pszenicy. Przy pomocy aparatu analizującego pojedyncze ziarniaki (SKCS 4100) określono grubość, masę, indeks twardości i stopień niejednorodności ziarniaków pod względem tych cech. Uzyskane wyniki wykazały, że indeks twardości był dodatnio skorelowany z właściwościami reologicznymi ciasta i wydajnością chleba, na które ujemnie oddziaływał wzrost masy i grubości ziarniaków. Wzrost niejednorodności ziarniaków pod względem badanych cech wiązał się zarówno z obniżeniem liczby opadania, szklistości ziarna, zawartości w nim białka i jego jakości (test sedymentacji), jak również z pogorszeniem właściwości reologicznych ciasta.

Słowa kluczowe: pszenica, cechy fizyczne, niejednorodność ziarniaków, SKCS, cechy technologiczne, związki.

WSTĘP

Ocena właściwości fizycznych ziarna pszenicy ma podstawowe znaczenie przy określaniu potencjalnej wartości technologicznej tego surowca [1]. Szczególnie przydatne w ocenie tych właściwości wydają się metody i przyrządy pomiarowe bazujące na pomiarze cech fizycznych pojedynczych ziarniaków. Dostarczają one bowiem nie tylko wiedzę na temat kształtowania się średnich

* Praca częściowo finansowana przez KBN w ramach projektu badawczego 3P0GT 004 22.

wartości oznaczanych cech, ale co jest równie ważne, także wskazują na stopień niejednorodności ziarniaków w obrębie badanej partii ziarna.

Wynienione zalety posiada aparat SKCS 4100, firmy Perten Instruments [2,11]. Został on opracowany przez Martin'a i in. [6] w celu zobiektywizowania klasyfikacji twardości amerykańskich pszenic zwyczajnych. Niewątpliwą zaletą tego aparatu jest jego prosta obsługa, a pomiar właściwości fizycznych ziarna jest wykonywany w sposób w pełni zautomatyzowany. Badaną próbkę ziarna wysypuje się do zbiornika zasypowego, skąd podajnik pobiera losowo pojedynczy ziarniak i umieszcza go na szalce wagi. Po zważeniu podawany jest on do szczeliny pomiarowej, gdzie mierzona jest jego grubość. Następnie ziarniak jest rozdrabniany i zgodnie z przyjętym algorytmem wyznaczany jest indeks twardości (*HI*). Równocześnie podczas rozdrabniania ziarniaka jest określana jego wilgotność.

W świetle dotychczasowych badań [3,9,12], twardość technologiczna ziarna pszenicy jest jednym z istotniejszych parametrów w ocenie jakościowej surowca, zwłaszcza w prognozowaniu jego wartości przemiałowej i wypiekowej.

Satumbaga i in. [14] jako pierwsi zajęli się zbadaniem istnienia związków między indeksem twardości (*HI*), wyznaczonym przy użyciu aparatu SKSC, a standardowymi wyróżnikami wartości przemiałowej ziarna pszenicy. Mimo, że nie uzyskali istotnych współczynników korelacji wydajności mąki z wartościami *HI*, wykazali duże znaczenie pomiaru stopnia niejednorodności ziarniaków pod względem twardości i grubości. Po uwzględnieniu tej cechy ziarna w równaniu regresji wydajności mąki uzyskał on zdecydowanie lepsze dopasowanie wartości przewidywanych do rzeczywistych. Późniejsze badania Ohm'a i in. [10] wykazały, że wartości *HI* były dodatnio skorelowane z wydajnością mąki i jej wodochłonnością, zaś ujemnie z objętością pieczywa przypadającą na jeden procent zawartego w mące białka.

Niemniej jednak dotychczas nie została określona przydatność aparatu SKCS 4100 do oceny wartości technologicznej ziarna polskich odmian pszenicy. Ponadto nie wiemy jakie znaczenie w prognozowaniu potencjalnej wartości technologicznej ziarna pszenicy ma pomiar niejednorodności ziarniaków pod względem oznaczanych cech. Dlatego też przeprowadzono badania, które miały na celu określenie związków pomiędzy cechami fizycznymi ziarniaków, takimi jak: ich grubość, masa, indeks twardości i stopień niejednorodności tych cech, a powszechnie uznanymi wyróżnikami wartości technologicznej ziarna pszenicy. Charakterystyka tych związków jest przedmiotem niniejszego artykułu.

