

**ANNA FRAŚ**  
**DANUTA BOROS**

Samodzielna Pracownia Oceny Jakości Produktów Roślinnych  
Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin — PIB w Radzikowie

## Wpływ warunków środowiska na zmienność zawartości błonnika pokarmowego w ziarnie pszenicy ozimej

### **Influence of environmental conditions on the variability of dietary fibre content in winter wheat grain**

Celem badań było wykazanie wpływu genotypu i warunków środowiska, w tym lat uprawy na zmienność zawartości błonnika pokarmowego, wyliczonego metodą pośrednią z różnicy podstawowych składników ziarna. Materiał badawczy stanowiło ziarno 20 odmian i 4 linii pszenicy ozimej z Hodowli Roślin Strzelce z lat uprawy 2005–2007. W celu obliczenia zawartości błonnika pokarmowego w ziarnie oznaczono zawartość następujących składników: białka, popiołu, lipidów, skrobi oraz cukrów wolnych. Wyniki zawartości błonnika pokarmowego poddano analizie statystycznej. Wykazano, że zmienność zawartości błonnika pokarmowego w ciągu trzech lat uprawy oraz lepkość wodnych ekstraktów ziarna były zdeterminowane warunkami środowiska (45%) oraz interakcją genotypowo-środowiskową (30%). Szeroki zakres zmienności genotypowej dotyczącej błonnika pokarmowego umożliwia wskazanie odmian o dużej zawartości tego składnika i wykorzystanie ich do produkcji pieczywa pszennego, którego udział w strukturze spożycia pieczywa jest największy.

**Słowa kluczowe:** błonnik pokarmowy, genotyp, lepkość, pszenica, środowisko, zmienność

The aim of the study was to show the effect of genotype and harvest year on the content and variability of dietary fibre and its viscous properties. Material for the study comprised of 20 varieties and 4 lines of winter wheat obtained from Plant Breeding Strzelce, harvested in years 2005–2007. Dietary fibre content was estimated with an indirect method and calculated from the difference of basic grain components (protein, ash, lipids, starch, free sugars). All data were submitted to statistical analysis. The results indicated that the variability of dietary fibre content and viscosity during three harvest years was significantly affected by the environmental conditions (45%) and genotype-environment interaction (30%). A wide range of genotype diversity gives possibility to identify wheat varieties with high content of dietary fibre, which should be recommended for use in the production of wheat bakery products that are in majority among the consumed bakery products.

**Key words:** dietary fibre, genotype, viscosity, wheat, environment, variability

## WSTĘP

Pszenica, po ryżu i kukurydzy jest trzecim zbożem konsumpcyjnym na świecie. W Polsce, podobnie jak w innych krajach europejskich gatunek ten stanowi podstawowy surowiec do produkcji chleba i innych wyrobów piekarniczych oraz makaronów i kasz. Duży udział produktów pszennych we współczesnej diecie powoduje, że przetwory z tego zboża stanowią podstawowe źródło energii, pokrywają około 50% dziennego zapotrzebowania na węglowodany oraz 30% na białko, a także są bardzo ważnym źródłem witamin z grupy B (Boros, 2011). Pszenica jest również cennym źródłem substancji bioaktywnych o charakterze prozdrowotnym, z których najważniejszym jest błonnik pokarmowy. Korzystne działanie błonnika pokarmowego wiąże się w największym stopniu z jego wpływem na gospodarkę lipidową organizmu, metabolizm węglowodanów oraz regulację czynności całego przewodu pokarmowego (Kendall i in., 2010). Dieta bogata w błonnik zmniejsza ryzyko wystąpienia wielu chorób przewlekłych, takich jak miażdżycy, choroba niedokrwienna serca, cukrzyca czy otyłość. Zapobiega także powstawaniu chorób nowotworowych, a także opóźnia procesy starzenia (Van der Kamp i in., 2010; Saura-Calixto, 2011). Spożycie błonnika pokarmowego przez społeczeństwo zarówno w Polsce jak i w krajach Unii Europejskiej jest wciąż poniżej zalecanych norm. Dlatego w produkcji zbóż, zwłaszcza na cele konsumpcyjne istotne jest zwrócenie uwagi na odmiany charakteryzujące się dużą zawartością błonnika, jak również innych cennych składników bioaktywnych w ziarnie. Dla hodowców i producentów zbóż ważne są parametry jakościowe ziarna, które są silnie zależne od genotypu. Dodatkowo istotna jest również wiedza, jak poszczególne odmiany reagują pod względem wybranych parametrów na zmienne warunki środowiska. Prowadzone dotychczas badania dotyczyły w dużym stopniu określenia ilości podstawowych składników odżywczych w ziarnie oraz wybranych składników błonnika pokarmowego. Istnieje jednak potrzeba pozyskiwania odmian o dużej zawartości związków bioaktywnych, dlatego wiedza dotycząca ich zmienności w różnych warunkach środowiska może być bardzo przydatna.

Celem badań było określenie wpływu warunków środowiska, w tym lat uprawy na zmienność zawartości błonnika pokarmowego w ziarnie pszenicy ozimej, wyliczonego metodą pośrednią z różnicy podstawowych składników ziarna.

