

WYKORZYSTANIE CYFROWEJ ANALIZY OBRAZU W OCENIE JAKOŚCI ZIARNA PSZENICY

J. Sadowska¹, T. Jeliński¹, E. Klockiewicz-Kamińska², H. Havlatova³

¹Instytut Reprodukcyjności Zwierząt i Badań Żywności PAN, ul. Tuwima 10, 10-748 Olsztyn

²Centralny Ośrodek Badania Odmian Roślin Uprawnych, 63-022 Słupia Wielka

³Vysoká Škola Chemicko-Technologická, Technická 5, 166 28 Praha 6

Streszczenie. Podjęto próbę zastosowania cyfrowej analizy obrazu (DIA) do oceny zmienności wielkości i kształtu ziarniaków pszenicy i wykorzystania zebranych danych do oceny jakości ziarna. Badano ziarniaki odmian pszenicy klasy A, B i C. Odmiany klasyfikowano przy pomocy 9-punktowego systemu oceniając zawartość i jakość białka, liczbę opadania, ogólny wyciąg, barwę i wodochłonność mąki, rozmiękczenie i energię podnoszenia się ciasta oraz objętość chleba. Wielkość i kształt ziarniaków oznaczano równoległe dwiema metodami - tradycyjną i cyfrową (DIA). W DIA mierzono powierzchnię rzutu, dużą i małą oś, maksymalną, minimalną i średnią średnicę, maksymalny i minimalny promień, obwód, długość, szerokość oraz aspekt, kulistość i wypełnienie pojedynczych obiektów. Uzyskane rezultaty poddane analizie statystycznej wykazały przydatność tych parametrów do poprawnego wyróżniania prób ziarna tej samej odmiany uprawianej w ośmiu typowych regionach. Otrzymano również poprawną klasyfikację (grupowanie) prób ziarna tej samej jakości pochodzących z różnych odmian i różnych miejscowości. Wydaje się zatem, że powiązanie geometrii ziarniaków z całościową oceną jakości rokuje nadzieję na opracowanie uproszczonej metody automatycznej klasyfikacji ziarna.

Słowa kluczowe: DIA, geometria ziarniaków, jakość ziarna, pszenica.

WSTĘP

Stosowana w Polsce metoda klasyfikacji odmian pszenicy polegająca na pełnej ocenie jej jakości wypiekowej jest bardzo czasochłonna [7]. We wstępnej ocenie jakości ziarna powszechnie używanymi wyznacznikami są parametry zależące od wielkości i kształtu ziarniaka tj. procentowy udział frakcji oraz celność i wyrównanie oznaczane w analizie frakcyjnej, masa 1000 ziarniaków i gęstość usypna ziarna. Te proste i szybkie oznaczenia dają tylko orientacyjne wyniki, które mogą być elementem finalnej klasyfikacji jakości ziarna. Wraz z rozwojem nowo-czesnych technik pomiarowych pojawiła się możliwość szybkiej oceny dużej liczby pojedynczych ziarniaków, a zatem dokładniejszej oceny zmienności morfologicznych parametrów ziarniaka. Ułatwiło to wykorzystanie zależności pomiędzy wymiłową jakością ziarna i morfologią ziarniaków [5] do lepszego przewidywania jakości mąki. Aktualnie bada się możliwości wykorzystania fizycznych charakterystyk ziarniaków wykonanych przy pomocy systemów Single Kernel Characteristics System [1], Near-Infrared Reflectance [3] i cyfrowej analizy obrazu. Cyfrowa analiza obrazu (DIA) nabiera szczególnego znaczenia w przypadku, gdzie zmienność różnych właściwości fizycznych tj. wielkości, kształtu i barwy może być podstawą finalnej oceny i klasyfikacji jakościowej. W badaniach zbóż i ich przydatności do przetwórstwa używa się już technik cyfrowej analizy obrazu do wyznaczenia wskaźników umożliwiających dokładną charakterystykę geometryczną ziarniaków. Pozwala to zarówno na wykrywanie domieszek nasion chwastów, innych zbóż lub nasion uszkodzonych mechanicznie [10, 16], jak i rozróżnianie rodzaju i odmian zbóż [9, 13]. Podejmuje się również próby wykorzystania DIA do rozróżniania frakcji wymiiałowych różnych typów i odmian pszenicy [11, 18], a także oceny jakości wymiiałowej pszenicy opartej na zmienności cech morfologicznych ziarniaków [2, 11]. Mimo znacznych postępów w zastosowaniu metod komputerowej analizy obrazu do rozróżniania nieznacznie różniących się obiektów, opis zmienności geometrii ziarniaków w aspekcie zmienności innych wyznaczników odmiany czy jakości pszenicy jest stale uzupełniany. Oczekuje się bowiem, że systemy komputerowej analizy obrazu będą stosowane w przemyśle spożywczym zarówno w kontroli jakości jak i w sterowaniu procesami w liniach produkcyjnych. Zgromadzenie zatem jak największej liczby komputerowych danych opisujących barwę i geometrię ziarniaków odmian uprawianych w Polsce jest niezbędne do wyznaczenia realnego zakresu ich zmienności.