MATERIAŁ I METODY

Materiał do badań stanowiły 32 próby ziarna pszenicy ozimej i jarej pochodzące z doświadczeń polowych COBORU opisanych w artykule zamieszczonym w tym tomie [8].

Ocenę cech fizycznych pojedynczych ziarniaków, takich jak: ich grubość (G), masa (M) i indeks twardości (HI) oraz stopni niejednorodności ziarniaków pod względem ich grubości (N_G), masy (N_M) i indeksu twardości (N_{HI}) przeprowadzono przy użyciu aparatu SKCS 4100, Perten Instruments, zgodnie z metodyką opisaną we wspomnianym artykule [8].

Ocenę technologiczną badanych prób ziarna wykonano w Laboratorium Chemiczno-Technologicznym SDOO w Słupi Wielkiej. W ramach oceny towaroznawczej ziarna wykonano następujące oznaczenia: gęstość ziarna w stanie zsypanym, wg PN-ISO 7971-2:1998, jego szklistość, wg PN-70/R-74008, liczbę opadania, wg ICC Standard No. 107/1, zawartość białka w ziarnie, wg PN-75/A-04018 z modyfikacją polegającą na użyciu analizatora Tecator [4] i test sedymentacji – SDS, wg ICC Standard No.151. Ziarno kondycjonowane o wilgotności 15,5% zmielono w młynie laboratoryjnym firmy Bulher typu MLU-202 i określono wydajność mąki [4]. Do oznaczeń właściwości technologicznych użyto mąkę o stałym 70% wyciągu. Barwę mąki określono przy pomocy leukometru firmy Carl Zeiss-Jena, zgodnie z instrukcją aparatu. Zawartość popiołu w mące oznaczono zgodnie z normą PN-ISO 2171:1994. Właściwości reologiczne ciasta oceniono farinograficznie oznaczając wodochłonność mąki, czasy rozwoju i stałości ciasta, jego rozmięczenie oraz wartość walorymetryczną, wg ICC Standard No. 115/1. Przy pomocy ekstensografu określono liczbę stosunkową i „energię ciasta”, wg ICC Standard No. 114/1. Próbnny wypiek przeprowadzono metodą standardową z modyfikacjami polegającymi na zastosowaniu intensywnego miesienia w miesiarce szybkoobrotowej, skróceniu czasu fermentacji ciasta oraz sprowadzaniu każdorazowo liczby opadania w mące do 220 s. Przy ocenie chlebków określono wydajność i objętość chleba oraz bonitację[4].

Dla określenia zależności występujących pomiędzy wyznaczonymi przy pomocy aparatu SKCS cechami ziarna (G , N_G , M , N_M , HI , N_{HI}), a wyróżnikami wartości technologicznej wyznaczono współczynniki korelacji liniowej (r) i ich poziomy istotności (α). Współczynniki korelacji na poziomie istotności $\alpha > 0,05$ przyjmowano za nieistotne, co równocześnie oznaczało brak zależności pomiędzy badanymi cechami.

W celu zbudowania modelu równania umożliwiającego prognozowanie wartości technologicznej ziarna pszenicy na podstawie badanych cech (SKCS), wykorzystano metodę analizy regresji liniowej wielu zmiennych. Współczynnik determinacji uzyskiwał wartości maksymalne (R^2_{\max}), kiedy model równania regresji zawierał wszystkie 6 zmiennych niezależnych ($G, N_G, M, N_M, HI, N_{HI}$). Wartości R^2 obniżały się w mniejszy lub większym stopniu kiedy usuwano z tego równania kolejne zmienne. Aby ułatwić charakterystykę tych cech ziarna, które współdziałając ze sobą najpełniej wyjaśniają zmienność prognozowanego wyróżnika technologicznego, w równaniach regresji pozostawiano zawsze 3 zmienne. Eliminowano zaś te zmienne, których brak w najmniejszym stopniu przyczyniał się do spadku wartości R^2 .

Wybrane 3 cechy ziarna, w obrębie każdego równania regresji, uporządkowano według malejącej wielkości ich wpływu ocenionej wartością średnich kwadratów odchyłań. W artykule zamieszczono równania regresji tylko tych wyróżników technologicznych, dla których R^2_{\max} wynosił co najmniej 0,50.