## MATERIAŁ I METODY

Materiał badawczy stanowiły trzy zestawy ziarna pszenicy ozimej pochodzące z kolekcji roboczej Hodowli Roślin Strzelce. W skład materiału wchodziło 20 odmian i 4 linie hodowlane pszenicy ozimej, uprawiane w trzech kolejnych sezonach wegetacyjnych 2005–2007, przy czym w roku 2007 materiał stanowiło 20 odmian i 3 linie hodowlane. Charakterystykę miejsca uprawy oraz średni poziom opadów przedstawiono w tabeli 1 i na rysunku 1. Przed wykonaniem analiz chemicznych ziarno pszenicy zmielono w młynie laboratoryjnym Cyclotec firmy Tecator, i odsiano na sitach o średnicy 0,5 mm. Następnie w badanym materiale wyliczono zawartość błonnika pokarmowego (EDF) oraz oznaczono lepkość wodnych ekstraktów ziarna (WEV). Błonnik pokarmowy został

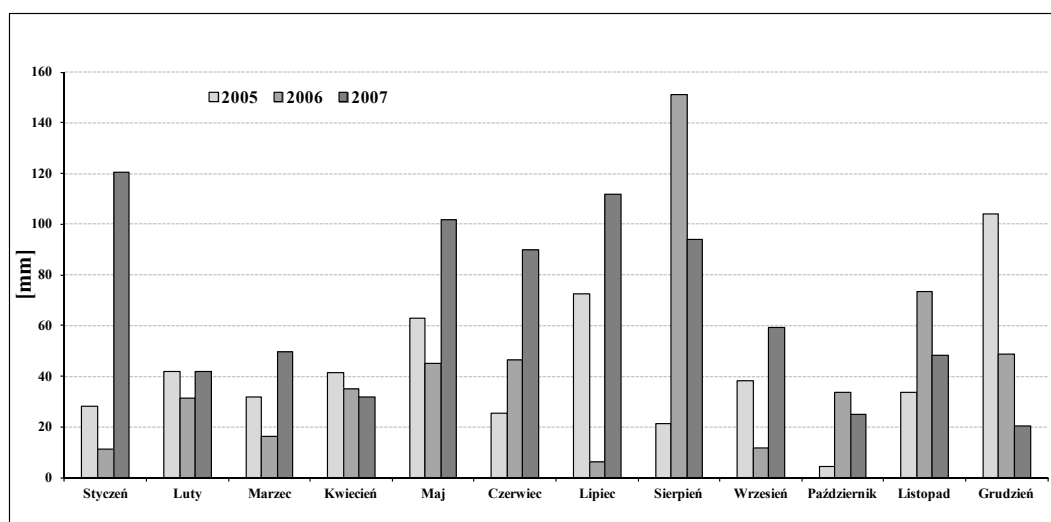
oszacowany z zastosowaniem metody pośredniej i obliczony z różnicy zawartości podstawowych składników ziarna: białka, popiołu, lipidów, skrobi oraz cukrów wolnych, według wzoru: EDF [%] = 100% — [białko + popiół + lipidy + skrobia + cukry wolne] (Boros i Aman, 2009). Wyniki wyrażono w przeliczeniu na suchą masę, oznaczoną zgodnie z metodą AACC 44-15A (AACC, 2003). Zawartość białka oznaczono metodą Kjeldahla, przy użyciu aparatu Kjeltex Auto 1030 Analizer (Foss Tecator), zgodnie z metodą standardową ICC 105/2 (ICC Standards, 2005). Sumę składników mineralnych oznaczono grawimetrycznie, na podstawie zawartości popiołu według standardowej procedury AACC 08-01 (2003), natomiast ilość lipidów analizowano metodą grawimetryczną według Marchello i in. (1971). Skrobia przyswajalna została oznaczona metodą kolorymetryczną, przy użyciu zestawu K-TSTA (Megazyme), zgodnie ze standardową procedurą AACC 76-13 (2003). Zawartość cukrów wolnych analizowano metodą chromatografii gazowej według Bach Knudsen i Li (1991) jako sumę mono i disacharydów: fruktozy, glukozy, sacharozy i maltozy. Lepkość wodnych ekstraktów ziarna zmierzono przy użyciu lepkościomierza Brookefield (model LVDV-II+ Cone/Plate Digital) w temperaturze 30°C, przy prędkości ścinania 225s zmodyfikowaną metodą Boros i in. (1993) oraz Saulnier i in. (1995). Wszystkie analizy wykonano przynajmniej w dwóch powtórzeniach, błąd każdej z nich nie przekraczał 3%. Przedstawione wyniki są wartościami średnimi z trzech lat uprawy. Uzyskane wyniki poddano następującym analizom statystycznym: analiza współczynników korelacji Pearsona, analiza funkcji regresji liniowej, jedno i wielocechową analizę wariancji wraz z wyznaczeniem grup jednorodnych procedurą porównań wielokrotnych Tukeya, ocena komponentów wariancyjnych metodą największej wiarygodności z restrykcją (REML) w modelach liniowych. Analizy statystyczne wykonano przy użyciu Systemu SAS w wersji 9.2 (SAS Institute Inc., 2009).

Tabela 1

**Charakterystyka miejsca uprawy odmian dla lat 2005–2007**  
**Characterization of field trial location for years 2005–2007**

Sezon Season	2004–2005	2005–2006	2006–2007
Rodzaj gleby Soil type	brunatna właściwa typical brown soil	brunatna właściwa typical brown soil	brunatna właściwa typical brown soil
Klasa gleby Soil class	III A	III A	II
pH gleby Soil pH	—	6,3–6,6	6,2–6,5
Przedplon Forecrop	owies oat	rzepak ozimy winter rapeseed	owies oat
Termin siewu Sowing date	01.10.2004	27.09.2005	03.10.2006
Termin zbioru Harvest date	01.08.2005	08.08.2006	23.07.2007

— Brak danych — No data



Rys. 1. Poziom opadów oznaczony w stacji meteorologicznej HR Strzelce dla lat 2005–2007  
 Fig. 1. Level of rainfall from meteorological station of HR Strzelce in years 2005–2007