MATERIAŁ I METODY

Próby polskich odmian pszenic ozimych (Begra, Panda, Juma, Sakwa, Almari, MIB-496) i jarych (Torka, Jasna, Sigma, Santa, Kontesa, Eta), które zebrano w 1997 r. w ośmiu miejscowościach otrzymano ze Stacji Doświadczalnej Oceny Odmian w Słupi Wielkiej. Ocena jakości odmian polegała na oznaczeniu i sklasyfikowaniu (w skali 9-puntowej) wartości następujących nieskorelowanych parametrów: zawartości i jakości białka, liczby opadania, ogólnego wyciągu, barwy i wodochłonności mąki, rozmiękczenia i energii podnoszenia się ciasta oraz objętości chleba [7]. Do badań wybrano pszenice o zróżnicowanej jakości technologicznej tj. pszenice klasy A, B i C. Należy zwrócić uwagę na fakt, że próby ziarna tej samej odmiany pochodzące z różnych miejscowości wykazywały czasami odmienną jakość technologiczną.

Do akwizycji obrazów ziarniaków użyto kamery CCD ELEMIS K-15 z obiektywem Ernitec 1:1.4 6-12 mm, karty akwizycji obrazu Matrox Meteor i komputera klasy PC Pentium. Analizę obrazów wykonano używając programu Micro Image ver.3.0. Na odpowiednio przekształconych obrazach 300 ziarniaków mierzono lub obliczano: powierzchnię rzutu, dużą i małą oś, maksymalną, minimalną i średnią średnicę, maksymalny i minimalny promień, obwód, długość, szerokość, aspekt (stosunek osi dużej do osi małej), kolistość ($\text{obwód}^2 / (4 \times \Pi \times \text{powierzchnia rzutu})$) i wypełnienie pojedynczych obiektów.

Do określenia wielkości ziarniaków metodą tradycyjną użyto średnicy zastępczej [mm] oznaczonej przy pomocy urządzenia Single Kernel Characteristics System (SKCS) [12] oraz masy 1000 nasion i gęstości usypnej masy ziarna oznaczonej wg Jakubczyka i Habera [6] zgodnie z Polskimi Normami.

Obliczenia statystyczne przeprowadzono używając pakietu Statistica ver. 2 [4].

