

OCENA MOŻLIWOŚCI ZASTOSOWANIA POMIARÓW CECH
FIZYCZNYCH ZIARNIAKÓW PSZENICY OZIMEJ
DO WYKRYWANIA FUZARIOZY*

Andrzej Grabowski¹, Ryszard Siuda¹, Leszek Lenc², Stanisław Grundas³

¹Instytut Matematyki i Fizyki, Uniwersytet Techniczno-Przyrodniczy
ul. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz
e-mail: siuda@utp.edu.pl

²Katedra Fitopatologii, Uniwersytet Techniczno-Przyrodniczy
ul. Kordeckiego 20, 85-225 Bydgoszcz

³Instytut Agrofizyki im. Bohdana Dobrzańskiego PAN
ul. Doświadczalna 4, 20-290 Lublin

Streszczenie. Materiał badawczy stanowiły dwie kategorie ziarna pięciu odmian pszenicy ozimej. Ziarno kontrolne pochodziło z poletek, na których pszenica rosła w warunkach naturalnych, natomiast porażone pochodziło z poletek, na których w czasie kwitnienia dokonano inokulacji zarodnikami *Fusarium culmorum*. Dla zebranego materiału wykonano pomiary pięciu cech fizycznych pojedynczych ziarniaków (masy, średnicy zastępczej, wilgotności, twardości i objętości). Znajomość masy i objętości pozwoliła wyznaczyć gęstość pojedynczych ziarniaków. Pobrane losowo do pomiarów próbki liczyły po kilkaset ziarniaków. Wartości średnie wyników pomiarów oraz wartości średnich skalowanych (stosunki średnich do odchyłeń standardowych) poddano liniowej analizie dyskryminacyjnej (LAD). Na podstawie wyników LAD wyznaczono współczynnik Fishera, który jest miarą rozróżnienia pomiędzy ziarnem kontrolnym i porażonym. Współczynnik ten wyliczono dla wszystkich możliwych kombinacji zestawów cech. Okazało się, że dla kilku zestawów cech można uzyskać zadowalające rozdzielanie między ziarnem kontrolnym a porażonym.

Słowa kluczowe: fuzarioza, właściwości fizyczne ziarniaków, pszenica

WSTĘP

Porażenie ziarna pszenicy fuzariozą powoduje straty ekonomiczne (Golinski i in. 2002, Johnsson i in. 2003), pogorszenie właściwości technologicznych ziarna poprzez zmianę składu chemicznego (Boyacioglu i Hettiarachchy 1995, Wąsowicz

*Prace finansowano z projektów badawczych 2P06R 113 26, 2P06R 040 30 i BS-16/2005.

1991) i może być powodem wystąpienia skażenia toksycznego wskutek obecności mikotoksyn wytwarzanych podczas rozwoju grzybów z rodzaju *Fusarium* (Arseniuk i in. 1999, Boyacioglu i Hettiarachchy 1995, Dexter i Nowicki 2003). Zmiany składu chemicznego porażonego ziarna oraz jego właściwości fizycznych mogą stanowić podstawę do wykrywania porażenia. W szczególności zmiany barwy, czyli współczynnika odbicia w widzialnym zakresie promieniowania, a także w bliskiej podczerwieni, wykorzystano do rozpoznawania porażenia pojedynczych ziarniaków w automatycznych urządzeniach selekcyjnych ziarniaki na zdrowe i porażone (Delwiche i Hareland 2004, Dowell i in. 1999). Jednakże tego typu urządzenia ze względu na ich cenę raczej nie wydają się mieć szans na szerokie zastosowania tam, gdzie mogły by być najbardziej użyteczne, tzn. np. w magazynach i silosach służących przechowywaniu zboża. Z tego powodu wydaje się celowe rozpoznanie możliwości wykrywania porażonego ziarna na podstawie wyników pomiarów, które by można wykonać za pomocą prostszych, a przez to tańszych przyrządów. W tym celu konieczne jest określenie jakie i ile cech fizycznych trzeba zmierzyć, by możliwe było rozróżnienie ziarna porażonego i kontrolnego.