#### WYNIKI

Analiza zawartości makroskładników takich jak białko, skrobia, lipidy czy popiół jest często stosowaną procedurą w charakterystyce wartości technologicznej ziarna pszenicy zwyczajnej. W niniejszej pracy zawartości podstawowych składników odżywczych: białka, popiołu, lipidów, skrobi przyswajalnej i cukrów wolnych wykorzystano do oznaczenia błonnika pokarmowego metodą pośrednią. Średnia zawartość białka w ziarnie badanych odmian i linii wynosiła 15,6%. Zawartości tego składnika w ziarnie mieściły się w zakresie od 14,3 do 17,2%. Średnia zawartość popiołu wynosiła 1,8%, a lipidów 2,7%. Ilość skrobi w badanym materiale mieściła się w zakresie od 60,3 do 65,1%, a średnia zawartość cukrów wolnych wynosiła 1,3%. Największe zróżnicowanie wśród odmian uprawianych w Strzelcach stwierdzono w zawartości cukrów wolnych (CV = 12,0%) oraz lipidów (CV = 9,0%), natomiast najmniejsza zmienność dotyczyła zawartości skrobi (CV = 2,0%), popiołu (CV = 4,0%) oraz białka (CV = 5,0%) (tab. 2).

Analizę zmienności genotypowo-środowiskowej odmian pszenicy zwyczajnej uprawianej w latach 2005–2007 przeprowadzono odnośnie dwóch parametrów: błonnika pokarmowego oraz powiązanej z nim lepkości wodnych ekstraktów z ziarna. Średnia zawartość błonnika pokarmowego z trzech lat badań (2005–2007) była istotnie skorelowana z lepkością, a wartość współczynnika korelacji wynosiła  $r = 0,47^*$  ( $P \leq 0,05$ ). Z przeprowadzonej analizy wariancji wynika, że w latach 2005–2007 wystąpiły istotne różnice zarówno pomiędzy odmianami jak i latami badań pod względem zawartości błonnika pokarmowego oraz lepkości wodnych ekstraktów z ziarna. Dodatkowo odnośnie

lepkości stwierdzono występowanie istotnych interakcji pomiędzy odmianą a rokiem badań (tab. 3).

Tabela 2

**Średnia zawartość oraz współczynniki zmienności (CV) składników odżywczych, błonnika pokarmowego (EDF) oraz lepkości wodnych ekstraktów (WEV) ziarna pszenicy ozimej uprawianej w latach 2005–2007**

**The average nutrients, dietary fibre content (EDF) and viscosity of water extracts (WEV) and coefficients of variation (CV) in winter wheat grain harvested in 2005–2007**

Składnik Component	Wartość średnia Average value	Minimum Minimum	Maksimum Maximum	CV [%]
Białko — Protein [%]	15,6	14,3	17,2	5,3
Popiół — Ash [%]	1,8	1,7	1,9	4,0
Lipidy — Lipids [%]	2,7	2,2	3,1	9,2
Skrobia — Starch [%]	63,0	60,3	65,1	2,2
Cukry wolne — Free sugars [%]	1,3	1,1	1,7	11,8
EDF [%]	15,7	13,6	18,0	7,2
WEV [mPa.s]	2,3	1,6	4,1	23,8

Tabela 3

**Analiza wariancji dotycząca zawartości błonnika pokarmowego (EDF) oraz lepkości (WEV) w ziarnie pszenicy ozimej uprawianej w latach 2005–2007**

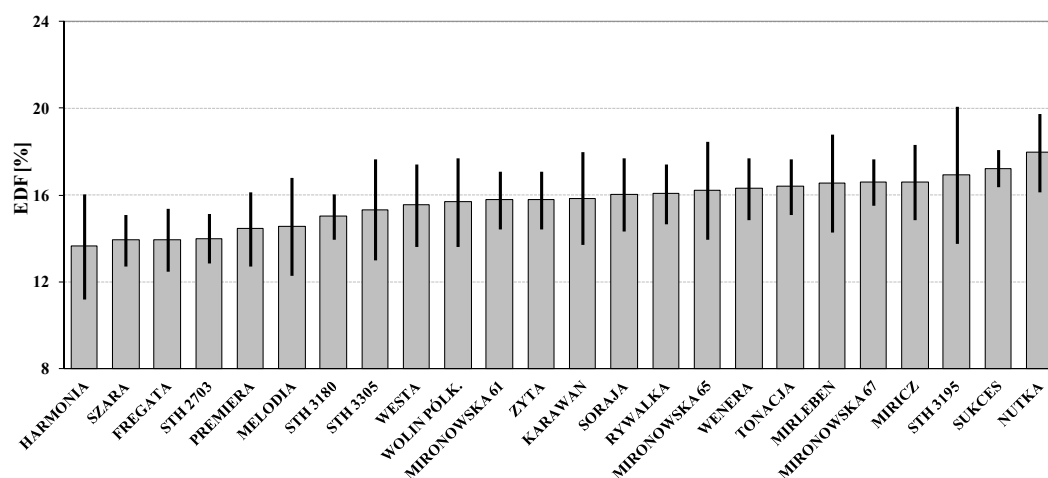
**Analysis of variance for dietary fibre (EDF) content and viscosity (WEV) in winter wheat grain harvested in 2005–2007**

Składnik Component	Odmiana Variety		Rok uprawy Harvest year		Interakcja G × E G × E interaction	
	MS <sup>1</sup>	statystyka F F statistic	MS <sup>1</sup>	statystyka F F statistic	MS <sup>1</sup>	statystyka F F statistic
EDF	3,721	2,81**	43,34	32,69**	NA <sup>2</sup>	NA <sup>2</sup>
WEV	2,090	3346**	20,92	33509**	0,591	946,5**