WYNIKI I DYSKUSJA

Opis zmienności cech fizycznych ziarna pszenicy badanych prób ($n = 32$) ocenionych przy pomocy aparatu SKCS, zamieszczono w artykule towarzyszącym [8]. Ogólną charakterystykę badanych prób ziarna pszenicy pod względem zróżnicowania ich właściwości technologicznych przedstawiono w Tabeli 1.

Wartości poszczególnych wyróżników wartości technologicznej wskazują, że materiał badawczy charakteryzował się wysoką gęstością ziarna w stanie zsypanym i zawartością białka (13,2-17,8%), oraz dobrą jakością białka (test sedymentacji) przy równocześnie szeroko zróżnicowanej szklistości ziarna (Tab.1). Ponadto badane próby ziarna cechowały się dobrą wydajnością mąki o niewielkim zróżnicowaniu jej barwy. Wyróżniki określone metodą farinograficzną wskazują na wysoką wodochłonność mąki i dobre właściwości reologiczne ciasta, a zarazem na ich mocne zróżnicowanie między badanymi próbami. Wyniki oceny ekstensograficznej świadczą, że ciasto stawiało ogólnie duży opór podczas rozciągania. Również wyniki próbnego wypieku potwierdzają dobrą wartość wypiekową ziarna pszenicy badanych prób, lecz charakteryzujących się małym zróżnicowaniem objętości i bonitacji chleba.

Tabela 1. Charakterystyka zmienności wyróżników wartości technologicznej oznaczonych na ziarnie pszenicy badanych prób (n=32)

Table 1. Characteristic of variability in indices of the technological value determined on wheat grain of studied samples (n=32)

Wyróżniki wartości technologicznej	Wartości średnie	¹ S	² Wartości	
			Min.	Maks.
1. Gęstość ziarna w stanie zsypanym [kg/hl]	77,3	2,04	72,1	80,8
2. Szklistość ziarna [%]	67,6	33,8	6,5	100,0
3. Liczba opadania [s]	396,0	66,8	213	465
4. Zawartość białka w ziarnie w s.m. [%]	14,9	1,13	13,2	17,8
5. Test sedimentacji – SDS [mL]	72,4	4,30	62,5	81,2
6. Wydajność mąki [%]	72,9	3,29	67,8	78,4
7. Barwa mąki [% wzorca]	79,3	1,01	77,2	81,4
8. Zawartość popiołu w mące w s.m. [%]	0,65	0,069	0,54	0,79
9. Wodochłonność maki [%]	61,9	3,84	53,7	67,6
10. Rozwój ciasta [min.]	3,27	1,77	1,5	8,0
11. Stałość ciasta [min.]	9,6	5,9	2,0	21,0
12. Rozmięczenie ciasta [j.B.]	68,1	29,5	25,0	125,0
13. Wartość walorymetryczna w skali 0-100	55,4	11,6	36,0	77,0
14. Liczba stosunkowa [-]	1,57	0,60	0,87	3,80
15. "Energia ciasta" [cm ²]	80,7	19,4	47,0	128,4
16. Wydajność chleba [%]	146,7	3,97	138,9	152,7
17. Objętość chleba [cm ³ /100g]	586,3	22,5	530,6	626,6
18. Bonitacja chleba [pkt.]	124,9	14,3	97,0	158,0

¹ – Odchylenie standardowe, ² – Wartości minimalne (Min.) i maksymalne (Maks.).

Wartości współczynników korelacji charakteryzujących siłę związków występujących między cechami oznaczonymi przy pomocy aparatu SKCS a wyróżnikami wartości technologicznej ziarna pszenicy przedstawiono w Tabeli 2.