MATERIAŁ I METODY

Materiał doświadczalny stanowiło ziarno pięciu odmian pszenicy ozimej hodowanej na poletkach doświadczalnych (Kris, w roku 2004, Turnia w 2005, Satyna, Tonacja i Trend w 2006). Każda odmiana uprawiana była na dwóch poletkach, przy czym na jednym rośliny rosły w warunkach naturalnych (materiał kontrolny), zaś na drugim w okresie kwitnienia dokonywano inokulacji kłosów zarodnikami *Fusarium culmorum* (materiał porażony). Po zbiorach ziarno w warunkach laboratoryjnych poddawano suszeniu powietrznemu w okresie ok. 2 miesiące. Próbkę odmian z roku 2006 mierzono bezpośrednio po wysuszeniu, zaś pozostałych odmian po okresie ok. 3 miesiące przechowywania w lodówce (temperatura ok. 4°C).

Wykonywano pomiary masy, średnicy zastępczej, wilgotności i twardości pojedynczych ziarniaków za pomocą urządzenia SKCS 4100 (firmy Perten Instruments) oraz objętości za pomocą mikropiknometrów powietrznych (wykonanych w Zakładzie Fizyki Doświadczalnej Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego w Bydgoszczy) (Siuda i Rozwadowski 2006). Znajomość masy i objętości każdego ziarniaka pozwalała wyliczyć jego gęstość, wskutek czego znane były wartości sześciu cech fizycznych każdego ziarniaka mierzonej próbki ziarna. Próbkę pobierano losowo, a liczba ziarniaków w próbce wahała się od ok. 250 do 400 sztuk.

Wartości średnie wyników pomiarów dla sześciu cech ziarna poddano liniowej analizie dyskryminacyjnej (LAD) (Vandeginste i in. 1997). Rezultatem zastosowania tej metody jest wartość funkcji dyskryminacyjnej, D . Wartość tej funkcji dla obiektu (próbki ziarna) określa jego przynależność do jednej z dwóch klas: P („porażone” – wartość ujemna) lub K („kontrolne” – wartość dodatnia).

Do oceny stopnia odseparowania dwóch klas obiektów zastosowano współczynnik Fishera w postaci (Vandeginste i in. 1997):

$$F_{KP} = \frac{|\overline{D_K} - \overline{D_P}|}{\sqrt{s_K^2 + s_P^2}} \quad (1)$$

gdzie $\overline{D_K}$ i $\overline{D_P}$ oraz s_K i s_P są, odpowiednio, średnimi wartościami funkcji dyskryminacyjnej i odchyleniami standardowymi dla klas K i P. Im większa wartość współczynnika Fishera, tym klasy obiektów są bardziej rozdzielone. Jeśli wartość współczynnika Fishera zbliża się do 4, można uznać że klasy ziarna są odseparowane (rozróżnialne) w wystarczającym stopniu. W celu określenia, które zestawy cech dają najlepsze rozdzielanie dwóch klas ziarna, wyliczono współczynnik Fishera dla zestawów cech odpowiadających wszystkim możliwym kombinacjom.

Dla zestawów cech fizycznych ziarna dających najlepsze rozdzielanie klas wykonano analizę głównych składowych (AGS) (Vandeginste i in. 1997). AGS dostarcza nowych zmiennych – głównych składowych, które są wzajemnie ortogonalne i są kombinacją liniową zmiennych oryginalnych, czyli mierzonych cech. Użycie tylko istotnych głównych składowych zmniejsza wymiarowość analizowanego zagadnienia, co pozwala na wizualizację zależności występujących w danych za pomocą wykresów dwu- lub trójwymiarowych.

Wszystkie obliczenia wykonano w środowisku Matlab R2006b (MathWorks Inc.) z dodatkowym pakietem PLS ver. 3.5 (Eigenvector) oraz za pomocą programu MS Excel 2000.

WYNIKI

Średnie z pomiarów

Wartości średnie cech ziarna wraz z odchyleniami standardowymi zestawiono w tabeli 1. Wartości średnie dla masy, średnicy i objętości dla ziarna porażonego są mniejsze, co jest zgodne z doniesieniami literaturowymi (Champeil i in. 2004, Golinowski i in. 2002, Martin i in. 1998). Średnie wartości wilgotności i twardości nie wykazują stałego kierunku zmian, natomiast wartości gęstości nie są mniejsze niż dla ziarna kontrolnego. Ten ostatni wynik nie jest zgodny z powszechnie panującym przekonaniem (Martin i in. 1998, Tkachuk i in. 1991). W odniesieniu do wszystkich mierzonych cech i odmian występuje przyrost odchyleń standardowych dla ziarna porażonego.