<sup>1</sup>MS-średnia kwadratów; \*\*dla P<0,01; \*dla P<0,05; <sup>2</sup>NA-nie oznaczany (jedno powtórzenie)

<sup>1</sup>MS-mean square; \*\*for P<0.01; \*for P<0.05; <sup>2</sup>NA-not analyzed (one repetition)

W ciągu trzech lat badań średnia zawartość błonnika pokarmowego wynosiła 15,7%, a wartość współczynnika zmienności 7,2% (tab. 2). W okresie prowadzonych badań pomiędzy odmianami występowały różnice w zawartości błonnika pokarmowego. Spośród badanych odmian największą zawartością tego składnika, charakteryzowała się odmiana Nutka (18,0%). Najmniejszą zawartość błonnika pokarmowego wykazały odmiany: Harmonia (13,6%), Szara (13,9%) i Fregata (13,9%) oraz linia STH 2703 (14%). Pozostałe odmiany zawierały od 14 do 17,9% tego składnika. Największą zmienność zawartości błonnika pokarmowego dotyczącą lat badań 2005–2007, wykazało 6 genotypów: linia STH 3195 (CV = 19,0%) oraz odmiany Harmonia (CV = 18,0%), Melodia (CV = 16,0%), Mironowska 65 (CV = 14,0%), Mirleben (CV = 14,0%) i linia STH 3305 (CV = 15,0%). Najślabszy stopień zróżnicowania wykazały cztery genotypy: Sukces (CV = 5,0%), Mironowska 67 (CV = 7,0%), STH 3180 (CV = 7,0%) oraz STH 2703 (CV = 8,0%) (rys. 2).



Rys. 2. Wartości średnie i odchylenia standardowe zawartości błonnika pokarmowego (EDF) w ziarnie pszenicy ozimej uprawianej w latach 2005-2007 (pionowymi liniami zaznaczono odchylenie standardowe w latach)

Fig. 2. The average values and standard deviations of dietary fibre content (EDF) in winter wheat grain harvested in 2005-2007 (standard deviation between years is marked within vertical lines)

Wartości współczynników zmienności genotypowej dotyczącej zawartości błonnika w kolejnych latach uprawy wynosiły odpowiednio: 2005 — 11,4%, 2006 — 8,1%, 2007 — 8,4%. Biorąc pod uwagę każdy rok badań zaobserwowano, że zawartość błonnika pokarmowego w 2005 roku mieściła się w zakresie od 12,2% u odmiany Melodia do 18,5% u odmiany Nutka; w 2006 roku od 13,4% u odmiany Fregata do 19,4% u odmiany Nutka; w 2007 roku od 11,8% u odmiany Harmonia do 16,7% u odmian Soraja i Rywalka. Średnia zawartość błonnika pokarmowego w poszczególnych latach była różna. Najwyższy jego poziom był w 2006 roku (17,2%) i istotnie różnił się w porównaniu z latami 2005 i 2007, w których wynosił odpowiednio 14,8% i 15,0% (tab. 4).

Tabela 4

Średnia zawartość błonnika pokarmowego (EDF), lepkości wodnych ekstraktów ziarna (WEV) oraz udział genotypu (G), lat uprawy (E) oraz interakcji  $G \times E$  w zmienności tych parametrów w ziarnie pszenicy ozimej uprawianej w latach 2005–2007

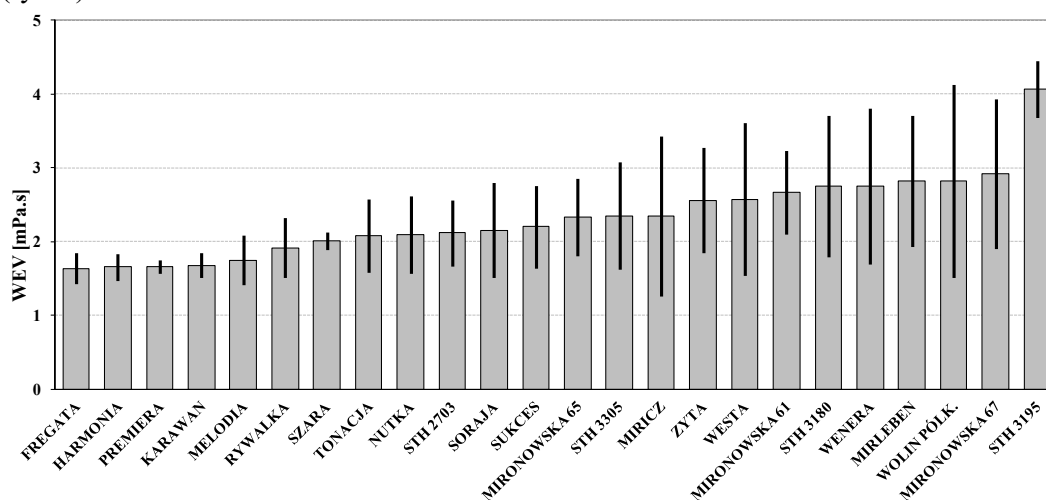
The average content of dietary fibre (EDF), viscosity of water extracts (WEV) and contribution of genotype (G), harvest year (E) and  $G \times E$  interaction in variability of these parameters in winter wheat grain harvested in 2005–2007

Parametr — Parameter	Rok uprawy Harvest year			Udział procentowy Percentage of contribution		
	2005	2006	2007	G	E	$G \times E$
EDF [%]	14,8b	17,2a	15,0b	20,7	45,4	33,9
WEV [mPa.s]	2,4b	2,8a	1,7c	26,0	44,8	29,3