Tabela 2. Współczynniki korelacji (r) cech fizycznych pojedynczych ziarniaków pszenicy z wyróżnikami wartości technologicznej oraz poziomy istotności (α)

Table 2. Correlation coefficients (r) between single-kernel physical features of wheat and indices of the technological value, and significance levels (α)

	Wyróżniki wartości technologicznej		Cechy fizyczne pojedynczych ziarniaków					
			Grubość	N_G	Masa	N_M	HI	N_{HI}
1.	Gęstość ziarna w stanie zsypanym	r	0,375	¹				
		α	0,034					
2.	Szklistość ziarna	r	-0,591	-0,359	-0,730	-0,539	0,783	-0,527
		α	0,000	0,044	0,000	0,002	0,000	0,002
3.	Liczba opadania	r	-0,449	-0,351	-0,553	-0,543	0,557	-0,690
		α	0,010	0,049	0,001	0,001	0,001	0,000
4.	Zawartość białka w ziarnie	r	-0,794		-0,835	-0,433	0,579	-0,445
		α	0,000		0,000	0,013	0,001	0,011
5.	Test sedymentacji – SDS	r	-0,705		-0,608	-0,358		-0,395
		α	0,000		0,000	0,044		0,025
6.	Wydajność mąki	r	0,583		0,752	0,436	-0,781	0,392
		α	0,001		0,000	0,013	0,000	0,027
7.	Barwa mąki	r						-0,472
		α						0,006
8.	Zawartość popiołu w mące	r		0,507			0,472	
		α		0,003			0,006	
9.	Wodochłonność mąki	r			-0,519		0,921	
		α			0,002		0,000	
10.	Rozwój ciasta	r	-0,716		-0,829		0,695	
		α	0,000		0,000		0,000	
11.	Stalność ciasta	r	-0,660		-0,673	-0,370	0,559	-0,528
		α	0,000		0,000	0,037	0,001	0,002

¹ - Pusty obszar oznacza brak korelacji ($\alpha > 0,05$).

cd. Tabeli 2.

12. Rozmiękczenie ciasta	r	0,564	¹	0,724	0,431	-0,799	0,565
	α	0,001		0,000	0,014	0,000	0,001
13. Wartość walorymetryczna	r	-0,719		-0,881	-0,382	0,817	-0,491
	α	0,000		0,000	0,031	0,000	0,004
14. Liczba stosunkowa	r						
	α						
15. "Energia ciasta"	r	-0,364		-0,524		0,579	-0,482
	α	0,041		0,002		0,001	0,005
16. Wydajność chleba	r			-0,497		0,809	
	α			0,004		0,000	
17. Objętość chleba	r						
	α						
18. Bonitacja chleba	r						
	α						

¹ - Pusty obszar oznacza brak korelacji ($\alpha > 0,05$).

Gęstość ziarna w stanie zsypanym, będąca podstawowym wyróżnikiem wartości przemiałowej, była istotnie skorelowana z grubością ziarniaków (G). Pozostałe cechy ziarniaka, takie jak: masa (M) i indeks twardości (HI), włączone do równania regresji wraz z cechą grubości (Tab. 3) znacznie poprawiły dopasowanie tego równania do wyników pomiaru gęstości. Równanie to wskazuje, że gęstość ziarna w stanie zsypanym może być prognozowana na podstawie oceny zawartości tkanek (HI) i kształtu ziarniaka (M i G). Gęściejszemu upakowaniu ziarna w stanie zsypanym sprzyjają ziarniaki o bardziej wydłużonym pokroju, tzn. o większej masie i równocześnie mniejszej grubości.

Szklistość ziarna jest przede wszystkim wskaźnikiem jego twardości. Ze szklistością ziarna były skorelowane wszystkie oznaczone cechy pojedynczych ziarniaków, a najmocniej indeks twardości ($r = 0,78$) i masa ($r = 0,73$). Wyniki zawarte w Tabeli 2 oznaczają, że wyższa twardość, mniejsza masa i grubość ziarniaków oraz ich mniejsza niejednorodność pod względem tych cech wiążą się z wyższą szklistością ziarna pszenicy.

Tabela 3. Równania regresji liniowej niektórych wyróżników wartości technologicznej na podstawie trzech wybranych cech pojedynczych ziarniaków pszenicy

Table 3. Equations of linear regression for some technological indices on the basis of three selected single-kernel features of wheat

