

Wpływ genotypu, środowiska oraz interakcji G×E na skład chemiczny i aktywność alfa-amylazy ziarna pszenżyta ozimego

¹Anna Fraś, ²Dariusz Rafał Mańkowski, ¹Damian Gołębiowski, ¹Kinga Gołębiowska

¹Samodzielna Pracownia Oceny Jakości Produktów Roślinnych

²Pracownia Ekonomiki Nasiennictwa i Hodowli Roślin, Zakład Nasiennictwa i Nasionoznawstwa
Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin – Państwowy Instytut Badawczy w Radzikowie, 05-870 Błonie, Polska

Abstrakt. Pszenżyto ze względu na korzystny skład chemiczny ziarna i wysokie walory żywieniowe może być wykorzystywane jako surowiec w przemyśle spożywczym. Jest jednak podatne na porastanie oraz zmienne warunki środowiska, które istotnie wpływają na jakość ziarna i wybór kierunku użytkowania. Celem badań było określenie wpływu genotypu (G), środowiska (E) oraz interakcji G×E na zawartość wybranych składników chemicznych ziarna pszenżyta oraz szczegółowa charakterystyka interakcji G×E dla wybranych parametrów. Przebadano ziarno czterech odmian pszenżyta ozimego (Alektto, Fredro, Panteon, Preludio) uprawianych w trzech sezonach wegetacyjnych (2013/2014; 2014/2015; 2015/2016) w tej samej lokalizacji. Oznaczono zawartość podstawowych składników odżywczych: białka, lipidów, skrobi, związków mineralnych oraz bioaktywnych: błonnika pokarmowego (jako sumy nieskrobiowych polisacharydów i ligniny), a także lepkość wodnych ekstraktów ziarna, powiązaną z rozpuszczalną frakcją błonnika pokarmowego i liczbę opadania ziarna. Przeprowadzono analizę wariancji według stałego modelu dwukierunkowego, a wyniki uzupełniono porównaniem wartości średnich dla efektów głównych i efektu interakcyjnego. Dodatkowo, w celu szczegółowego opisu interakcji G×E, dla wybranych zmiennych przeprowadzono analizę z zastosowaniem modelu AMMI. Dla wszystkich analizowanych parametrów wykazano istotne różnice pomiędzy sezonami uprawy, odmianami oraz odmianami w poszczególnych sezonach wegetacyjnych. Największy wpływ warunków środowiska zaobserwowano dla liczby opadania (83,2%), największy wpływ genotypu dla zawartości rozpuszczalnej frakcji nieskrobiowych polisacharydów (76,4%), a interakcji G×E dla zawartości skrobi (49,5%).

słowa kluczowe: pszenżyto, odmiana, białko, błonnik, środowisko, interakcja G×E

Autor do kontaktu:

Anna Fraś
e-mail: a.fras@ihar.edu.pl
tel.: +48 22 7334551

WSTĘP

Polska jest wiodącym producentem pszenżyta na świecie, a produkcja w 2018 roku wynosiła ponad 5 mln ton (Eurostat, 2018). W Krajowym Rejestrze znajdują się 62 odmiany pszenżyta – 49 form ozimych i 13 jarych (COBORU, 2018). Zboże to w ostatnich latach cieszy się wśród rolników coraz większą popularnością, którą zawdzięcza przede wszystkim dużej plenności, możliwości uprawy na gorszych glebach oraz odporności na niektóre choroby pszenicy i żyta. Ponadto dzięki postępowi hodowlanemu poprawionych zostało wiele cech użytkowych odmian (Iwański i in., 2009; Varughese i in., 1996). Oprócz zadowalających cech agronomicznych pszenżyto cechuje się również wysoką wartością żywieniową i korzystnym składem chemicznym ziarna. Jest ono bogatym źródłem skrobi, zawiera porównywalną do pszenicy ilość białka, a niektóre genotypy dodatkowo charakteryzują się relatywnie wysoką zawartością lizyny, która jest pierwszym aminokwasem ograniczającym wartość odżywczą białka zbóż (McGovern i in., 2011; Rakha i in., 2011). Pszenżyto stanowi także bogate źródło związków bioaktywnych, a w szczególności błonnika pokarmowego. Ilość tego składnika jest porównywalna do stwierdzonej w pszenicy, ale błonnik pszenżytni zawiera więcej frakcji rozpuszczalnej, odpowiedzialnej za jego lepkie właściwości (Rakha i in., 2011; Boros i in., 2015). Pszenżyto zawiera również inne substancje bioaktywne, takie jak związki fenolowe, w tym alkilorezorcynole, o charakterze przeciwutleniający, a także fitoestrogeny, witaminy i mikroelementy (Jonnala i in., 2010).