Średnie skalowane

Ponieważ ziarno porażone cechuje się większym odchyleniem standardowym dla wszystkich mierzonych cech, warto w związku z tym wprowadzić nowe zmienne – średnie skalowane, zdefiniowane jako iloraz wartości średniej i odchylenia standardowego. Ponadto, zmienne skalowane są wielkościami bezwymiarowymi, co wpro-

wadza obiektywną skalę wartości. Przeliczenie wyników przedstawionych w tabeli 1 na zmienne skalowane prowadzi do wyników, które zawiera tabela 2. Wprowadzenie średnich skalowanych spowodowało, że dla każdej cechy i każdej odmiany otrzymano mniejsze wartości dla ziarna porażonego.

Tabela 1. Wartości średnie oraz odchylenia standardowe cech fizycznych ziarna kontrolnego i porażonego pięciu odmian pszenicy ozimej

Table 1. Mean values and standard deviation of physical properties for five varieties of control and scab damaged winter wheat kernels

Kategoria Category	Odmiana Variety	Masa Mass (mg)	Średnica Diameter (mm)	Wilgotność Moisture (%)	Twardość Hardness (SKCS indeks)	Objętość Volume (mm ³)	Gęstość Density (g·cm ⁻³)
Kontrolne Control	Satyna	48,8 ± 9,2	3,21 ± 0,50	11,04 ± 0,36	58,3 ± 11,2	34,1 ± 6,7	1,435 ± 0,060
	Tonacja	51,3 ± 7,9	3,29 ± 0,48	10,32 ± 0,27	51,8 ± 13,1	35,5 ± 5,5	1,449 ± 0,064
	Trend	46,8 ± 8,7	3,19 ± 0,50	11,18 ± 0,35	64,6 ± 12,8	32,4 ± 6,1	1,444 ± 0,048
	Kris	46,1 ± 11,0	2,98 ± 0,64	12,63 ± 0,33	46,2 ± 13,6	33,9 ± 8,0	1,361 ± 0,059
	Turnia	54,4 ± 10,4	3,44 ± 0,52	11,29 ± 0,31	58,4 ± 17,5	38,6 ± 7,4	1,411 ± 0,047
Porażone Scab damaged	Satyna	38,6 ± 13,2	2,92 ± 0,72	10,39 ± 0,42	49,2 ± 18,4	26,9 ± 9,1	1,436 ± 0,096
	Tonacja	37,1 ± 11,7	2,78 ± 0,66	10,59 ± 0,47	55,2 ± 15,8	25,7 ± 8,5	1,458 ± 0,147
	Trend	36,3 ± 11,6	2,83 ± 0,67	11,19 ± 0,43	59,4 ± 22,4	25,1 ± 8,1	1,450 ± 0,109
	Kris	33,7 ± 12,7	2,63 ± 0,67	10,55 ± 0,41	58,5 ± 21,0	23,9 ± 9,0	1,410 ± 0,076
	Turnia	42,9 ± 12,7	2,95 ± 0,60	9,25 ± 0,42	57,3 ± 20,8	29,3 ± 8,8	1,469 ± 0,094

Tabela 2. Skalowane wartości średnie cech fizycznych zestawionych w tabeli 1

Table 2. Scaled mean values of physical properties listed in Table 1

Kategoria Category	Odmiana Variety	Masa Mass (mg)	Średnica Diameter (mm)	Wilgotność Moisture (%)	Twardość Hardness (SKCS indeks)	Objętość Volume (mm ³)	Gęstość Density (g·cm ⁻³)
Kontrolne Control	Satyna	5,31	6,46	31,0	5,23	5,08	24,1
	Tonacja	6,49	6,79	38,7	3,94	6,49	22,5
	Trend	5,40	6,34	31,9	5,04	5,28	30,0
	Kris	4,20	4,62	38,1	3,41	4,24	23,2
	Turnia	5,21	6,64	36,8	3,34	5,21	29,7
Porażone Scab damaged	Satyna	2,93	4,05	25,0	2,67	2,97	15,0
	Tonacja	3,16	4,22	22,7	3,49	3,04	9,9
	Trend	3,12	4,25	26,3	2,66	3,10	13,3
	Kris	2,65	3,93	25,5	2,78	2,66	18,6
	Turnia	3,37	4,89	22,2	2,75	3,34	15,6