Wyróżniki wartości technologicznej	$^1R^2_{\max}$	Równania regresji	
		Współczynniki i wybrane cechy	R^2
Gęstość ziarna	0,55	$58,5 + 0,23 HI + 0,77 M - 10,5 G$	0,53
Szklistość ziarna	0,88	$83,3 + 2,23 HI - 181 N_G - 24,6 G$	0,85
Liczba opadania	0,67	$740 - 24,5 N_{HI} + 2,17 HI - 12,9 N_M$	0,66
Zawartość białka	0,76	$21,0 - 2,72 G + 0,03 HI - 0,07 N_M$	0,75
Test sedymentacji	0,53	$110 - 10,3 G - 0,53 N_{HI} - 2,39 N_G$	0,52
Wydajność mąki	0,77	$70,7 - 0,19 HI + 3,38 G + 0,49 N_M$	0,76
Zawartość popiołu	0,60	$0,03 - 0,02 M + 0,37 G + 0,02 N_{HI}$	0,55
Wodochłonność	0,92	$26,5 + 0,34 HI + 0,56 N_{HI} + 1,73 G$	0,90
Rozwój ciasta	0,84	$13,0 - 0,28 M + 0,80 N_M - 11,5 N_G$	0,75
Stalność ciasta	0,67	$24,2 + 0,44 HI - 31,7 G + 1,08 M$	0,63
Rozmięczenie	0,84	$-6,36 - 1,60 HI + 6,85 N_{HI} + 28,0 G$	0,81
Wartość walorymetryczna	0,92	$90,5 + 0,62 HI - 20,2 G - 1,29 N_{HI}$	0,91
Liczba stosunkowa	0,51	$0,55 - 0,69 N_M + 11,2 N_G + 0,05 M$	0,38
“Energia ciasta”	0,55	$166 + 290 N_G - 15,8 N_M - 5,37 N_{HI}$	0,49
Wydajność chleba	0,72	$124 + 0,25 HI + 13,3 N_G - 0,04 M$	0,70

¹ - Dopasowanie maksymalne (R^2_{\max}) uzyskane dla równania regresji liniowej obejmującego wszystkie sześć oznaczonych cech ziarna.

Liczba opadania będąca wskaźnikiem aktywności α -amylazy była powiązana w podobny sposób jak szklistość ze wszystkimi cechami ziarniaków. Na uwagę zasługuje fakt, że obniżenie liczby opadania (wzrost aktywności α -amylazy) najmocniej wiązało się ze wzrostem niejednorodności ziarniaków pod względem twardości (N_{HI}). Potwierdzeniem siły tego związku jest występowanie stopnia niejednorodności N_{HI} na pierwszym miejscu w równaniu regresji (Tab. 3). Należy sądzić, że jedną z możliwych przyczyn obserwowanego wzrostu wartości N_{HI}

w miarę wzrostu aktywności α -amylazy mogłoby być zróżnicowanie ziarniaków w obrębie kłosa pod względem aktywności tego enzymu, a jego wyższa aktywność wpływałaby na osłabianie twardości ziarniaka.

Zawartość białka w ziarnie była dodatnio skorelowana z jego twardością (HI). Jednakże wyraźnie mocniej była ona ujemnie skorelowana z masą ($r = -0,84$) i grubością ziarniaków ($r = -0,79$). Potwierdza to dobrze znaną zależność, że ziarniaki bardziej dorodne zawierają mniej białka. Zmiany w zawartości białka zostały najlepiej opisane przy współdziałaniu takich cech, jak: G , HI i N_M ($R^2 = 0,75$). Podobny pozytywny wpływ zawartości białka w ziarnie na wzrost jego twardości opisali wcześniej Lyon i Shelton [5]. Ohm i in. [10] zaobserwowali również ujemne sprzężenie między zawartością białka a grubością ziarniaków.

Jakość białka oceniona testem sedymentacji – SDS nie była związana z indeksem twardości, ale z grubością ($r = -0,72$) i masą ziarniaków ($r = -0,61$).

Wydajność mąki bezpośrednio wskazuje na wartość przemiałową ziarna pszenicy. Była ona najmocniej związana z indeksem twardości ($r = -0,78$), nieco słabiej z masą ziarniaków ($r = 0,75$), a wyraźnie słabiej z grubością ($r = 0,58$). Współczynniki te wskazują, że z ziarna o bardziej miękkim bielmie i o większej masie i grubości można uzyskać więcej mąki podczas przemiału. Natomiast dodatnie współczynniki korelacji między wydajnością mąki a wskaźnikami niejednorodności N_M i N_{HI} wskazują, że większa niejednorodność ziarniaków pod względem ich masy i twardości podnosiła efektywność przemiału ziarna pszenicy.