Głównym kierunkiem użytkowania pszenżyta jest produkcja pasz, jednak ze względu na wysoki potencjał produkcyjny pszenżyta oraz jego korzystne właściwości wzrasta zainteresowanie wykorzystywaniem go w przemyśle spirytusowym, produkcji bioetanolu oraz przemyśle spożywczym. Wykorzystanie pszenżyta w sektorze spożywczym, a zwłaszcza w piekarnictwie ma szerokie perspektywy rozwoju, w szczególności ze względu na wzrastającą

liczbę chorób dietozależnych w społeczeństwie i związane z tym działania profilaktyczne polegające na poszukiwaniu nowych źródeł zdrowej żywności. Podstawowym czynnikiem ograniczającym wykorzystanie pszenżyta do produkcji pieczywa jest wysoka aktywność amylolityczna ziarna, wynikająca z jego podatności na porastanie oraz zmienne warunki środowiska. Warunki te w istotny sposób wpływają na parametry jakościowe ziarna i jego skład chemiczny, a co za tym idzie, na kierunek użytkowania. Wielu autorów badało wpływ warunków klimatycznych oraz interakcji G×E na właściwości użytkowe pszenżyta, jednak najczęściej brano pod uwagę są cechy agronomiczne, takie jak średnie plony, masa tysiąca ziarniaków, liczba ziarniaków w kłosie, masa ziarna z kłosa (Bujak i in., 2012; Kociuba i in., 2012; Laudański i in., 2006; Oleksiak, Mankowski, 2006; Motzo i in., 2001). Wciąż niewiele jest w literaturze prac związanych z wpływem warunków środowiska na skład chemiczny ziarna tego gatunku, tak istotny pod względem późniejszego wykorzystania. Zmienność środowiskowa ma istotny wpływ na wartości cech plonotwórczych odmian pszenżyta ozimego, jak również na jego skład chemiczny (Kociuba i in., 2012). Jako środowisko można rozumieć zarówno rejon uprawy, jak i lata uprawy. W niniejszej pracy jako zmienność środowiskową przyjęto zmieniające się warunki pogodowe w kolejnych sezonach wegetacyjnych. Celem badań było określenie wpływu genotypu (G), środowiska (E) oraz interakcji G×E na zawartość wybranych składników chemicznych w ziarnie pszenżyta oraz szczegółowa charakterystyka interakcji G×E dla wybranych parametrów.

MATERIAŁY I METODY

Materiał do badań stanowiło ziarno czterech odmian pszenżyta ozimego Alekto, Fredro, Preludio (Danko Hodowla Roślin Sp. z o.o, Choryń) i Panteon (Hodowla Roślin Strzelce Sp. z o.o., Borowo), uprawianego w tych samych warunkach klimatyczno-siedliskowych. Doświadczenie w układzie bloków losowych, w 3 blokach prowadzono w jednej lokalizacji (Borowo, HR Strzelce) w trzech kolejnych sezonach wegetacyjnych: 2013/2014, 2014/2015, 2015/2016. Powierzchnia pojedynczego poletka wynosiła 25 m² (kwadrat 5 m × 5 m). Powyższe odmiany zostały wybrane spośród odmian wytypowanych do otrzymywania pieczywa pszenżytnio-owsianego na podstawie uzyskanych wcześniej wyników (Fraś i in., 2016; Fraś i in., 2018a). Ziarno pszenżyta zostało rozdrobione w młynie laboratoryjnym Perten Laboratory Mill 3100 na sitach o średnicy oczek 0,5 mm. Tak przygotowany materiał przeanalizowano pod kątem zawartości wybranych składników odżywczych i bioaktywnych. Zawartość białka oznaczono metodą Dumasa na aparacie Rapid N Cube firmy Elementar, zgodnie z procedurą AACC 46-30 (2003). Zawartość związków mineralnych oznaczono grawimetrycznie, zgodnie z normą AOAC 923.03 (1995), a zawar-