DYSKUSJA

Ziarno porażone cechuje się mniejszymi wartościami masy, średnicy i objętości. Gęstość jako stosunek masy i objętości nie okazała się mniejsza dla ziarna porażonego. Nie znajduje to potwierdzenia w publikowanych pracach (Martin i in. 1998, Tkachuk i in. 1991). Trzeba jednak zwrócić uwagę na fakt, że pomiary wykonywane piknometrami cieczowymi lub metodami flotacyjnymi zaniżają wartość gęstości (Fang i Campbell 2000), co spowodowane jest brakiem zwilżania całej powierzchni ziarniaka przez ciecz, przez co mierzona objętość jest zawyżona. Można przypuszczać, że ze względu na mniej regularne kształty ziarniaków porażonych (skurczenie i pomarszczenie), efekt niecałkowitego zwilżania rzeczywistej powierzchni ziarniaka przez ciecz jest większy, przez co gęstość ziarniaków porażonych jest bardziej zaniżana.

Stopień rozdzielenia klas ziarna

Podjęcie decyzji o porażeniu ziarna na podstawie wyników pomiarów pojedynczej cechy może prowadzić do mylnej klasyfikacji, ponieważ odchylenia standardowe w ramach odmiany są większe niż zmiana wartości średniej wynikająca z porażenia (tab. 1). Wskutek tego warto ocenić możliwości rozróżniania ziarna zdrowego i porażonego na podstawie wyników otrzymanych dla zestawów kilku cech zamiast cechy pojedynczej. W tym celu zastosowano liniową analizę dyskryminacyjną. Wartości z tabeli 1 oraz tabeli 2 stanowiły dane wejściowe, które poddano LAD i oceniono stopień rozdzielenia dwóch klas ziarna na podstawie wartości współczynnika Fishera. W przypadku sześciu zmiennych można wyróżnić $2^6 - 1 = 63$ możliwe zestawy cech i ocenić, dla których z nich rozdzielenie ziarna kontrolnego i porażonego jest największe. W tabeli 3 zebrano takie zestawy cech, które przy danej ich liczbie dawały największą wartość współczynnika Fishera.

Jak widać z tabeli 3, jedna cecha ziarna nie daje możliwości rozróżnienia klas ziarna ponieważ współczynnik Fishera jest zbyt mały. Dołączając kolejne cechy ziarna uzyskujemy wzrost wsp. Fishera. Interesujące jest, że jeśli do masy, wilgotności i objętości dołączymy gęstość, która jest ilorzem dwóch użytych już cech, to współczynnik F wzrasta o 37%. Dołączenie średnicy powoduje jeszcze większy wzrost i F przekracza 8,5, co jest wartością świadczącą o bardzo dobrym rozdzieleniu. Dla wartości średnich warto by użyć pięciu cech do rozróżniania dwóch kategorii ziarna ponieważ współczynnik Fishera uzyskuje prawie tak dużą wartość, jak w przypadku sześciu zmiennych, a unikamy trudnego pomiaru twardości. W przypadku średnich skalowanych dwie zmienne – wilgotność i twardość – dają prawie dwukrotnie większą wartość współczynnika Fishera niż najefektywniejsze dwie cechy dla wartości średnich. Zestaw czterech zmiennych skalowanych – masa, średnica, wilgotność i twardość, pochodzących z pomiaru SKCS

– jest obiecującym przypadkiem, umożliwiającym dobre rozróżnienie kategorii ziarna. Współczynnik Fishera w tym przypadku wynosi 11, co daje rozdzielanie lepsze, niż dla wartości średnich wszystkich cech.

