

DYSKRYMINACJA ODMIAN ZIARNA PSZENICY NA PODSTAWIE CECH GEOMETRYCZNYCH

Piotr Zapotoczny

Katedra Inżynierii Procesów Rolniczych, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

Streszczenie. Celem pracy było poszukiwanie takich wyróżników geometrii 16 odmian ziarna pszenicy, które pozwolą na ich dyskryminację. Do identyfikacji właściwości geometrycznych wykorzystano stanowisko do komputerowej analizy obrazu, oparte na pozyskiwaniu obrazu ziarniaków za pomocą aparatu fotograficznego. Każdy z ziarniaków został opisany przez 66 zmiennych geometrycznych. Analiza statystyczna wyników przebiegała dwuetapowo. W pierwszym etapie przeprowadzono redukcję zmiennych do najlepiej dyskryminujących, natomiast w drugim etapie przeprowadzono analizę dyskryminacyjną. Błąd klasyfikacji odmian jarych wyniósł 10,55%, natomiast odmian ozimych 4,58%.

Słowa kluczowe: ziarno, analiza obrazu, klasyfikacja, geometria, analiza dyskryminacyjna

Wprowadzenie

W związku z coraz większymi wymogami stawianymi producentom, co do jakości produkowanego ziarna zbóż istnieje potrzeba stworzenia obiektywnego, powtarzalnego, szybkiego oraz taniego systemu oceny jakości technologicznej surowca oraz jego jednolitości. Metodą spełniającą powyższe oczekiwania może być metoda oparta na komputerowej analizie obrazu (DIA). Z wykorzystaniem analizy obrazu możemy identyfikować takie właściwości fizyczne ziarniaków zbóż jak: barwa, wielkość i kształt oraz teksturę powierzchni. Do pierwszych publikacji podejmujących omawiane zagadnienie, należą prace zespołu kierowanego przez Zayas, Steele [1996] Neuwmana [1987], oraz Majumdara i Jayasa [1999]. Fundamentalną pracą jest cykl publikacji pod kierunkiem Majumdara i Jayasa [2000a]. Autorzy wykorzystali technikę cyfrowego zapisu obrazu z wykorzystaniem kamery CCD do identyfikacji różnych gatunków zbóż. Jayas i in. [2000], Visen i in. [2001, 2002], Paliwal i in. [2001]. Shouche i in. [2001] wykorzystali do identyfikacji różnych odmian pszenicy indyjskiej płaski skaner. Spośród 45 indeksów wymiarów geometrycznych i kształtu, wyodrębnili 5 indeksów, które mogą posłużyć do identyfikacji odmian. Utku [2000] próbował opracować system do rozróżniania 31 odmian pszenicy z wykorzystaniem kamery CCD. Dzięki zastosowaniu transformacji ortonormalnej, udało mu się rozróżnić pszenicę chlebową od pszenicy Durum. Podejmowane są prace dotyczące identyfikacji klas i odmian ziarna określające różnice w cechach geometrycznych ziarniaków [Utku, Köksel 1998, Sapirstein, Kohler 1999, Shouche i in. 2001, Brosnan, Da-Wen Sun 2002]. Liao i in. [1994], opracowali algorytm do badania cech geometrycznych i jakości kukurydzy.

Cel i zakres pracy

Celem pracy było poszukiwanie takich wyróżników geometrii ziarniaków pszenicy, które umożliwią odróżnianie odmian między sobą. Zakres pracy obejmował pozyskanie zdjęć 16 odmian ziarniaków pszenicy, pomiar cech geometrycznych oraz analizę statystyczną wyników z wykorzystaniem analizy wielowymiarowej.

Metodyka badań

Materiałem badawczym było 16 odmian pszenicy jarej i ozimej: Jasna, Koksa, Nawra, Opatka, Banti, Torka, Vinjett, Zebra, Korweta, Pegassos, Sukces, Zyta, Mewa, Kobra, Sakwa, Tonacja. Wilgotność ziarna wynosiła 14%.