Wartości w kolumnach z różnymi literami są istotnie różne przy  $p < 0,05$

Values within a given column not followed by the same letter are significantly different at  $P < 0.05$

Lepkość wodnych ekstraktów z ziarna wynosiła średnio w latach 2005–2007 2,3 mPa.s i była cechą silnie różnicującą badane genotypy, a wartość współczynnika zmienności wynosiła 24,0% (tab. 2). Najniższą wartością lepkości charakteryzowały się odmiany Fregata (1,6 mPa.s), Harmonia (1,7 mPa.s), Premiera (1,7 mPa.s) i Karawan (1,7 mPa.s), natomiast najwyższą — linia STH 3195 (4,1 mPa.s). Najmniejsze zróżnicowanie odmianowe w latach wyrażone wartościami liczbowymi współczynników zmienności wykazano u odmian Premiera (CV = 6,0%), Szara (CV = 6,0%), Karawan (CV = 6,0%) oraz Harmonia (CV = 11,0%), natomiast największe zróżnicowanie w obrębie odmian wykazano dla pięciu genotypów: Wolińska Półkarłowa (CV = 46,0%), Miricz (CV = 46,0%), Westa (CV = 40,0%), Wenera (CV = 39,0%) oraz Mironowska 67 (CV = 35,0%) (rys. 3).



**Rys. 3.** Wartości średnie i odchylenia standardowe dotyczące lepkości wodnych ekstraktów (WEV) ziarna pszenicy ozimej uprawianej w latach 2005-2007 (pionowymi liniami zaznaczono odchylenie standardowe w latach)

**Fig. 3.** The average values and standard deviations for viscosity of water extracts (WEV) of winter wheat grain harvested in 2005-2007 (standard deviation between years is marked within vertical lines)

Najwyższą wartość współczynnika zmienności dotyczącej lepkości ekstraktu ziarna, wynoszącą aż 30,0% uzyskano w materiale z uprawy w 2006 roku; niższą wartość, 25,0% — z 2005 roku, a najniższą — 13,0% uzyskano oceniając odmiany z roku uprawy 2007. W poszczególnych latach uprawy odmiany istotnie różniły się między sobą pod względem lepkości wodnych ekstraktów z ziarna. W roku uprawy 2005 najniższą lepkością odznaczała się odmiana Karawan (1,6 mPa.s), a najwyższą linia STH 3195 (3,8 mPa.s); w 2006 roku zakres zmienności wynosił od 1,7 mPa.s u odmian Fregata i Premiera do 4,3 mPa.s w linii STH 3195. Odmiany z roku uprawy 2007 charakteryzowały się najniższą lepkością, a wartości skrajne wynosiły od 1,4 mPa.s u odmiany Miricz do 2,2 mPa.s u odmiany Mironowska 67. Spośród badanych genotypów statystycznie najwyższą lepkość wodnych ekstraktów ziarna w okresie badań stwierdzono w linii STH 3195. Pomiędzy

latami uprawy występowały istotne różnice w średniej wartości lepkości. Odmiany z 2006 roku charakteryzowały się największą wartością tego parametru (2,8 mPa.s), natomiast odmiany z uprawy w 2005 i 2007 roku wykazały istotnie niższe wartości, wynoszące odpowiednio 2,4 mPa.s oraz 1,7 mPa.s (tab. 4).

Dla wszystkich badanych odmian w latach 2005–2007 najwyższe średnie zawartości błonnika pokarmowego oraz lepkości stwierdzono dla materiału badawczego pochodzącego z uprawy w 2006 roku. Wartości te były istotnie wyższe niż uzyskane w latach 2005 i 2007 (tab. 4). Odnosnie powyższych parametrów przeprowadzono ocenę komponentów wariacyjnych, określając udział genotypu, środowiska oraz interakcji  $G \times E$  w ogólnej zmienności i stwierdzono, że zmienność badanych parametrów w największym stopniu uzależniona była od roku uprawy (powyżej 40%) w następnej kolejności, cechy te zależne były od interakcji pomiędzy genotypem a środowiskiem (około 30%), a w najmniejszym stopniu od genotypu (tab. 4).

#### DYSKUSJA

Wszystkie analizowane parametry jakościowe istotnie różnicowały badane genotypy pszenicy zwyczajnej. Zawartość składników odżywczych w ziarnie jest w dużym stopniu uwarunkowana genetycznie, zatem pomiędzy poszczególnymi odmianami mogą występować znaczne różnice w odniesieniu do tych parametrów. Uzyskane wyniki dotyczące zawartości podstawowych składników odżywczych (tab. 2) są typowe dla ziarna pszenicy zwyczajnej i nie odbiegają od danych literaturowych. Zawartość białka w pszenicy w zakresie od 9,6 do 15% podają Gut i Bichoński (2007), a także Hristov i in. (2010), natomiast Myszką i in. (2011) podają średnią zawartość na poziomie 10,5%. Chen i in. (2009) badali zawartość popiołu i wykazali jego ilość w zakresie od 1,32 do 1,62%. Zawartość lipidów w badanym materiale również jest zgodna z danymi literaturowymi. Gąsiorowski i in. (2004) podają, że średnia zawartość tłuszczu w ziarnie pszenicy wynosi od 2 do 3%, natomiast Barteczko i in. (2009) uzyskali mniejsze zawartości tego składnika w przedziale od 0,9 do 2,3%. W odniesieniu do zawartości skrobi Gąsiorowski i in. (2004) oraz Aman i Hesselman (1984) otrzymali wartości na poziomie odpowiednio 59% i 69%. Aman i Hesselman (1984) analizowali również zawartość cukrów wolnych w ziarnie pszenicy, a podane przez nich wartości mieściły się w zakresie od 2,3% do 2,7%.