tość skrobi z wykorzystaniem zestawu Megazyme, zgodnie z procedurą AACC 76-13 (2003). Zawartość lipidów ogółem również oznaczono grawimetrycznie po ekstrakcji próby roztworem chloroformu, metanolu i kwasu solnego w proporcji 60:40:1 (v/v/v) (Marchello i in., 1971). Błonnik pokarmowy (DF) oznaczono metodą enzymatyczno-chemiczną, jako sumę nieskrobiowych polisacharydów (NSP), ligniny i powiązanych polifenoli, zgodnie z procedurą AACC 32-25 (2003). Zawartość NSP, z podziałem na frakcję nierozpuszczalną (I-NSP) i rozpuszczalną (S-NSP) oznaczono metodą chromatografii gazowej według Englysta i Cummingsa (1984), jako sumę cukrów: arabinyzy, ksylozy, mannozy, galaktozy i glukozy. Lignina oraz inne nierozpuszczalne pozostałości zostały oznaczone grawimetrycznie według metody opisanej przez Theandera i Westerlundą (1986). Lepkość wodnych ekstraktów (WEV) oznaczono według Boros i in. (1993) przy użyciu lepkościomierza Brookefield (model LV DV-II+Cone/Plate Digital) i wyrażono w mPa·s. Liczbę opadania (FN) oznaczono przy użyciu aparatu Falling Number 1800 Perten, zgodnie z normą ICC 107/1 (2005) i wyrażono w sekundach. Wszystkie analizy chemiczne wykonano w dwóch powtórzeniach, wyniki przeliczono na suchą masę i wyrażono w %.

Wyniki badań chemicznych poddano analizie statystycznej. Dla każdej zmiennej przeprowadzono analizę wariacji według stałego modelu dwukierunkowego (tzw. układ hierarchiczno-krzyżowy) (Laudański, 1996; Mańkowski, 2013; Mańkowski i in., 2014; Śmiałowski i in., 2017):

$$y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \chi_k(\alpha_i) + \beta_j + \gamma_{ij} + \varepsilon_{ijk} \quad [1]$$

gdzie:

y_{ijk} – obserwacja zmiennej zależnej dla i -tego sezonu, j -tej odmiany w k -tym bloku,

μ – średnia ogólna dla zmiennej zależnej w populacji,

α_i – efekt i -tego poziomu czynnika Sezon (E),

$\chi_k(\alpha_i)$ – efekt k -tego bloku zagnieżdżonego w i -tym sezonie,

β_j – efekt j -tego poziomu czynnika Odmiana (G),

γ_{ij} – efekt interakcji i -tego poziomu czynnika Sezon i j -tego poziomu czynnika Odmiana (G×E),

ε_{ijk} – błąd doświadczalny (losowy).

Wyniki analizy wariacji uzupełniono porównaniem wartości średnich dla efektów głównych i efektu interakcyjnego z wykorzystaniem procedury porównań wielokrotnych Tukeya przy przyjętym poziomie istotności 0,05. Dodatkowo, w celu dokładniejszego opisu interakcji G×E, dla wybranych zmiennych przeprowadzono analizę z zastosowaniem modelu AMMI. Szczegółowej interpretacji poddano ocenę istotności składowych addytywnych i multiplikatywnych modelu oraz biploty dla średnich genotypowych i środowiskowych względem składowej środowiskowej IPC(1) oraz dwóch pierwszych składowych

środowiskowych IPC(1) i IPC(2). Obliczenia statystyczne wykonano w programie Statistica w wersji 13.3 (TIBCO Software Inc., 2017) z dodatkiem Zestaw przyrodnika w wersji 1.0 (StatSoft Polska Sp z o.o., 2018).