Analiza obrazu

Przed przystąpieniem do pomiaru geometrii ziarniaków opracowano metodykę przekształceń filtracyjnych umożliwiających automatyczne wykonywanie pomiarów (Zapotoczny 2005). Proces przekształceń filtracyjnych wraz z ustaleniem progu binaryzacji ma duże znaczenie w pomiarach geometrii obiektów. Należy dążyć do takiego algorytmu, aby błąd pomiaru był jak najmniejszy, przy zachowanym kształcie ziarniaków. Zdjęcia ziarniaków wykonywane były aparatem OLYMPUS Z3040, przy następujących ustawieniach aparatu: czułość – 100 ISO, przysłona – f5, czas naświetlania – 1/50 s, zoom – 90, ostrość – 30, rozdzielczość zdjęcia – 1280 x 960 pikseli, format zapisu – TIFF. Ziarna na scenie układane były po 200 szt. Z każdej odmiany sfotografowano 600 szt. ziarniaków.

Wymiary linowe i współczynniki kształtu

Każdym z ziarniaków zostały opisany następującym wymiarami liniowymi oraz współczynnikami kształtu:

Wymiary liniowe

- | | |
|--|--|
| 1. Pole powierzchni (object specific area) | [F] |
| 2. Pole powierzchni całego obiektu (total object specific area) | [F _t] |
| 3. Długość obwodu obiektu (profile specific perimeter) | [U _l] |
| 4. Długość obwodu granicy obiektu (object boundry specific perimeter) | [U _g] |
| 5. Długość obwodu wypukłego obiektu (convex perimeter) | [U _w] |
| 6. Długość linii szkieletowej obiektu (lenght of the skeletonized object) | [L _{sz}] |
| 7. Największa średnica (maximal diametr) długość | [S _{max}] |
| 8. Pole powierzchni okręgu opisanego na obiekcie | [Fd ₂] |
| 9. Średnica Fereta H, V (Feret diameters) | [F _h , F _v , F _{max} , F _{min}] |
| 10. Szerokość obiektu (thickness, width) | [S ₁] [S ₂] |
| 11. Długość S- szerokość L. Długość i szerokość prostokąta opisanego na figurze. | [S, L] |
| 12. Średnica okręgu o polu powierzchni równym polu obiektu | [S _{pol}] |
| 13. Promień Martina | [M _{max} , M _{min} , M _{śre}] |
| 14. Długość min. i max osi elipsy opisaney na obiekcie | [L _{maxE} , L _{minE}] |

15. Promień koła wpisanego i opisanego na figurze	[D ₁ , D ₂]
16. Ustawienie katowe osi dłuższej obiektu, kąt orientacji obiektu	[A _{ox}]
17. Pole powierzchni elipsy opisanej na obiekcie	[FE]
Współczynniki kształtu	
1. Współczynnik eliptyczności (elliptic shape factor)	[W ₁]
2. Współczynnik kolistości (circular shape factor lub compactness)	[W ₂ , W ₆]
3. Współczynnik zwartości (circularity) dla koła =4π ≈12,57	[W ₃]
4. Współczynnik pofałdowania (holding factor)	[W ₄]
5. Współczynnik średniej grubości obiektu (mean thickness factor)	[W ₅]
6. Współczynnik średniej grubości obiektu	[W5b]
7. Współczynnik wydłużenia i nieregularności.	[W ₇]
8. Bezwymiarowy współczynnik kształtu- ilościowa charakterystyka kształtu	[R _s]
9. Współczynniki Fereta	[R _F] [F _V , F _H]
10. Współczynniki cyrkularności R	[R _c , R _{c1} , R _{c2}]
11. Współczynnik Malinowskiej	[R _M]
12. Współczynnik Blaira-Blissa	[R _B]
13. Współczynnik Danielssona	[R _D]
14. Współczynnik Harlicka	[R _H]
15. Prostokątny współczynnik kształtu (rectangular aspect ratio)	[W ₈]
16. Współczynnik powierzchni (area ratio)	[W ₉]
17. Współczynnik promieni (radius ratio)	[W ₁₀]
18. Odchylenie standardowe wszystkich promieni	[SigR]
19. Zakres średnic (diameter range)	[W ₁₁]
20. Okrągłość (roundness)	[W ₁₂] [W ₁₃] [W ₁₄] [W ₁₅]
21. Współczynniki związane z odległością pikseli od środka ciężkości	[Er, Er2]
22. Współczynniki związane z odległością pikseli od konturu	[El, El2]
23. Liczba pikseli brzegu	[Nc]
24. Liczba „kantów” (wystających punktów konturu)	[Nv]
25. Liczba pikseli konturu profilu	[NI]
26. Liczba pikseli szkieletu	[Nsz]
27. Liczba wierzchołków szkieletu	[Ni]
28. Liczba rozgałęzień szkieletu	[Nx]
29. Liczba oczek szkieletu (dziur)	[No]
30. Odległość środka okręgu wpisanego od GeoX w kierunku Ox	[Xo]
31. Odległość środka okręgu wpisanego od GeoY w kierunku Oy	[Yo]
32. Odległość środka okręgu wpisanego od środka ciężkości	[XYo]
Momenty bezwładności figur	
a) moment bezwładności drugiego rzędu M _{2X} , M _{2Y} , M _{2XY} określają bezwładność figury	