Zastosowana pośrednia metoda obliczania błonnika pokarmowego z założenia obejmuje wszystkie składniki, które z chemicznego punktu widzenia są komponentami błonnika pokarmowego. Ponadto szacowana tą metodą zawartość błonnika jest dodatkowo powiększona o grupy związków, które nie są jego składnikami, a także nie są składnikami odżywczymi ziarna. Zaliczyć tu można na przykład kwasy fenolowe, alkilorezorcynole czy witaminy. Według Jones (2010) i Fardet (2010) są to składniki współtowarzyszące błonnikowi pokarmowemu (tzw. dietary fibre co-passengers lub co-travellers). Nietrawione w jelicie cienkim wzmacniają korzyści prozdrowotne błonnika pokarmowego i stanowią istotną część kompleksu błonnika pokarmowego. W związku z tym otrzymana w badaniach średnia zawartość błonnika pokarmowego (15,7%) była większa niż podawana w literaturze. Dane literaturowe dotyczą ilości błonnika oznaczanego



bezpośrednimi metodami standardowymi. Theander i Westerlund (1986) oznaczając zawartość błonnika pokarmowego w ziarnie pszenicy otrzymali średnią jego zawartość na poziomie 12,4%, natomiast Nyman i in. (1984) na poziomie 12,1%. W analizowanych odmianach pszenicy, uprawianych w latach 2005–2007 wykazano, że na zawartość błonnika istotny wpływ miały zarówno genotyp jak i środowisko (tab. 3). Większość analizowanych odmian należała do tej samej grupy jednorodnej, co świadczy o istotnym wpływie środowiska na ilość błonnika w ziarnie. Istotne różnice pomiędzy latami uprawy związane były z warunkami pogodowymi w miejscu uprawy. W 2006 roku zawartość błonnika była istotnie większa niż w pozostałych latach. Średnie opady atmosferyczne w okresie od maja do lipca w omawianym roku były najniższe, w porównaniu z latami 2005 i 2007. Niski poziom opadów może wskazywać na suszę i w związku z tym zakłócenia w prawidłowym rozwoju ziarniaka, co może skutkować małymi ziarniakami z dużym udziałem okrywy owocowo-nasiennej, a w efekcie dużą zawartością błonnika pokarmowego. Potwierdzeniem powyższych zależności są wyniki analizy komponentów wariacyjnych, z której wynika, że zmienność zawartości błonnika pokarmowego w ziarnie uprawianym w HR Strzelce w ciągu trzech lat uprawy była zależna przede wszystkim od warunków środowiska (45,4%). Interakcja genotypowo-środowiskowa oraz genotyp również miały istotny wpływ na zmienność tej cechy, jednak już nie tak duży jak środowisko. W literaturze dostępnych jest wiele danych dotyczących zmienności zawartości błonnika pokarmowego pod wpływem zmiennych warunków środowiska, jednak większość z nich dotyczy zawartości i właściwości poszczególnych frakcji błonnika. Kim i in. (2003) analizując wpływ opadów, regionu uprawy oraz lat uprawy na zmienność składu chemicznego ziarna pszenicy uzyskali negatywną korelację pomiędzy rocznymi opadami a zawartością kwaśnego włókna detergentowego ( $r = -0,687$ ,  $P < 0,01$ ), natomiast Choct i in. (1999) analizowali zawartość całkowitej frakcji nieskrobiowych polisacharydów (NSP), stanowiącej główną część błonnika i wykazali, że była ona istotnie zależna od roku uprawy. Coles i in. (1997) zaobserwowali zależność, w której poziom całkowity arabinoksylianów, stanowiących istotną część NSP malał wraz ze wzrostem ilości opadów. Boskov Hansen i in. (2003) przeprowadzili ocenę wpływu lat uprawy na skład i zawartość błonnika pokarmowego w ziarnie żyta. Uzyskane przez nich wyniki wykazały większy wpływ lat uprawy (27–55% całkowitej zmienności) niż genotypu na zawartość całkowitej ilości błonnika, jego części nierozpuszczalnej oraz całkowitej i nierozpuszczalnej frakcji arabinoksylianów. Na podstawie danych literaturowych dotyczących zmienności genotypowo-środowiskowej błonnika pokarmowego można stwierdzić, że ze względu na heterogenny charakter tego związku efekt końcowy zmienności będzie w istotnym stopniu zależny od zmienności poszczególnych jego komponentów.

Lepkość wodnych ekstraktów ziarna jest bardzo ważnym parametrem fizykochemicznym związanym z błonikiem pokarmowym. Ponieważ lepkość bezpośrednio powiązana jest z zawartością frakcji rozpuszczalnej błonnika, a w szczególności rozpuszczalnych arabinoksylianów, więc prawdopodobną przyczyną wysokiego zróżnicowania tego parametru pomiędzy odmianami może być zmienna zawartość tych związków, a także różnice w ich budowie strukturalnej. Wyniki dotyczące lepkości oraz zakres