W celu scharakteryzowania układu pogody w poszczególnych okresach wegetacji roślin podano współczynniki hydrotermiczne Sielianinowa (K) (tab. 1). Wyliczono je na podstawie sumy średnich dobowych temperatur i sumy opadów atmosferycznych dla każdego miesiąca. Dane pochodziły ze stacji meteorologicznej znajdującej się w po-

bliżu miejsca uprawy pszenżyta. Miesiące na podstawie wartości współczynnika K klasyfikowane były następująco: $K \leq 0,4$ – skrajnie suchy; $0,4 < K \leq 0,7$ – bardzo suchy; $0,7 < K \leq 1$ – suchy; $1,0 < K \leq 1,3$ – dość suchy; $1,3 < K \leq 1,6$ – optymalny; $1,6 < K \leq 2,0$ – umiarkowanie wilgotny; $2,0 < K \leq 2,5$ – wilgotny; $2,5 < K \leq 3,0$ – bardzo wilgotny; $K > 3,0$ – skrajnie wilgotny (Skowera, 2014). Średnie miesięczne temperatury powietrza oraz miesięczne sumy opadów atmosferycznych w trzech kolejnych sezonach wegetacyjnych przedstawiono na rysunku 1.

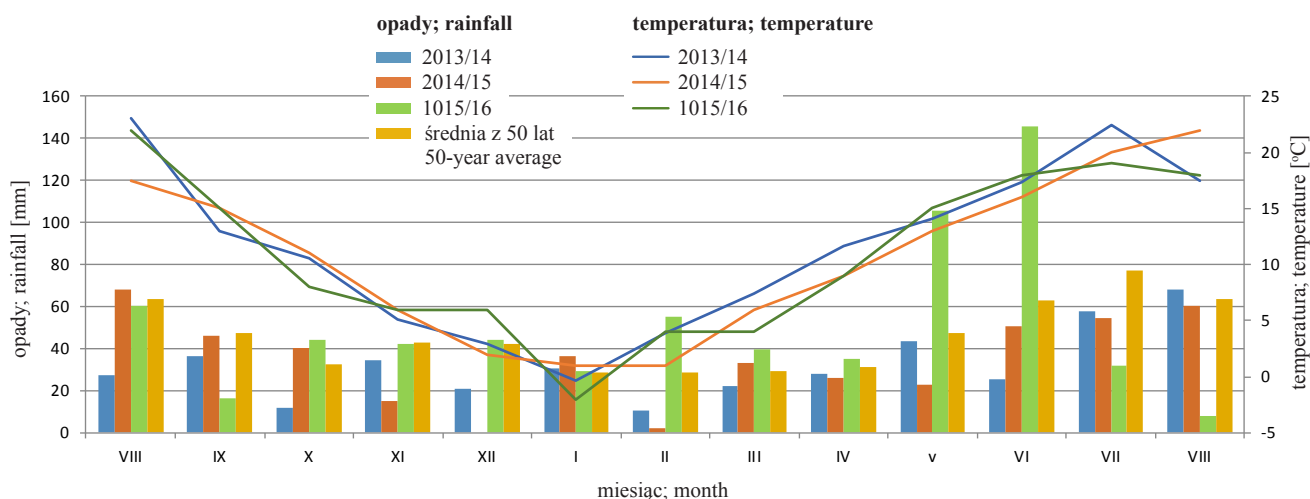
WYNIKI I DYSKUSJA

Tabela 1. Współczynniki Sielianinowa (K) w poszczególnych miesiącach okresu wiosennej wegetacji w trzech kolejnych sezonach wegetacyjnych
Table 1. Sielianinowa coefficients (K) for the months of spring vegetation in three years of research.

Miesiące Months	Sezon wegetacyjny Growing season		
	2013/2014	2014/2015	2015/2016
Marzec March	1,0	1,8	3,2
Kwiecień April	0,8	1,0	1,3
Maj May	1,0	0,6	2,3
Czerwiec June	0,5	1,1	2,7
Lipiec July	0,8	0,9	0,5
Cały okres wegetacji Entire growing season	0,8	1,0	1,8

Zawartość poszczególnych składników chemicznych w ziarnie pszenżyta różniła się istotnie, zarówno między badanymi odmianami, jak i sezonami wegetacyjnymi. Skład chemiczny, lepkość wodnych ekstraktów oraz liczbę opadania ziarna wraz z wynikami analizy wariancji przedstawiono w tabeli 2.