Tabela 3. Zestawy zmiennych, które dają największy współczynnik Fishera (F) dla danej liczby cech ziarna

Table 3. Set of variables that give the highest Fisher ratio (F) for a given number of kernel features

Liczba cech Number of features	Średnie z pomiarów Means from measurement			Średnie skalowane Scaled means		
	Cechy Features	F	Wzrost F Increase of F (%)	Cechy Features	F	Wzrost F Increase of F (%)
1	v	2,79	–	w	2,72	–
2	m w	3,97	42	w t	7,48	175
3	m w v	4,13	4	w t d	9,93	33
4	m w v d	5,66	37	w t m s	11,0	11
5	m w v d s	8,65	53	w t m s v	11,8	7
6	m w v d s t	8,74	1	w t m s v d	12,5	6

Dla wartości średnich z pomiaru masy, średnicy, wilgotności, objętości i gęstości funkcja dyskryminacyjna przyjmuje postać

$$D = 175,8m - 296,5s + 70,19w - 224,3v - 3533d + 4383 \quad (2)$$

a dla wartości średnich skalowanych z pomiarów SKCS, funkcja dyskryminacyjna przyjmuje postać

$$D = -53,45m + 51,61s + 17,13w + 60,53t - 770,2 \quad (3)$$

Wartość dodatnia funkcji D klasyfikuje próbę ziarna do kategorii zdrowe, a wartość ujemna do kategorii porażone fuzariozą

Dla wybranych wyżej zestawów cech ziarna wykonano AGS. Dane poddane AGS zostały wstępnie przygotowane przez wykonanie autoskalowania (Vandeginste i in. 1997). Operacja ta składa się z dwóch etapów transformacji macierzy danych: centrowania (od każdej wartości w kolumnie odjęcie wartości średniej dla kolumny) a następnie skalowania (podzielenie każdej wartości w kolumnie przez odchylenie standardowe kolumny).

Dla obydwu zestawów (tab. 4 i 5) wartości wariancji skumulowanej związanej z 1GS i 2GS są zbliżone i wynoszą odpowiednio 95% i 94%. Można zatem dla obydwu zestawów cech zbudować ich modele wykorzystujące tylko dwie pierwsze główne składowe.

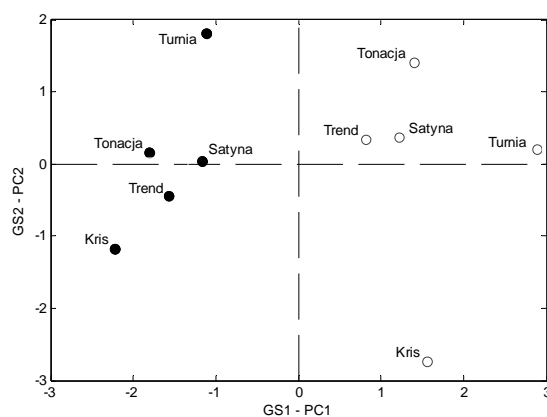
Tabela 4. Wariancja i wariancja skumulowana dla kolejnych GS zestawu wartości średnich m, s, w, v, d
Table 4. Variance and cumulated variance for subsequent PC for the set of mean values of m, s, w, v, d

GS – PC	Wariancja – Variance (%)	Wariancja skumulowana – Cumulative variance (%)
1	62,67	62,67
2	32,56	95,23
3	4,27	99,50
4	0,50	100,00

Tabela 5. Wariancja i wariancja skumulowana dla kolejnych GS zestawu wartości średnich skalowanych m, s, w, t
Table 5. Variance and cumulated variance for subsequent PC for the set of scaled mean values of m, s, w, t

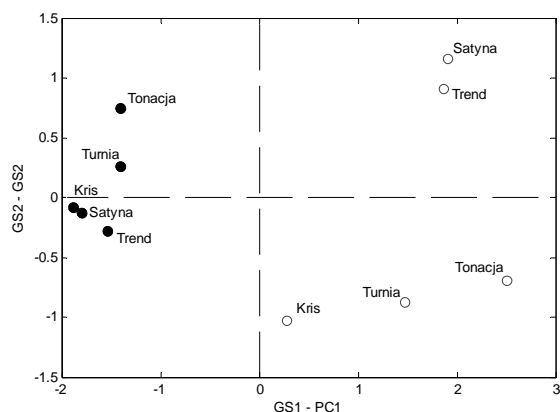
GS – PC	Wariancja – Variance (%)	Wariancja skumulowana – Cumulative variance (%)
1	79,81	79,81
2	14,51	94,32
3	5,09	99,41
4	0,59	100,00