WYNIKI I DYSKUSJA

Doświadczeni praktycy oceniając jakość ziarna biorą pod uwagę wyrównanie i wielkość ziarniaków, ich wypełnienie i kształt, kształt bruzdki, wygląd powierzchni, udział ziarniaków uszkodzonych mechanicznie lub podczas dojrzewania oraz właściwy dla danego typu pszenicy (szklisty lub mączysty) charakter endospermu. Większość charakterystycznych cech morfologicznych ziarniaka może być mierzona metodami cyfrowej analizy obrazu i, co ważne, bez ograniczania liczby mierzonych parametrów. Berman i in. [2] wykorzystali DIA do

badania zależności pomiędzy wydajnością wymiału tj. jednym z parametrów oceny jakości i wybranymi geometrycznymi parametrami ziarniaków (pole powierzchni, duża oś, mała oś i elipsoidalna objętość obiektu). Używając do opracowania zebranych danych metod analizy wieloczynnikowej wariacji i regresji otrzymali równanie empiryczne wyjaśniające około 70% oszacowanej zmienności. Kubiak i Fornal [8] poszukiwali zależności pomiędzy cyfrowymi wskaźnikami geometrycznej charakterystyki ziarniaków typowych sitowych frakcji ziarna i wybranymi wyznacznikami jakości tj., masą 1000 ziarniaków, wskaźnikiem sedymentacji, ogólną zawartością białka i zawartością glutenu. Nie znajdując prostych zależności zaproponowali do oceny jakości ziarna wskaźniki: A (zawartość białka na jednostkę powierzchni obiektu) i B (masa ziarniaka na jednostkę powierzchni obiektu). Zastosowanie systemów sztucznej inteligencji (AIS) umożliwiło identyfikację wybranych polskich odmian pszenicy niezależnie od miejsca i warunków uprawy [9]. Biorąc pod uwagę powyższe rezultaty, zdecydowano zbadać zależność pomiędzy całościową oceną jakości ziarna i rozbudowaną charakterystyką geometrycznych cech ziarniaków.

W używanym systemie klasyfikacji jakościowej przyjmuje się odmienne zakresy wartości dziewięciu bazowych parametrów do oceny pszenic jarych i ozimych [7], ponieważ skład chemiczny i właściwości fizykochemiczne ziarna tych form pszenicy różnią się istotnie. Średnie wartości (z prób pochodzących z ośmiu miejscowości), parametrów stanowiących podstawę klasyfikacji jakości odmian oraz oceny przydatności technologicznej ziarna pszenicy przedstawiono w Tab. 1 i 2. Chociaż uważa się, że jednym z celów klasyfikacji pszenicy może być identyfikowanie pszenic o podobnej jakości białka [14] do badań wybrano te odmiany pszenicy, w których, niezależnie od klasy jakości, zawartość białka w ziarnie była zbliżona. Wiadomo bowiem, że ogólna zawartość białka nie jest dobrym wyznacznikiem jakości [1, 3, 7]. W odmianach ozimych zawartość białka była na ogół niższa niż w odmianach jarych. W odmianach o różnej jakości technologicznej szczególnie wyraźne różnice zanotowano w wartościach parametrów takich jak liczba opadania, wskaźnik sedymentacji oraz farinograficzne i ekstensometryczne właściwości ciasta (Tab. 1 i 2). Wielkość i kształt ziarniaków (mierzone metodami tradycyjnymi) odmian jarych i ozimych zaklasyfikowanych do tej samej klasy jakości były również odmienne (Tab. 1 i 2). Średnica zastępcza ziarniaków standardowych odmian: jarej Jasna i ozimej Begra przy zbliżonej gęstości usypnej (80,11 i 80,53 kg/hl, odpowiednio) wynosiły 2,59 mm (od 2,39 do 2,84) mm i 2,98 mm od (2,84 do 3,32 mm), odpowiednio. Także masa 1000 ziarniaków tych odmian była różna i wynosiła, odpowiednio, 35,58 g (od 30,8 do

40,8 g) i 45,33 g (od 41,3 do 54,4 g). Ta specyficzna różnica wielkości i kształtu ziarniaków odmian jarych i ozimych sugerowała również konieczność oddzielnej oceny siły powiązania zmiennych badanej zależności.