Analiza statystyczna wyników

Analiza statystyczna wyników przebiegała w dwóch etapach. W pierwszym etapie, nastąpiła redukcja ilości zmiennych z wykorzystaniem następujących metod: współczynnika Fishera F , prawdopodobieństwa błędu klasyfikacji wraz z uśrednionym współczynnikiem korelacji $POE+ACC$ oraz współczynnika informacji wzajemnej MI . Z każdej z metody

wybrano 10 najlepszych zmiennych mających wpływ na dyskryminację. Kolejnym etapem analizy statystycznej było wykonanie analizy wielowymiarowej. Wykorzystano metodę analizy składowych głównych *PCA*, liniową analizę dyskryminacyjną *LDA* i nieliniową analizę dyskryminacyjną *NDA*. Analiza umożliwiła sprawdzenie czy na podstawie wyselekcjonowanych cech geometrii ziarniaków możliwe jest odróżnianie odmian między sobą. Przed przystąpieniem do analizy statystycznej w celu zredukowania zmienności wewnątrzgrupowej, zbiór danych z 600 ziarniaków został zredukowany do 30 średnich poprzez losowe uśrednienie 20 pomiarów.

Wyniki badań i dyskusja

W tabeli 1 zostały przedstawione wybrane wyróżniki pomiaru geometrii ziarniaków pszenicy odmian jarych i ozimych. Odmiany jare charakteryzowały się w większości przypadków mniejszymi wymiarami liniowymi w stosunku do odmian ozimych.

Tabela 1. Wybrane wyróżniki geometrii ziarniaków

Table 1. Selected characteristics of seed geometry

Odmiany	Zmienne geometryczne													
	F		L		S		Rc		Rh		Rm		Rs	
	[mm ²]		[mm]		[mm]		[-]		[-]		[-]		[-]	
	X _{śr.}	SEM	X _{śr.}	SEM	X _{śr.}	SEM	X _{śr.}	SEM	X _{śr.}	SEM	X _{śr.}	SEM	X _{śr.}	SEM
Jasna*	15,38	0,08	6,27	0,02	3,00	0,01	0,34	0,0003	0,97	0,0002	10,77	0,01	8,65	0,02
Koksa	17,48	0,16	6,67	0,02	3,17	0,02	0,34	0,0005	0,97	0,0005	10,90	0,02	8,86	0,03
Nawra	15,69	0,15	6,37	0,03	3,00	0,02	0,34	0,0003	0,97	0,0002	10,84	0,01	8,76	0,02
Opatka	16,88	0,16	6,36	0,03	3,17	0,02	0,34	0,0003	0,97	0,0003	10,72	0,01	8,59	0,02
Banti	17,78	0,09	6,72	0,02	3,25	0,02	0,34	0,0005	0,97	0,0004	10,78	0,02	8,68	0,03
Torka	16,95	0,09	6,53	0,02	3,16	0,01	0,34	0,0005	0,97	0,0004	10,79	0,02	8,70	0,02
Vinjett	19,30	0,16	6,85	0,02	3,42	0,02	0,34	0,0003	0,97	0,0003	10,77	0,01	8,67	0,01
Zebra	18,29	0,13	6,51	0,02	3,34	0,01	0,34	0,0002	0,97	0,0002	10,80	0,01	8,70	0,01
Zyta**	19,38	0,10	6,64	0,02	3,53	0,01	0,35	0,0003	0,98	0,0002	10,53	0,01	8,31	0,01
Korweta	17,01	0,11	7,00	0,02	2,93	0,02	0,32	0,0005	0,96	0,0004	11,35	0,02	9,55	0,03
Pegassos	20,36	0,15	6,95	0,02	3,63	0,02	0,35	0,0003	0,97	0,0002	10,54	0,01	8,33	0,01
Sukces	18,87	0,14	6,89	0,02	3,36	0,02	0,34	0,0007	0,97	0,0003	10,87	0,03	8,81	0,04
Kobra	19,48	0,15	6,94	0,02	3,50	0,02	0,34	0,0004	0,97	0,0003	10,66	0,01	8,50	0,02
Mewa	18,03	0,14	6,77	0,02	3,32	0,02	0,34	0,0005	0,97	0,0003	10,74	0,02	8,63	0,02
Tonacja	19,37	0,16	7,11	0,02	3,37	0,02	0,34	0,0005	0,97	0,0003	10,87	0,02	8,81	0,03
Sakwa	18,23	0,14	7,11	0,02	3,18	0,02	0,33	0,0008	0,96	0,0006	11,15	0,03	9,24	0,04