Rysunki 1 i 2 przedstawiają mapy obiektów we współrzędnych GS1 i GS2, odpowiednio dla wybranych wartości średnich oraz wybranych wartości średnich skalowanych. Mapy obiektów (próbek ziarna) pozwalają na zilustrowanie struktury



Rys. 1. Mapa obiektów dla wartości średnich m, s, w, v, d, w przestrzeni GS1 i GS2. Symbole wypełnione odpowiadają ziarnu porażonemu, a puste – ziarnu kontrolnemu

Fig. 1. Map of objects for mean values of m, s, w, v, d in PC1 and PC2 space. Filled symbols are for scab damaged kernels and empty symbols for control kernels



Rys. 2. Mapa obiektów dla wartości skalowanych średnich m , s , w , t , w przestrzeni GS1 i GS2. Symbole wypełnione przedstawiają ziarno porażone, a puste - ziarnu kontrolnemu

Fig. 2. Map of objects for scaled mean values of m , s , w , t in PC1 and PC2 space. Filled symbols are for scab damaged kernels and empty symbols for control kernels

danych. Widać że obiekty odpowiadające ziarnu kontrolnemu i porażonemu są rozdzielone, za co odpowiada głównie GS1. Odległość w przestrzeni GS1 i GS2 dla obu klas ziarna dla średnich skalowanych i średnich są zbliżone, ale rozrzuty w ramach ziarna porażonego są znacznie większe dla średnich niż dla średnich skalowanych. Z tego powodu rozdzielenie dwu klas ziarna w przypadku zmiennych skalowanych jest lepsze.

WNIOSKI

1. Średnie wartości wymiarów geometrycznych i masy ziarniaków porażonych fuzariozą okazały się mniejsze. Średnie wartości twardości i wilgotności nie wykazywały tendencji do zmian w jednym kierunku. Wartości gęstości ziarna porażonego nie okazały się mniejsze niż dla ziarna kontrolnego, co jest sprzeczne z doniesieniami literaturowymi (Martin i in. 1998, Tkachuk i in. 1991).

2. Otrzymane wyniki pozwalają stwierdzić, że za pomocą użytych metod i na podstawie przeprowadzonych pomiarów można dokonać rozróżnienia pomiędzy ziarnem kontrolnym i porażonym, co jest zgodne z wcześniejszymi wynikami dotyczącymi tylko dwóch odmian (Kris i Turnia) (Siuda i in. 2006). Wybór optymalnego zestawu cech ziarna nie jest całkowicie jednoznaczny, średnie wartości dla (m , w , v , d , s) dają dobry zestaw zmiennych ale użycie średnich skalowanych dla pomiarów z SKCS daje wyniki lepsze.

3. Otrzymane wyniki są obiecujące, ale wskazane jest zebranie materiału doświadczalnego z jeszcze większej liczby odmian i z różnych lat.