W odniesieniu do białka i skrobi, najważniejszych składników odżywczych ziarna pszenżyta, zaobserwowano istotne różnice między sezonami wegetacyjnymi, co świadczy o istotnym wpływie warunków pogodowych na te cechy. Zawartość mięsiciła się w zakresie od 10,6% do 13,3% dla białka oraz od 62,0% do 63,7% dla skrobi. Najmniejszą zawartość tych składników stwierdzono w sezonie 2015/2016, co jest prawdopodobnie związane z największą ilością opadów w okresie wegetacji (tab. 1). Mogły się one przyczynić do zmniejszenia stopnia wypełnienia ziarna, jak również do zwiększenia aktywności enzymów endogennych ziarna. Istotne różnice w średniej zawartości tych składników zaobserwowano również pomię-



Rysunek 1. Średnie miesięczne temperatury powietrza oraz miesięczne sumy opadów atmosferycznych w trzech sezonach wegetacyjnych

Figure 1. Average monthly air temperatures and monthly sums of atmospheric precipitation in three growing seasons.

Tabela 2. Skład chemiczny [%], lepkość wodnych ekstraktów [mPa·s], liczba opadania [s] i analiza wariancji dla badanych odmian pszenżyta
 Table 2. Chemical composition [%], water extracts viscosity [mPa s], falling number [s] and analysis of variance for analysed triticale varieties.

Efekty Effects	Białko Protein	Skrobia Starch	Zw. mineralne Minerals	Lipidy Lipids	I-NSP	S-NSP	NSP	Lignina Lignin	DF	WEV	FN
2013/2014	13,0 b	63,7 a	1,82 a	2,2 c	8,5 a	1,9 b	10,5 a	2,2 a	12,7 a	1,4 c	129 c
2014/2015	13,3 a	63,4 a	1,76 b	2,4 a	8,0 b	2,2 a	10,2 b	2,1 b	12,3 b	1,8 a	238 b
2015/2016	10,6 c	62,0 b	1,66 c	2,3 b	6,7 c	1,9 c	8,5 c	2,2 a	10,7 c	1,5 b	284 a
Statystyka F; F	585,8	17,5	231,2	305,1	451,9	82,9	496,7	32,0	163,6	436,1	984,3
Wartość p; p-value	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Alektro	10,9 d	63,3 b	1,70 c	2,4 a	8,1 a	1,9 b	10,0 b	2,2 b	12,2 b	1,7 a	205 b
Fredro	13,0 b	62,2 c	1,76 b	2,3 b	7,7 c	2,6 a	10,3 a	2,5 a	12,8 a	1,6 b	208 b
Panteon	14,1 a	61,5 c	1,80 a	2,1 d	7,9 bc	1,9 b	9,7 c	2,2 b	11,9 b	1,7 a	231 a
Preludio	11,2 c	65,1 a	1,74 b	2,2 c	7,3 d	1,6 c	8,9 d	1,8 c	10,7 c	1,3 c	224 a
Statystyka F; F	471,5	36,9	44,9	164,9	46,7	350,4	117,9	284,4	86,0	249,2	17,9
Wartość p; p-value	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2013/2014	12,8 c	60,8 efg	1,65 ef	2,2 de	8,9 a	1,8 c	10,7 ab	2,3 d	12,9 ab	1,6 c	73 g
Fredro	13,6 b	62,5 def	1,86 b	2,2 ef	8,4 bc	2,8 a	11,1 a	2,4 bc	13,5 a	1,4 f	104 f
Panteon	13,9 b	64,0 cd	1,96 a	2,0 g	8,8 ab	1,7 c	10,5 bc	2,1 e	12,6 b	1,5 e	179 e
Preludio	11,8 d	67,6 a	1,78 bc	2,2 de	8,0 c	1,5 d	9,5 d	2,1 de	11,7 cd	1,1 g	160 e
2014/2015	10,7 e	66,6 ab	1,82 bc	2,5 a	8,4 abc	2,2 b	10,6 abc	2,1 de	12,8 ab	1,8 b	270 ab
Fredro	13,8 b	61,8 defg	1,72 cd	2,5 a	8,3 c	2,7 a	11,0 a	2,5 ab	13,5 a	2,0 a	245 bc
Panteon	16,1 a	60,2 g	1,73 cd	2,3 bc	8,0 c	2,2 b	10,1 c	2,2 de	12,4 bc	2,0 a	220 cd
Preludio	12,6 c	64,8 bc	1,78 bc	2,3 cd	7,4 d	1,7 cd	9,1 de	1,5 g	10,5 ef	1,5 de	216 d
2015/2016	9,3 f	62,4 def	1,61 f	2,4 b	7,0 de	1,8 c	8,8 ef	2,3 cd	11,0 de	1,6 cd	272 a
Fredro	11,6 d	62,3 defg	1,64 ef	2,3 bc	6,4 fg	2,2 b	8,6 ef	2,6 a	11,2 de	1,5 e	275 a
Panteon	12,4 c	60,3 fg	1,71 d	2,1 f	6,9 ef	1,8 c	8,5 fg	2,2 d	10,7 ef	1,6 c	293 a
Preludio	9,3 f	62,8 cde	1,68 de	2,2 de	6,3 g	1,7 cd	8,0 g	1,8 f	9,8 f	1,2 f	295 a
Statystyka F; F	56,0	27,7	62,3	21,0	5,5	22,5	9,0	41,1	4,5	20,8	53,1
Wartość p; p-value	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000