Wybór parametrów charakteryzujących geometryczne cechy ziarniaka jest niewątpliwie poważnym problemem. Zwiększanie liczby mierzonych parametrów często nie prowadzi do znaczącego wyeksponowania różnic odmianowych czy jakościowych [13,14,17]. Zdecydowano zatem do charakterystyki ziarniaka użyć typowych parametrów użytkowego programu Micro Image.

Tabela 1. Średnie wartości parametrów klasyfikacji i charakterystyka wielkości ziarniaków odmian pszenicy jarej

Table 1. Parameter means and kernel size characteristics for spring wheat cultivars

Parametry klasyfikacji	Jasna*	Torka	Sigma	Kontesa	Santa	Eta
Liczba opadania, s	416,25	377,63	310,75	422,88	398,13	435,63
Zawartość białka, % sm,	14,43	13,73	13,38	14,45	14,02	14,60
Wskaźnik sedymentacji, ml	90,71	97,26	91,19	80,92	81,75	78,22
Ogólny wyciąg mąki, %	69,51	71,11	70,74	68,86	70,66	68,13
Barwa mąki, %	79,26	76,16	76,96	78,39	80,60	78,94
Wodochłonność mąki, %	60,75	59,96	58,50	60,49	61,10	60,49
Rozmiękczenie ciasta, j.Br,	51,88	34,38	56,88	77,50	66,25	82,50
Energia ciasta (ekst.), cm ²	96,96	145,15	136,57	67,94	69,74	57,99
Objętość chleba, cm ³ /100 g	574,49	625,96	580,30	564,02	574,88	561,80
Klasa jakości	A	A	A	B	B	C
Masa 1000 ziaren, g	35,58	39,39	35,12	36,99	37,60	36,21
Gęstość usypna, kg/hl	80,11	78,72	76,34	76,63	79,09	76,54
Średnica ziarniaka, mm	2,59	2,80	2,62	2,70	2,69	2,68

Statystyczne opracowanie tak dużej liczby zebranych danych wymagało użycia analizy dyskryminacyjnej prowadzonej przy standardowym $p \leq 0,05$. Utku [15] testując nowe metody wyróżniania odmian pszenic w oparciu o geome-

tryczną charakterystykę ziarniaków stwierdził, że ten typ analizy umożliwia zarówno ocenę wpływu dużej liczby zmiennych, jak i ułatwia wybór charakterystycznych cech geometrycznych maksymalnie różnicujących wielkość i kształt ziarniaków poszczególnych odmian. Również Berman i wsp. [2] rozważali użycie analizy dyskryminacji dla poprawienia liczby poprawnie zaklasyfikowanych odmian.

Tabela 2. Średnie wartości parametrów klasyfikacji i charakterystyka wielkości ziarniaków odmian pszenicy ozimej

Table 2. Parameter means and kernel size characteristics for winter wheat cultivars

Parametry klasyfikacji	Begra*	Panda	Ĵuma	Sakwa	Almari	MIB-496
Liczba opadania, s	313,88	333,88	314,00	370,13	364,88	305,25
Zawartość białka, % sm.	13,26	13,60	13,55	13,50	13,64	13,88
Wskaźnik sedymentacji, ml	85,94	83,41	71,36	77,50	70,88	66,28
Ogólny wyciąg mąki, %	74,53	73,32	72,15	71,94	71,83	68,24
Barwa mąki, %	77,34	79,15	81,07	81,54	83,49	82,12
Wodochłonność mąki, %	58,31	60,78	59,71	58,58	57,74	53,41
Rozmięczenie ciasta, j.Br.	78,51	88,13	88,13	80,63	96,88	90,00
Energia ciasta (ekst.), cm ²	95,78	84,19	68,70	59,28	42,33	61,83
Objętość chleba, cm ³ /100 g	611,55	601,86	57,40	576,15	564,55	542,40
Klasa jakości	A	A	A	B	B	C
Masa 1000 ziaren, g	45,33	35,76	41,45	40,05	43,58	42,42
Gęstość usypna, kg/hl	8053	79,00	79,95	75,40	77,28	77,79
Średnica ziarniaka, mm	2,98	2,58	2,96	2,85	2,93	2,81