zmienności tej cechy uzyskane w niniejszej pracy są zbliżone do danych literaturowych. Saulnier i in. (1995) analizując lepkość ziarna pszenicy oznaczoną w podobny sposób jak w niniejszej pracy uzyskali wartości tego parametru w zakresie od 1,24 do 2,28 mPa.s. Z naszych badań wynika, że lepkość ekstraktów wodnych była istotnie skorelowana z zawartością błonnika pokarmowego. Korelacje te potwierdzają ważny wpływ lepkości na funkcjonalne właściwości błonnika pokarmowego. Lepkość wodnych ekstraktów ziarna w każdym badanym roku była parametrem o najwyższej wartości współczynnika zmienności genotypowej. Wykazano, że w ciągu trzech lat uprawy poziom lepkości był zależny zarówno od genotypu jak i od roku uprawy (tab. 3). Zatem wśród badanych odmian występowały genotypy nie reagujące na zmienne warunki środowiska oraz takie, których lepkość ulegała zmianie pod wpływem warunków atmosferycznych. Ponadto, wykazano interakcję ( $G \times E$ ) pomiędzy odmianami i latami uprawy, co oznacza, że wśród badanych odmian występowała przynajmniej jedna, która reagowała inaczej od pozostałych na zmieniające się warunki środowiska. Zróżnicowanie pod względem lepkości w obrębie poszczególnych genotypów, w ciągu trzech lat uprawy było bardzo wysokie (rys. 3), co świadczy, że większa liczba badanych odmian była wrażliwa na warunki atmosferyczne. Z drugiej strony, widoczny jest też wpływ genotypu na poziom lepkości, czego przykładem może być linia STH 3195, która niezależnie od roku uprawy charakteryzowała się najwyższą wartością tego parametru. Lepkość wodnych ekstraktów ziarna była zależna w dużym stopniu od ilości opadów atmosferycznych w okresie dojrzewania ziarna. Największą ilość opadów, a tym samym najniższą lepkość zanotowano w 2007 roku, natomiast najmniej deszczu, w okresie od kłoszenia do zbioru, wystąpiło w 2006 roku, co jednocześnie wpłynęło na uzyskanie najwyższego wyniku lepkości wodnych ekstraktów ziarna (tab. 4). Po przeprowadzeniu oceny komponentów wariacyjnych stwierdzono, że parametr ten zdeterminowany był głównie warunkami środowiska (44,8%), co może tłumaczyć dość duże zróżnicowanie między odmianami. Udział genotypu (26%) oraz interakcji pomiędzy genotypem a latami uprawy (33,9%) był również istotny, co potwierdza występowanie odmian, które są bardziej stałe pod względem lepkości wodnych ekstraktów ziarna w zmiennych warunkach środowiska (tab. 4). Wielu autorów badało wpływ środowiska na lepkie właściwości ziarna, jednak w większości przypadków zwracano uwagę na zmienność rozpuszczalnych frakcji NSP, w szczególności rozpuszczalnych arabinoksylianów (S-AX), powiązanych bezpośrednio z lepkością ziarna. Dornez i in. (2008) badając wpływ lat uprawy na zawartość frakcji S-AX wykazali, że poziom tych związków w 57% uwarunkowany był przez genotyp, natomiast w 37% przez warunki środowiska. Ponadto autorzy otrzymali najwyższy poziom frakcji S-AX w roku badawczym, w którym ilość opadów atmosferycznych była największa. Również Finnie i in. (2006) oceniali wpływ lat uprawy na poziom S-AX w ziarnie pszenicy, a Gebruers i in. (2010) w mące pszennej i frakcji otrąb i podobnie jak wielu innych badaczy otrzymali silną zależność pomiędzy genotypem a zawartością rozpuszczalnych arabinoksylianów.

## PODSUMOWANIE

1. Szeroki zakres zmienności genotypowej błonnika pokarmowego umożliwia wskazanie odmian o wysokiej zawartości tego składnika, które powinny być w większym stopniu wykorzystane do produkcji pieczywa pszennego stanowiącego największy udział w strukturze spożycia pieczywa ogółem.
2. Zmienność zawartości błonnika jak również lepkość wodnych ekstraktów z ziarna pszenicy ozimej zdeterminowana była przede wszystkim wpływem warunków środowiska oraz interakcją genotypowo-środowiskową.
3. Na podstawie analizy zmienności odmianowej dotyczącej zawartości błonnika pokarmowego wraz z jego lepkiymi właściwościami nie można jednoznacznie stwierdzić w jakim stopniu i które czynniki środowiskowe w badanym roku uprawy warunkują zmienność wyżej wymienionych parametrów oznaczonych w ziarnie pszenicy.

## LITERATURA

- Aman P., Hesselman K. 1984. Analysis of starch and other main constituents of cereal grains. *Swedish J. Agric. Res.* 14: 135 — 139.
- Approved Methods of the AACC. 2003. AACC Method 44-15A, 08-01, 76-13, American Association of Cereal Chemists Inc., St. Paul, Minnesota, USA.
- Bach Knudsen K.E., Li B. W. 1991. Determination of oligosaccharides in protein — rich feedstuffs by gas — liquid chromatography and high — performance liquid chromatography. *J. Agric. Food Chem.* 39: 689 — 694.
- Barteczko J., Augustyn R., Lasek O., Smulikowska S. 2009. Chemical composition and nutritional value of different wheat cultivars for broiler chickens. *J. Animal Feed Sci.* 18: 124 — 131.
- Boros D., Marquardt R. R., Słominski B. A., Guenter W. 1993. Extract viscosity as an indirect assay for water — soluble pentosan content in rye. *Cereal Chem.* 70: 575 — 580.
- Boros D., Aman P. 2009. Total dietary fibre. In: *Analysis of bioactive components in small grain cereals* (ed. Shewry P. R., Ward J. L.), AACC International, Inc., USA: 167 — 176.
- Boros D. 2011. Zawartość składników odżywczych i bioaktywnych w ziarnie odmian pszenicy zwyczajnej. *Agro Serwis: Zboża — wszechstronne wykorzystanie. Poradnik dla producentów*, wyd. 5: 57 — 66.
- Boskov Hansen H., Rasmussen C. V., Bach Knudsen K. E., Hansen A. 2003. Effect of genotype and harvest year on content and composition of dietary fibre in rye (*Secale cereale* L.) grain. *J. Sci. Food Agric.* 83: 76 — 85.
- Chen Y., Dunford N. T., Edwards J., Carver B., Goad C. 2009. Genotype and environment affect phytosterol content and composition of wheat. *Cereal Chem.* 86 (1): 96 — 99.
- Choct M., Hughes R. J., Annison G. 1999. Apparent metabolisable energy and chemical composition of Australian wheat in relation to environmental factors. *Australian Journal of Agricultural Research*, 50: 447 — 451.
- Coles G. D., Hartunian-Sowa S. M., Jamieson P. D., Hay A. J., Atwell W. A., Fulcher R. G. 1997. Environmentally-induced variation in starch and non-starch polysaccharide content in wheat. *J. Cereal Sci.*, 26, 47—54
- Dornez E., Gebruers K., Joye I. J., Ketelare B., Lenartz J., Massaux C., Bodson B., Delcour J. A., Courtin C.M. 2008. Effects of genotype, harvest year and genotype-by-harvest year interactions on arabinoxylans, endoxylanase activity and endoxylanase inhibitor levels in wheat kernels. *J. Cereal Sci.* 47: 180 — 189.
- Fardet A. 2010. New hypotheses for the health-protective mechanisms of whole-grain cereals: What is beyond fibre? *Nutr. Res. Rev.* 23: 65 — 134.