NSP – nieskrobiowe polisacharydy, nonstarch polysaccharides; I-NSP – nierozpuszczalna frakcja NSP, insoluble fraction of NSP; S-NSP – rozpuszczalna frakcja NSP, soluble fraction of NSP; DF – błonnik pokarmowy, dietary fibre; WEV – lepkość wodnych ekstraktów; water extracts viscosity; FN – liczba opadania, falling number

dzy badanymi odmianami. Najwyższą średnią zawartością białka (14,1%) i jednocześnie najniższą zawartością skrobi (61,5%) charakteryzowała się odmiana Panteon. Najmniejszą zawartością białka (10,9%) wyróżniała się odmiana Alekto, przy zawartości skrobi 63,3%. Istotne różnice w zawartości białka i skrobi wystąpiły także pomiędzy odmianami w poszczególnych sezonach wegetacyjnych. Najniższą zawartość białka (9,3%) otrzymano dla odmian Alekto i Preludio z sezonu 2015/2016, a największą (16,1%) dla odmiany Panteon z sezonu 2014/2015, która miała jednocześnie najniższą zawartość skrobi (60,2%). Największą zawartość skrobi (67,6%) charakteryzowała odmianę Preludio z sezonu 2013/2014. Inni badacze również wykazali istotny wpływ warunków środowiska na zawartość białka i skrobi w ziarnie pszenżyta. Rakha i in. (2011) badając materiał uprawiany w dwóch miejscowościach w jednym sezonie wegetacyjnym, uzyskali średnią zawartość białka 13,0% i 14,9%, a skrobi 63,5% i 66,5%, natomiast Dekić i in. (2018) analizując ziarno pszenżyta uprawianego w trzech sezonach wegetacyjnych, otrzymali średnią zawartość białka na poziomie 12,3%. Również Erekul i Kohn (2006) wykazali istotny wpływ warunków pogodowych i glebowych na zawartość białka dla dwóch miejscowości i dwóch lat uprawy i uzyskali wartości w zakresie od 10,9% do 17,0%.