Wyniki obliczeń statystycznych zamieszczono w Tab. 3, w której ostrość i poprawność podziału na grupy wyrażono współczynnikiem Wilksa ($\lambda=0$ to podział doskonały, $\lambda=1$ brak podziału) i procentowym udziałem poprawnie sklasyfikowanych przypadków. Wartości zamieszczone w tej tabeli wykazują przydatność wybranych parametrów DIA do poprawnego wyróżniania prób ziarna tej samej

odmiany (pochodzących z różnych miejscowości), a także prób ziarna tej samej jakości (niezależnie od odmiany i miejsca uprawy). Mimo, że skuteczność rozpoznawania odmian była w obu przypadkach formalnie dobra, w pszenicach jarych wydzielono trzy grupy odmian o ziarniakach zbliżonej wielkości tj.: (I) Sigma, Torka Kontesa, (II) Jasna, Santa i (III) Eta, podczas gdy w pszenicach ozimych odróżniono odrębne grupy dla wszystkich odmian. Statystyczna analiza parametrów tradycyjnej charakterystyki fizycznych cech ziarna tylko w grupie pszenic ozimych przyniosła pozytywne wyniki. Przy pomocy tych wskaźników wyróżniono poprawnie grupy odmianowe i klasy jakości.

Tabela 3. Dokładność wydzielenia grup odmianowych i jakościowych mierzona współczynnikiem Wilksa (λ) i udziałem (%) poprawnie sklasyfikowanych przypadków

Table 3. Discrimination accuracy of varietal and quality groups measured with Wilks coefficient (λ) and percentage (%) of properly classified cases

Grupy	Wyznaczniki geometrii ziarniaków	Pszenice jare		Pszenice ozime	
		λ	%	λ	%
Odmiana	Tradycyjne	0,4235	35,0	0,0546	81,0
	DIA	0,0024	95,0	0,0004	100,0
Klasa odmiany	Tradycyjne	0,8840	47,9	0,2280	81,2
	DIA	0,2278	83,3	0,1230	91,7
Jakość ziarna	Tradycyjne	0,7475	47,9	0,7931	43,8
	DIA	0,1122	87,5	0,1684	75,0

Wydaje się zatem, że powiązanie geometrii ziarniaków z całościową oceną jakości rokuje nadzieję na opracowanie uproszczonej metody automatycznej klasyfikacji ziarna choć wymagać będzie kilkuletnich badań.

Autorzy dziękują prof. dr hab. Stanisławowi Grundasowi z Instytutu Agrofizyki PAN w Lublinie za umożliwienie wykonania oznaczeń na Single Kernel Characterization System (SKCS).