PIŚMIENNICTWO

- Arseniuk E., Foremska E., Góral T., Chełkowski J., 1999. Fusarium head blight reactions and accumulation of deoxynivalenol (DON) and some of its derivatives in kernels of wheat, triticale and rye. *Journal of Phytopathology*, 147, 577-590.
- Boyacioglu D., Hettiarachchy N. S., 1995. Changes in some biochemical components of wheat grain that was infected with *Fusarium graminearum*. *Journal of Cereal Science*, 21, 57-62.
- Champeil A., Dore T., Fourbet J.F., 2004. Fusarium head blight: epidemiological origin of the effects of cultural practices on head blight attacks and production of mycotoxins by Fusarium in wheat grains. *Plant science*, 166, 1389-1415.
- Delwiche S. R., Hareland G. A., 2004. Detection of scab-damaged hard red spring wheats kernels by near-infrared reflectance. *Cereal Chemistry*, 81, 643-649.
- Dexter J. E., Nowicki T.W., 2003. Fusarium Head Blight in Wheat and Barley, ed. K. J. Leonard and W.L. Bushnell, The American Phytopathological Society, St. Paul Minnesota.
- Dowell F. E., Ram M. S., Seitz L. M., 1999. Predicting scab, vomitoxin, and ergosterol in single wheat kernels using near-infrared spectroscopy. *Cereal Chemistry*, 76, 573-576.
- Fang C., Campbell G. M., 2000. Effect of measurement method and moisture content on wheat kernel density measurement. *Food and Bioproducts Processing*, 78, 179-186.
- Golinski P., Kaczmarek Z., Kiecyna I., Wiśniewska H., Kaptur P., Kostecki M., Chełkowski J., 2002. Fusarium Head Blight of Common Polish Winter Wheat Cultivars – Comparison of Effects of *Fusarium avenaceum* and *Fusarium culmorum* on Yield components. *Journal of Phytopathology*, 150, 135-141.
- Johnsson D. D., Flakerud G. K., Taylor R. D., Satyanarayana V., 2003. Fusarium Head Blight in Wheat and Barley, ed. K. J. Leonard and W.L. Bushnell, The American Phytopathological Society, St. Paul Minnesota.
- Martin Ch., Herrman T. J., Loughin T., Oentong S., 1998. Micropycnometer measurement of single-kernel density of healthy, sprouted, and scab-damaged wheats. *Cereal Chemistry*, 75, 177-180.
- Siuda R., Grabowski A., Grundas S., 2006. Ocena możliwości zastosowania SKCS do wykrywania fuzariozy w ziarnie pszenicy. *Acta Agrophysica*, 8, 963-974.
- Siuda R., Rozwadowski M., 2006. Analysis of the accuracy of single-kernel density measurements made with a simple experimental set-up. *Acta Agrophysica*, 7, 477-485.
- Tkachuk R., Dexter J.E., Tipples K.H., Nowicki T.W., 1991. Removal by specific gravity table of tombstone and associated trichotecenes from wheat infected with fusarium head blight. *Cereal Chemistry*, 68, 428-431.
- Vandeginste B. G. M., Massart D. L., Buydens L. M. C., de Jong S., Lewi P. J., Smeyers-Verbeke J., 1998. *Handbook of Chemometrics and Qualimetrics: Part B*. Elsevier, Amsterdam Lausanne New York Oxford Shannon Singapore Tokyo.
- Wąsowicz E., 1991. Changes of chemical grain components, especially lipids, during their deterioration by fungi. In: *Cereal Grains, Mycotoxins, Fungi and Quality in Drying and Storage* (Eds J. Chełkowski). Elsevier, Amsterdam, 259-280.

EVALUATION OF POSSIBILITY OF APPLICATION OF MEASUREMENTS
OF PHYSICAL FEATURES OF WINTER WHEAT KERNELS
FOR SCAB DAMAGE DETECTION

Andrzej Grabowski¹, Ryszard Siuda¹, Leszek Lenc², Stanisław Grundas³

¹Institute of Mathematics and Physics, University of Technology and Life Sciences
ul. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz
e-mail: siuda@utp.edu.pl

²Department of Phytopathology, University of Technology and Life Sciences
ul. Kordeckiego 20, 85-225 Bydgoszcz

³Institute of Agrophysics, Polish Academy of Sciences, ul. Doświadczalna 4, 20-290 Lublin

Abstract. The material under study was grain from two classes of five cultivars of winter wheat. Control grain came from plots where crops grew in natural conditions, while scab damaged grain came from plots where inoculation with conidia of *Fusarium culmorum* was applied during flowering. From lots of grain of each cultivar and class, random samples of several hundreds of kernels were taken and measurements of single kernel mass, diameter, moisture, hardness, volume and density were performed with SKCS4100 and "in-house"-made air pycnometers. Mean values and standard deviations obtained for particular features and samples were analysed by linear discriminate analysis (LDA), and some results were illustrated in terms of principal components. LDA results allowed us to calculate Fisher ratios, for all possible combinations of the measured features, in order to evaluate separation between scab damaged and control grain. Several sets of features were characterized with Fisher ratios that suggested a possibility for distinguishing between damaged and control grain.

Keywords: scab, physical properties of kernels, wheat