Uzyskana zależność stoi w sprzeczności z ogólnym poglądem, że jednorodność jako cecha ziarna korzystnie oddziałuje na jego wartość przemiałową. Taki korzystny wpływ został wcześniej potwierdzony przez Satumbaga i in. [14], wykorzystujących w ocenie jednorodności również aparat SKCS. Badania Martina i in. [7] wykazały ujemne sprzężenie między wydajnością mąki a twardością ziarna (HI), istnienie którego zostało potwierdzone również wynikami obecnych badań (Tab. 2 i 3). Przy czym badania Ohm'a i in. [10] świadczyły o występowaniu odwrotnej, dodatniej korelacji tego indeksu z wydajnością mąki. Zdecydowanie bardziej wyrazisty jest wpływ masy czy grubości ziarniaków na wartość przemiałową. Zarówno obecne, jak i cytowane badania [10,14,15] jednoznacznie wskazują na istnienie pozytywnego związku między wydajnością mąki a masą i grubością ziarniaków pszenicy.

Barwa mąki była ujemnie skorelowana jedynie z wskaźnikiem N_{HI} . Zawartość popiołu, jak wskazują dodatnie współczynniki korelacji (Tab. 2), wzrastała w mące uzyskanej z ziarna o wyższej niejednorodności pod względem grubości ziarniaków (N_G) i twardszym bielmie (HI). Natomiast stopień dopasowania

równania regresji wzrósł ponad dwukrotnie, gdy w obrębie tego równania współdziałały trzy inne cechy (M , G i N_{HI}). Oznacza to, że wyższa zawartość popiołu w mące jest związana z mniejszą masą ziarniaków, a z większą ich grubością i niejednorodnością pod względem twardości.

W obrębie wyróżników technologicznych, te oznaczone przy pomocy farinografu były najściślej powiązane z cechami ziarniaków. Współczynnik korelacji wodochłonności mąki z indeksem twardości był najwyższy ($r = 0,92$). Spośród pozostałych cech ziarna, jedynie masa ziarniaków była ujemnie skorelowana z wodochłonnością. Równanie regresji tego wyróżnika technologicznego charakteryzowało się bardzo wysokim współczynnikiem dopasowania ($R^2 = 0,90$). Obok twardości (HI) w tym równaniu równie istotną rolę odgrywał stopień niejednorodności tej cechy (N_{HI}).

Interpretację dla występowania tak silnego, pozytywnego sprzężenia twardości ziarna z wodochłonnością mąki można znaleźć w literaturze. Jak wskazują dane [13], mąka z twardego ziarna pszenicy charakteryzuje się większą zawartością skrobi uszkodzonej mechanicznie podczas przemiału. Ponieważ uszkodzone mechanicznie ziarna skrobi absorbują wyraźnie więcej wody niż te nie uszkodzone, to mąka z bardziej twardego ziarna ma wyższą wodochłonność [12]. Potwierdzeniem istnienia tych zależności są badania Osborne'a [11], w których wykazał wysoką użyteczność aparatu SKCS w przewidywaniu stopnia uszkodzenia skrobi.

Wyróżniki reologiczne ciasta oznaczone farinograficznie, w porównaniu z wodochłonnością, korelowały nieznacznie słabiej, lecz z większą liczbą cech ziarna (Tab. 2). Spośród nich, masa (M) i twardość ziarniaków (HI) były najsilniej związane z tymi wyróżnikami. Wyższa twardość korzystnie wpływała na wydłużenie czasu rozwoju i stałości ciasta i na mniejsze rozmiękczenie ciasta podczas miesienia. Masa ziarniaków i pozostałe ich cechy, oprócz N_G , były skorelowane ujemnie z właściwościami ciasta. Cechy HI , G i N_{HI} współdziałając ze sobą, w obrębie równania regresji, najlepiej wyjaśniały zmienność wartości walorymetrycznej mąki ($R^2 = 0,91$).