PIŚMIENNICTWO

1. **Baker S., Herman T.J., Loughin T.:** Segregating hard red winter wheat into dough factor groups using single kernel measurements and whole grain protein analysis. *Cereal Chemistry*, 76, 884-889, 1999.
2. **Berman M., Bason M.I., Ellison F., Peden G., Wrigley C.W.:** Image analysis in whole grains to screen for flour-milling yields in wheat breeding. *Cereal Chemistry*, 73, 323-327, 1996.
3. **Delviche S.R., Graybosch R.A., Peterson C.J.:** Predicting protein composition, biochemical properties, and dough-handling properties of hard red winter wheat flour by Near-Infrared Reflectance. *Cereal Chemistry*, 75, 412-416, 1998.
4. Discriminant function analysis. in: *Statistica for Windows (Volume III)*, 2nd edition, copyright by StatSoft, Inc.
5. **Gaines C.S., Finney P.L., Andrews L.C.:** Influence of kernel size and shriveling on soft wheat milling and baking quality. *Cereal Chemistry*, 74, 700-704, 1997.
6. **Jakubczyk T., Haber T.:** Analiza zbóż i przetworów zbożowych. SGGW-AR, Warszawa. 1981.
7. **Klockiewicz-Kamińska E., Brzeziński J.W.:** Metoda oceny i klasyfikacji jakościowej odmian pszenicy. *Przegląd Zbożowo-Młynarski*, XLII(1), 2-6, 1998.
8. **Kubiak A., Fornal Ł.:** Interaction between geometrical features and technological quality of Polish wheat grains. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 3/44, 75-85, 1994.
9. **Kubiak A., Fornal Ł., Ojczyk T.:** Polish wheat varieties recognition by artificial intelligent system. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 7/48, 160-167, 1998.
10. **Luo X., Jayas D.S., Symons S.J.:** Identification of damaged kernels in wheat using a colour machine vision system. *Journal of Cereal Science*, 30, 49-59, 1999.
11. **Novaro P., Colicci F., Venora G., D'Edigio M.G.:** Image analysis of whole grains: A noninvasive method to predict semolina yield in durum wheat, *Cereal Chemistry*, 78, 217-221, 2001.
12. **Sadowska J., Budny J., Jeliński T., Fornal J., Grundas S.:** Variability in the mechanical properties of Polish wheat cultivars from various regions, *International Agrophysics*, 15, 191-195, 2001.
13. **Shatadal P., Jayas DS., Bulley NR.:** Digital image analysis for software separation and classification of touching grains: II. Classification. *Transactions of the ASAE*, 38, 645-649, 1995.
14. **Utku H., Köksel H.:** Use of statistical filters in the classification of wheats by image analysis. *Journal of Food Engineering*, 36, 385-394, 1998
15. **Utku H.:** Application of the feature selection method to discriminate digitized wheat varieties. *Journal of Food Engineering*, 46, 211-216, 2000.
16. **Zayas I., Pomeranz Y., Lai F.S.:** Discrimination of wheat and nonwheat components in grain samples by image analysis, *Cereal Chemistry*, 66 (3), 233-237, 1989.

17. **Zayas I., Lai F.S., Pomeranz Y.:** Discrimination between wheat classes and varieties by image analysis, *Cereal Chemistry*, 63, 52-56, 1986.
18. **Zayas I.Y., Steele J.L.:** Image texture analysis for discrimination of mill fractions of hard and soft wheat, *Cereal Chemistry*, 73, 136-142, 1996.

EVALUATION OF WHEAT GRAIN QUALITY USING DIGITAL IMAGE ANALYSIS

J. Sadowska¹, T. Jeliński¹, E. Klockiewicz-Kamińska², H. Havlatova³

¹Institute of Animal Reproduction and Food Research, Polish Academy of Sciences
Tuwima 10, 10-748 Olsztyn

²Research Centre for Cultivar Testing, 63-022 Słupia Wielka

³Institute of Chemical Technology, Technická 5, 166 28 Praha 6

Summary. Wheat kernel size and shape variability was examined with intent to use characteristics of kernel geometry for grain quality evaluation. Kernels of Polish wheat cultivars of A, B, and C classes were examined. Quality of cultivars were determined in 9-scores Classification System of Cultivar Quality, in which protein content and quality, falling number, yield, colour, and water absorption of flour, softening and extension energy of dough, and bread specific volume are measured. Kernel size and shape were simultaneously measured with DIA and traditional methods. Area, minimum and maximum axes, minimum, maximum, and average diameters, minimum and maximum radii, perimeter, length, width and aspect, roundness, and plumpness of each object (single kernel image) were determined in DIA method. Statistically analysed data showed good usability of above-mentioned DIA indices for recognition of the same cultivar samples from different cultivation location. Proper classification of the same quality grain samples of different cultivars from different locations was also obtained. Relationship found between proposed parameters of kernel geometry and wheat grain quality could be use for developing of simple and noninvasive method of automatic classification of wheat grain.

Key words: DIA, grain quality, kernel geometry, wheat.