* odmiany jare, ** odmiany ozime, SEM – błąd standardowy zmiennej

Źródło: obliczenia własne autora

Wybór zmiennych - 16 odmian

W tabeli 2 zostały przedstawione po 10 najlepiej dyskryminujących zmiennych otrzymanych z każdej metody. Analiza została przeprowadzona dla wszystkich 16 odmian.

Dyskryminacja odmian ziarna...

Tabela 2. Zestawienie najlepszych zmiennych wybranych z 16 odmian pszenicy
Table 2. The list of best variables selected from 16 wheat varieties

Lp.	F		POE+ACC		MI	
	Zmienna	statystyka	Zmienna	statystyka	Zmienna	statystyka
1	W₁₄	16,31	X ₀	0,50	W₁₄	50
2	Sig _R	15,15	D ₂	0,51	M_{max}	1,50
3	W ₁₁	15,15	W ₉	0,52	M _{min}	1,48
4	M_{max}	13,01	M _{2xy}	0,52	F _{d2}	1,47
5	W₁₂	12,98	Y	0,53	W₁₂	1,47
6	R _h	12,82	X _{YO}	0,54	D ₂	1,46
7	W ₇	12,66	X ₀	0,55	F _{max}	1,46
8	Fd ₂	12,62	W _{5b}	0,56	S _{max}	1,46
9	R _{ff}	12,59	W ₁	0,57	D ₁	1,44
10	W ₈	12,56	R _{ff}	0,95	L _{maxE}	1,44

Źródło: obliczenia własne autora

Z każdej metody uzyskano odmienny zestaw zmiennych. Jedynie współczynniki kształtu W_{14} , M_{max} , W_{12} powtarzają się w dwóch metodach selekcji. Wyniki te wskazują, iż do dalszej analizy wielowymiarowej należy wykorzystać łącznie, zmienne uzyskane z trzech zastosowanych metod.

Wybór zmiennych – odmiany jare

W tabeli 3 zostały przedstawione wyniki uzyskane z analizy odmian jarych między sobą. Zestaw wybranych zmiennych znacznie różni się od wcześniej przeprowadzonej analizy. Jedynie współczynnik W_4 był wspólny dla wszystkich metod. Wartość statystyki F przyjmowała wartości od 7,89 do 9,12, co może sugerować dobrą zdolność dyskryminacyjną wybranych zmiennych.

Tabela 3. Zestawienie najlepszych zmiennych wybranych w z odmian jarych
Table 3. The list of best variables selected from spring varieties

Lp.	F		POE+ACC		MI	
	Zmienna	statystyka	Zmienna	statystyka	Zmienna	statystyka
1	U _g	9,12	R _h	0,50	M _{max}	1,15
2	R _{c2}	9,12	M _{max}	0,51	W₄	1,06
3	M _{2y}	9,06	Y _o	0,52	W ₉	0,90
4	R _d	8,79	Y	0,53	R _h	0,76
5	E _{r2}	8,65	M _{2xy}	0,55	W ₁	0,59
6	E _r	8,37	W _{5b}	0,55	Y _o	0,56
7	U _w	8,18	W ₁	0,56	W _{5b}	0,45
8	M _{aver}	8,06	W ₉	0,56	X₀	0,44
9	F	7,93	X₀	0,57	M _{2xy}	0,40
10	W₄	7,89	W₄	0,92	Y	0,05

Źródło: obliczenia własne autora

Wybór zmiennych – odmiany ozime

Wyniki uzyskane pomiędzy odmianami ozimymi były bardziej jednoznaczne w stosunku do odmian jarych. Współczynniki W_{14} , W_{12} , W_{11} , W_{10} powtarzały się w dwóch metodach selekcji zmiennych. Znacznie wzrosła wartość statystyki F przyjmując wartości od 18,28 do 23,99 (tabela 4), co powinno zapewnić uzyskanie małego błędu klasyfikacyjnego w analizie dyskryminacyjnej.