Z cechami ziarna zdecydowanie słabiej były skorelowane wyróżniki reologiczne oznaczone na ekstensografie Brabendera. Jak wynika z Tabeli 2, liczba stosunkowa nie była związana z żadną cechą ziarniaków. Natomiast opierając się na równaniu regresji (Tab. 3), obejmującym takie cechy jak: N_M , N_G i M , możliwe było prognozowanie wartości liczby stosunkowej przy $R^2 = 0,38$. Współczynniki korelacji między energią ciasta a cechami ziarna (HI , M i G), wskazują, że ciasto wyrobione z mąki pszenicy o bardziej twardym bielmie (HI) jest mocniejsze i co

się z tym wiąże, lepiej przydatne do obróbki mechanicznej, podobnie jak ciasto z maki pszenicy o ziarniakach lżejszych (M) i drobniejszych (G). Ziarniaki drobniejsze, o czym już wspomiano, zawierają na ogół więcej białka. Zaś wzrost koncentracji zwłaszcza białka glutenowego w cieście znacznie poprawia jego właściwości reologiczne. Natomiast dobór zupełnie innych cech ziarna, takich jak: N_G , N_M i N_{HI} , w obrębie równania regresji „energii ciasta” pozwolił najdokładniej opisać zmiany tego wyróżnika (Tab. 3).

Spośród wyróżników wyznaczonych na podstawie próbnego wypieku, objętość i bonitacja chleba nie była związana z żadną z badanych cech ziarna (Tab. 2). Również Martin i in. [7], w przeprowadzonych badaniach przy użyciu aparatu SKCS, stwierdzili brak zależności między indeksem twardości a objętością chleba i oceną jakości jego mięksizu (bonitacją).

Wyniki przeprowadzonych badań (Tab. 2) wykazały jedynie związek wydajności chleba z indeksem twardości ($r=0,81$) i masą ziarniaków ($r=-0,50$). Wyższa wydajność chleba w miarę wzrostu wartości HI wynikała głównie z większej wodochłonności maki uzyskanej z ziarna bardziej twardego. Jak powszechnie wiadomo, większa wodochłonność mąki bezpośrednio wpływa na wzrost wydajności chleba. W równaniu regresji opisującym zmiany wydajności chleba, obok cech HI i M występuje N_G . Potwierdza to istotne znaczenie stopnia niejednorodności ziarniaków pod względem ich grubości w przewidywaniu wydajności chleba.

WNIOSKI

Przeprowadzone badania pozwoliły na sformułowanie następujących wniosków:

1. Cechy ziarna, takie jak: grubość ziarniaków, ich masa i indeks twardości, były mocno skorelowane z większością wyróżników technologicznych. Najbardziej użyteczną cechą w przewidywaniu wartości technologicznej ziarna pszenicy był indeks twardości. Wzrost jego wartości ściśle wiązał się z korzystnym oddziaływaniem na wodochłonność mąki, właściwości reologiczne ciasta i wydajność chleba. Natomiast wpływał ujemnie na wydajność mąki, która zwiększała się wraz z dorodnością ziarniaków.
2. Stopnie niejednorodności ziarniaków pod względem ich grubości, masy i indeksu twardości, w porównaniu z pozostałymi cechami ziarna, były słabiej skorelowane z wyróżnikami technologicznymi. Niemniej jednak, wyższy stopień niejednorodności ziarniaków wiązał się z obniżeniem liczby opadania, szklistości ziarna, zawartości i jakości białka. Również niekorzystnie oddziaływał na właściwości reologiczne ciasta.

3. Równania regresji liniowej obejmujące kilka cech ziarna pozwoliły na ujawnienie współdziałania między nimi w kierunku lepszego powiązania tych cech z wyróżnikami technologicznymi. Współdziałanie to najpełniej przejawiało się między cechami HI , N_{HI} i G . Równania regresji obejmujące te trzy cechy opisywały w ok. 90% zmienność takich wyróżników jak wodochłonność i wartość walorymetryczna mąki. Większość wyznaczonych równań regresji zawierała co najmniej jeden z trzech stopni niejednorodności, których obecność istotnie poprawiała ich dopasowanie.
4. Otrzymane wyniki wskazują na wysoką użyteczność oceny pojedynczych ziarniaków pod kątem ich grubości, masy i indeksu twardości oraz ich niejednorodności przy prognozowaniu potencjalnej wartości technologicznej ziarna pszenicy.