- Finnie S. M., Bettge A. D., Morris C. F. 2006. Influence of cultivar on water-soluble and water-insoluble arabinoxylans in soft wheat. *Cereal Chem.* 83 (6): 617 — 623.
- Gąsiorowski H., Kączkowski J., Kędzior Z., Konopka I., Rotkiewicz D. 2004. Skład chemiczny ziarna pszenicy. W: *Pszenica chemia i technologia* (red. Gąsiorowski H.). PWR i L. Poznań: 151 — 233.
- Gebruers K., Dornez E., Bedo Z., Rakszegi M., Fraś A., Boros D., Courtin C.M., Delcour J. A. 2010. Environment and genotype effects on the content of dietary fibre and its components in wheat in the Healthgrain diversity screen. *J. Agric. Food Chem.* 58 (17): 9353 — 9361.
- Gut M., Bichoński A. 2007. Technological quality and yield's components of winter wheat lines under Polish climatic conditions. *Cereal Res. Commun.* 35 (1): 151 — 161.
- Hristov N., Mladenov N., Djuric V., Kondic-Spica A., Marjanovic-Jeromela A., Simic D. 2010. Genotype by environment interactions in wheat quality breeding programs in southeast Europe. *Euphytica* 174: 315 — 324.
- ICC — Standards. 2005. *Standard Methods of the International Association for Cereal Science and Technology*. Vienna. ICC — Standard No. 105/2; No. 168.
- Jones J. M. 2010. Dietary fibre's co-passengers: is it the fibre or the co-passengers? Part 5. In: *Dietary fibre: New frontiers for food and health*. (ed. J. W. van der Kamp, J. M. Jones, B. V. McCleary and D. L. Topping), Wageningen Academic Publishers: 365 — 378.
- Kendall C. W., Esfahani A., Jenkins D. D. J. 2010. The link between dietary fibre and human health. *Food Hydrocolloid.* 24: 42 — 48.
- Kim J. C., Multan B. P., Simmins P. H., Pluske J. R. 2003. Variation in the chemical composition of wheats grown in Western Australia as influenced by variety, growing region, season, and post-harvest storage. *Austr. J. Agric. Res.*, 54: 541 — 550.
- Marchello J. A., Dryden F. D., Hale W. H. 1971. Bovine serum lipids. I. The influence of added animal fat on the ration. *J. Anim. Sci.* 32: 1008 — 1015.
- Myszka K., Kamińska B., Fraś A., Ploch M., Boros D. 2011. Metoda Dumasa alternatywną metodą oznaczania białka w produktach roślinnych – badania porównawcze z metoda Kjeldahla. *Biul. IHAR* 260/261: 155 — 161.
- Nyman M., Siljestrom M., Pedersen B., Bach Knudsen K. E., Asp N. G., Johansson C. G. 1984. Dietary fiber content and composition in six cereals at different extraction rates. *Cereal Chem.* 61 (1): 14 — 19.
- SAS Institute Inc. 2009. *BASE SAS 9.2 Procedures Guide*. SAS Publishing, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.
- Saulnier L., Peneau N., Thibault J. F. 1995. Variability in grain extract viscosity and water-soluble arabinoxylans content in wheat. *J. Cereal Sci.*, 22: 259 — 264.
- Saura-Calixto F. 2011. Dietary fibre as a carrier of dietary antioxidants: an essential physiological function. *J. Agric. Food Chem.*, 59: 43 — 49.
- Theander O., Westerlund E. A. 1986. Studies on dietary fiber. 3. Improved procedures for analysis of dietary fiber. *J. Agric. Food Chem.*, Vol. 34, No. 2: 330 — 336.
- van der Kamp W. J., Jones J., McCleary B., Topping D. 2010. *Dietary Fibre: new frontiers for food and health*. Wageningen Academic Publishers; Wageningen, the Netherlands: 1 — 586.

#### PODZIĘKOWANIA

*Dr inż. Dariuszowi R. Mańkowskiemu z Pracowni Ekonomiki Nasiennictwa i Hodowli Roślin, ZNIN IHAR — PIB za pomoc i zaangażowanie w opracowaniu statystycznym wyników niniejszej pracy. Pracownikom inżynieryjno-technicznym i technicznym SPOJPR IHAR — PIB za pomoc w wykonaniu analiz chemicznych.*