Tabela 4. Zestawienie najlepszych zmiennych wybranych w z odmian jarych
Table 4. The list of best variables selected from spring varieties

Lp.	F		POE+ACC		MI	
	Zmienna	statystyka	Zmienna	statystyka	Zmienna	statystyka
1	W_{14}	23,99	M_{\max}	0,50	W_{11}	1,60
2	W_{12}	22,19	Y_0	0,52	Sig_R	1,56
3	R_{ff}	21,94	W_{15}	0,54	W_8	1,56
4	R_h	21,64	Y	0,54	W_{10}	1,56
5	W_8	21,56	M_{2xy}	0,54	W_{12}	1,56
6	W_{11}	21,29	W_{14}	0,54	R_{ff}	1,55
7	W_7	20,62	X_0	0,54	R_h	1,51
8	Sig_R	20,61	X	0,55	W_{14}	1,51
9	W_{10}	20,07	S	0,56	W_7	1,46
10	W_2	18,28	W_{12}	0,85	W_2	1,45

Źródło: obliczenia własne autora

Analiza wielowymiarowa

Celem analizy było utworzenie nowej przestrzeni wektorów o mniejszej liczbie wymiarów, na które mogą być zrzutowane oryginalne punkty (zmienne lub przypadki) w taki sposób, aby można było wyodrębnić grupy jednorodne. W tym celu, poszukując najlepszej, wykorzystano trzy różne techniki tj. metodę PCA, LDA, NDA. Kryterium oceny był jak najmniejszy błąd klasyfikacji. W tabeli 5 przedstawiono wyniki obliczeń uzyskanych z klasyfikacji odmian jarych i ozimych traktowanych jako jeden zbiór poddany analizie.

Najmniejszy błąd klasyfikacji uzyskano dla *liniowej analizy dyskryminacyjnej* wykonanej na podstawie 10 zmiennych uzyskanych z metody selekcji z wykorzystującej współczynnik F . Błąd klasyfikacji wyniósł 15,09%. Najgorsze wyniki zyskano na podstawie zmiennych uzyskanych metodą *POE+ACC* (26,42%). Wprowadzenie do modelu 30 zmiennych, uzyskanych z trzech metod selekcji nie poprawiło jakości dyskryminacji.

W kolejnym etapie analizy została sprawdzona możliwość dyskryminacji odmian jarych od ozimych. W tabeli 6 zostały przedstawione wyniki analizy dyskryminacyjnej. Najmniejszy błąd klasyfikacji wynoszący tylko 5,24% uzyskano przy wykorzystaniu *nieliniowej analizy dyskryminacyjnej* i metodzie selekcji zmiennych *POE+ACC*. Tak jak w dyskryminacji 16 odmian między sobą wykorzystanie 30 zmiennych nie poprawiło jakości klasyfikacyjnej.

Dyskryminacja odmian ziarna...

Tabela 5. Błąd klasyfikacji 16 odmian
Table 5. Classification error for 16 varieties

Metody selekcji	Metody analizy	Błąd klasyfikacji	Wsp. Fishera
F	PCA	152/477*[31,87%]**	F = 13,7
	LDA	72/477 [15,09%]	F = 10,6
	NDA	416/477 [87,21%]	F = 14,8
POE+ACC	PCA	147/477 [30,82%]	F = 1,9
	LDA	126/477 [26,42%]	F = 2,2
	NDA	432/477 [90,57%]	F = 17,5
MI	PCA	168/477 [35,22%]	F = 12,4
	LDA	108/477 [22,64%]	F = 6,9
	NDA	473/477 [99,16%]	F = 15,8
F+ POE+ACC + MI	PCA	108/477 [22,64%]	F = 5,7
	LDA	87/477 [18,24%]	F = 7,8
	NDA	447/477 [93,71%]	F = 12,0

*- ilość przypadków źle sklasyfikowanych/ilość przypadków poddanych analizie, **- błąd klasyfikacji [%]