PIŚMIENNICTWO

1. **Bass E.J.:** Wheat flour milling. In: *Wheat: Chemistry and Technology*, ed. Am. Assoc. Cereal Chem.: St. Paul, MN, 1-68, 1988.
2. **Gaines C.S., Finney P.F., Fleege L.M., Andrews L.C.:** Predicting a hardness measurement using the Single-Kernel Characterization System. *Cereal Chem.*, 73, 278-283, 1996.
3. **Hoseney R.C.:** Wheat hardness. *Cereal Foods World*, 32, 320-322, 1987.
4. **Klockiewicz-Kamińska E., Brzeziński W.J.:** Metoda oceny i klasyfikacji jakościowej odmian pszenicy. *Wiadomości odmianoznawcze, COBORU, Słupia wielka*, z. 67, 1997.
5. **Lyon D.J., Shelton D.R.:** Fallow management and nitrogen fertilizer influence winter wheat kernel hardness *Crop Sci.*, 39, 448-452, 1999.
6. **Martin C.R., Rousser R., Brabec D.L.:** Development of a single - kernel characterization system. *Trans. of the ASAE*, 36, 1399-1404, 1993.
7. **Martin J.M., Froberg R.C., Morris C.F., Talbert L.E., Giroux M.J.:** Milling and bread baking traits associated with puroindoline sequence type in hard red spring wheat. *Crop Sci.*, 41, 228-234, 2001.
8. **Miś A., Grundas S., Klockiewicz-Kamińska E.:** Wpływ nawożenia azotowego, rejonu uprawy i odmiany pszenicy na właściwości fizyczne pojedynczych ziarniaków i ich niejednorodność. *Acta Agrophysica*, 78, 171-184, 2002.
9. **Obuchowski W.:** Twardość ziarna pszenicy; znaczenie technologiczne i czynniki oddziałujące na tę cechę. *Roczniki AR Poznań, Rozprawy Naukowe*, z. 152, 1-52, 1985.
10. **Ohm J.B., Chung O.K., Deyoe C.W.:** Single-kernel characteristics of hard winter wheats in relation to milling and baking quality. *Cereal Chem.*, 75, 156-161, 1998.
11. **Osborne B.G., Kotwal Z., Blakeney A.B., O'Brien L., Shah S., Tearn T.:** Application of the single-kernel characterization system to wheat Receiving testing and Quality Prediction. *Cereal Chem.*, 74, 467-470, 1997.

12. **Pomeranz Y., Bolling H., Zwingelberg H.:** Wheat hardness and baking properties of wheat flour. *J. Cereal Sci.*, 2, 137-143, 1984.
13. **Pomeranz Y.:** Composition and functionality of wheat flour components. In: *Wheat: Chemistry and Technology*, ed. Am. Assoc. Cereal Chem., St. Paul, MN, 219-370, 1988.
14. **Satumbaga R., Martin C., Eustace D., Deyoe C.W.:** Relation of physical and milling properties hard red winter wheat using the single kernel wheat characterization system. *Association of Operative Millers – Bulletin*, January, 6487-6496, 1995.
15. **Watson C.A., Heyne E.G.:** Individual kernel weight distribution of 12 varieties of red winter wheat, *Cereal Chem.*, 54, 161- 166, 1977.

TECHNOLOGICAL SIGNIFICANCE OF EVALUATION OF PHYSICAL PROPERTIES OF WHEAT SINGLE-KERNELS AND THEIR HETEROGENEITY

A. Miś¹, E. Klockiewicz-Kamińska²

¹Institute of Agrophysics, Polish Academy of Sciences, Doświadczalna 4, 20-290 Lublin

²Experimental Station for Testing Cultivars, Technological Department of Laboratory
63-022 Słupia Wielka

Summary. The objective of this study was to determine the relationships between physical features of single-kernels and indices of technological value of wheat grain. By means of a device characterising single kernels (SKCS 4100), the thickness, weight, hardness index and the heterogeneity degree of wheat kernels were measured. The obtained results indicated that the hardness index was positively correlated with dough rheological properties and the flour yield, thus they were affected negatively by the kernel weight and thickness. The increase in kernel heterogeneity was associated with a decrease in the falling number, grain vitreousness, protein content and quality (sedimentation test), as well as with the worsening of the dough rheological properties

Keywords: wheat, physical features, kernel heterogeneity, SKCS, technological indices, relationships.