Źródło: obliczenia własne autora,

Tabela 6. Błąd klasyfikacji pomiędzy odmianami jarymi i ozimymi
Table 6. Classification error between spring and winter varieties

Metody selekcji	Metody analizy	Błąd klasyfikacji	Wsp. Fishera
F	PCA	77/477* [16,14%]**	F = 3,5
	LDA	110/477 [23,06%]	F = 4,3
	NDA	75/477 [15,72%]	F = 3,9
POE+ACC	PCA	29/477 [6,08%]	F = 0,7
	LDA	91/477 [19,08%]	F = 5,5
	NDA	25/477 [5,24%]	F = 13,5
MI	PCA	77/477 [16,14%]	F = 3,5
	LDA	110/477[23,06%]	F = 4,3
	NDA	72/477 [15,09%]	F = 3,9
F+ POE+ACC + MI	PCA	39/477 [8,18%]	F = 1,8
	LDA	30/477 [6,29%]	F = 12,2
	NDA	49/477 [10,27%]	F = 6,9

*- ilość przypadków źle sklasyfikowanych/ilość przypadków poddanych analizie, **- błąd klasyfikacji [%]

Źródło: obliczenia własne autora,

Zadawalające wyniki uzyskano w odróżnianiu odmian ozimych pomiędzy sobą. Najmniejszy błąd klasyfikacji wyniósł 4,58% przy wykorzystaniu *liniowej analizy dyskryminacyjnej* (tabela 7). Łączenie w jeden model dyskryminacyjny po 10 zmiennych z każdej metody selekcji poprawiło jakość klasyfikacji (4,58). Najgorsze wyniki uzyskano z *nieliniowej analizy dyskryminacyjnej*.

Tabela 7. Błąd klasyfikacji pomiędzy odmianami ozimymi
Table 7. Classification error between winter varieties

Metody selekcji	Metody analizy	błąd klasyfikacji	Wsp. Fishera
F	PCA	58/240* [24,17%]**	F = 21,7
	LDA	24/240 [10,00%]	F = 11,3
	NDA	180/240 [75,00%]	F = 25,8
POE+ACC	PCA	60/240 [25,00%]	F = 2,1
	LDA	59/240 [24,58%]	F = 19,0
	NDA	158/240 [65,83%]	F = 22,1
MI	PCA	58/240 [24,17%]	F = 21,7
	LDA	24/240 [10,00%]	F = 11,3
	NDA	170/240 [70,83%]	F = 24,6
F+ POE+ACC + MI	PCA	45/240 [18,75%]	F = 6,0
	LDA	11/240 [4,58%]	F = 12,6
	NDA	166/240 [69,17%]	F = 16,0

*- ilość przypadków źle sklasyfikowanych/ilość przypadków poddanych analizie, **- błąd klasyfikacji [%]

Źródło: obliczenia własne autora,

Nieco gorsze wyniki uzyskano dla odmian jarych. Najmniejszy błąd klasyfikacji wyniósł 10,55% (tabela 8). Tak jak w przypadku odmian ozimych najlepszą metodą było wprowadzenie do modelu 30 zmiennych i przeprowadzenie dyskryminacji za pomocą liniowej analizy dyskryminacyjnej.

Tabela 8. Błąd klasyfikacji pomiędzy odmianami jarymi
Table 8. Classification error between spring varieties

Metody selekcji	Metody analizy	Błąd klasyfikacji	Wsp. Fishera
F	PCA	100/237* [42,19%]**	F = 8,7
	LDA	66/237 [27,85%]	F = 9,6
	NDA	189/237 [79,75%]	F = 12,4
POE+ACC	PCA	49/237 [20,68%]	F = 1,5
	LDA	56/237 [23,63%]	F = 3,4
	NDA	197/237 [83,12%]	F = 12,0
MI	PCA	49/237 [20,68%]	F = 1,5
	LDA	56/237 [23,63%]	F = 3,4
	NDA	188/237 [79,32%]	F = 13,1
F+ POE+ACC + MI	PCA	54/237 [22,78%]	F = 4,3
	LDA	25/237 [10,55%]	F = 10,2
	NDA	195/237 [82,28%]	F = 10,7

*- ilość przypadków źle sklasyfikowanych/ilość przypadków poddanych analizie, **- błąd klasyfikacji [%]

Źródło: obliczenia własne autora,

Wnioski

1. Najlepszą metodą dyskryminacyjną okazała się *liniowa analiza dyskryminacyjna LDA*.
2. Odmiany ozime odróżniane były między sobą z błędem nie przekraczającym 4,58%, jare 10,55%. Błąd klasyfikacji 16 odmian między sobą nie przekroczył 15,09%.

Bibliografia

- Brosnan T., Da-Wen Sun.** 2002. Inspection and grading of agricultural and food products by computer vision systems – a review. *Computer Electron. Agric.*, vol. 36. s.193-213.
- Jayas D.S., Paliwal J., Visen N.S.** 2000. Multi-layer neural networks for image analysis of agricultural products. *J. Agric. Engang. Res.* vol.77(2). s. 119-128
- Liao K., Paulsen M.R., Reid J.F.** 1994. Real time detection of color and surface defect of maize kernels using machine vision. *Journal of Agricultural Engineering Research.* vol. 59 (4). s. 263-271.
- Majumdar S., Jayas D.S.** 1999. Classification of bulk samples of cereal grains using machine vision. *J. Agric. Engang. Res.* vol. 73. s. 35-47
- Majumdar S., Jayas D.S.** 2000. Classification of cereal grains using machine vision: I. Morphology models. *American Society of Agricultural Engineering.* vol.43(6). s. 1669-1675
- Neuman M., Sapristein H D., Shwedyk E., Bushuk W.** 1987. Discrimination of wheat class and variety by digital image analysis of whole grain samples. *Journal of Cereal Science.* vol.6. s. 125-132.
- Paliwal J., Visen N.S., Jayas D.S.** 2001. Evaluation of neural network architectures for cereal classification using morphological features. *J. Agric. Engang. Res.* vol.79(4). s. 361-370.
- Sapirstein H.D., Kohler J.M.** 1999. Effects of sampling and wheat grade on precision and accuracy of kernel features determined by digital image analysis. *Cereal Chem.*, vol.76 (1). s. 110-115.
- Shouche S.P., Rastogi R., Bhagwat S.G., Jayashree Krishna Sainis.** 2001. Shape analysis of grains of Indiana wheat varieties. *Computers and electronics in agriculture.* vol.33. s. 55-76
- Shouche S.P., Rastogi R., Bhagwat S.G., Jayashree Krishna Sainis.** 2001. Shape analysis of grains of Indiana wheat varieties. *Computers and electronics in agriculture.* vol. 33. s. 55-76.
- Utku H.** 2000. Application of the feature selection method to discriminate digitized wheat varieties. *Journal of Food Engineering.* vol.46. s. 211-216.
- Utku H., Köksel H.** 1998. Use of statistical filters in the classification of wheats by image analysis. *J. Food Eng.*, vol. 36. s. 385-394.
- Visen N.S., Shashidhar N.S., Paliwal J., Jayas D.S.** 2002. Identification and segmentation of occluding groups of grain kernels in a grain sample image. *J. Agric. Engang. Res.* vol. 79(2). s. 159-166.
- Zapotoczny P.** 2005. Wpływ rozdzielczości i kompresji obrazu na błąd pomiaru geometrii oraz barwy ziarniaków zbóż. *Inżynieria Rolnicza.* Nr 8. s. 417-425.
- Zayas I.Y., Steele J.L.** 1996. Image texture analysis for discrimination of mill fractions of hard and soft wheat. *Cereal Chem.*, vol. 73 (1). s. 136-142.

DISCRIMINATION OF WHEAT SEED VARIETIES ON THE BASIS OF GEOMETRICAL CHARACTERISTICS

Abstract. The purpose of the work was to try to find these geometry characteristics for 16 wheat seed varieties, which will allow their discriminations. Workstation for computer image analysis, based on acquiring seed image using a camera, was used for identifying geometrical properties. Each seed was described by 66 geometrical variables. Statistical analysis of results proceeded in two stages. The first stage involved reduction of variables to those discriminating best, whereas discriminant analysis was made in the second stage. Classification error for spring varieties was 10.55%, and 4.58% for winter varieties.

Key words: seed, image analysis, classification, geometry, discriminant analysis

Adres do korespondencji

Piotr Zapotoczny; e-mail: zap@uwm.edu.pl
Katedra Inżynierii Procesów Rolniczych
Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie
ul. Heweliusza 14
10-718 Olsztyn