Zawartość składników mineralnych różniła się istotnie zarówno pomiędzy poszczególnymi sezonami wegetacyjnymi, jak i pomiędzy odmianami, pomimo niewielkiego zróżnicowania wyników, od 1,7% do 1,8%. Zawartość tych składników wynosiła od 1,6% dla odmian Alekto i Fredro uprawianych w sezonie 2015/2016 do 2,0% dla odmiany Panteon z sezonu 2013/2014. Uzyskane wyniki były zgodne z opisanymi przez Dennett i Trethovan (2013) oraz Kowieską i in. (2011), którzy otrzymali zawartość związków mineralnych na poziomie 1,9%. Istotne różnice pomiędzy badanymi odmianami pszenżyta wystąpiły również w zawartości lipidów, która mieściła się w zakresie od 2,0% do 2,4%. Największą średnią zawartość tych związków (2,4%) stwierdzono w ziarnie odmiany Alekto. Największą zawartość lipidów (2,5%) uzyskano dla odmian uprawianych w sezonie 2014/2015, a najmniejszą ich zawartością w każdym sezonie wegetacyjnym odznaczała się odmiana Panteon, która charakteryzowała się jednocześnie największą zawartością białka. Powyższe zależności potwierdzają wpływ genotypu na zawartość lipidów w ziarnie pszenżyta, choć dane w literaturze nie są jednoznaczne. Uzyskane wyniki dotyczące zawartości lipidów korespondowały z otrzymanymi przez Dennetta i Trethovana (2013), którzy uzyskali wartości na poziomie 2,0%. Niższe od opisanych powyżej wyników, na poziomie 1,6%, uzyskali Kowieska i in. (2011) oraz Rakha i in. (2011), którzy dodatkowo nie stwierdzili istotnego wpływu odmiany czy miejsca uprawy na zawartość tych związków.

Główny kompleks bioaktywny ziarna zbóż stanowi błonnik pokarmowy (DF), który jest związkiem o złożonej budowie, więc jego zmienność jest zależna od udziału poszczególnych komponentów (Fraś i in., 2018b). Zawartość błonnika pokarmowego różniła się istotnie w poszczególnych okresach wegetacji. Najmniejszą zawartość (10,7%) stwierdzono w ziarnie pszenżyta uprawianego w sezonie 2015/2016. Również zawartość nieskrobiowych polisacharydów (NSP), stanowiących główny składnik błonnika, była dla tego sezonu najmniejsza (8,5%), zarówno w przypadku frakcji nierozpuszczalnej (I-NSP – 6,7%), jak i rozpuszczalnej (S-NSP – 1,87%). W ziarnie pszenżyta z sezonu 2013/2014 zawartość DF była istotnie wyższa niż z pozostałych lat i wynosiła 12,7%. Odmiany uprawiane w tym sezonie charakteryzowały się również największą zawartością nierozpuszczalnych frakcji błonnika, I-NSP i ligniny, odpowiednio 8,5% i 2,2%. Na podstawie współczynników Sielianinowa sklasyfikowano ten sezon jako suchy (tab. 1), cechował się również najniższymi temperaturami w okresie wegetacji (rys. 1). Takie warunki mogły spowodować zakłócenia w prawidłowym rozwoju ziarniaków, które były małe, z dużym udziałem okrywy owocowo-nasiennej, a w efekcie wysoką zawartością błonnika pokarmowego. Badane odmiany pszenżyta istotnie różniły się pod względem zawartości DF. Największą średnią zawartością DF charakteryzowała się odmiana Fredro (12,8%), która również zawierała najwięcej frakcji NSP (10,3%), S-NSP (2,57%) oraz ligniny (2,5%). Najmniejszą zawartość DF (10,7%) oraz wszystkich jego frakcji oznaczono w odmianie Preludio. Potwierdzeniem istotnego wpływu genotypu na zawartość błonnika pokarmowego oraz jego komponentów są również istotne różnice pomiędzy badanymi odmianami w kolejnych sezonach wegetacyjnych. Wartości tego parametru mieściły się w zakresie od 9,8% dla odmiany Preludio uprawianej w sezonie 2015/2016 do 13,5% dla odmiany Fredro z sezonów 2013/2014 oraz 2014/2015. Taka sama zależność dotyczyła skrajnych zawartości NSP. Rakha i in. (2011) również analizowali wpływ warunków klimatycznych na zawartość DF w ziarnie pszenżyta uprawianego w różnych lokalizacjach i zaobserwowali istotne różnice w zawartości DF, jak również jego poszczególnych komponentów, arabinoksyfanów, β -glukanu, fruktanów, celulozy i arabinogalaktanów, podkreślając jednocześnie rolę czynników środowiskowych na zawartość błonnika, a w konsekwencji kierunek wykorzystania ziarna. Ci sami autorzy uzyskali niższą w porównaniu do przedstawionych wyników zawartość ligniny w ziarnie, a także nie zaobserwowali istotnych różnic pomiędzy odmianami dla tego parametru.

Lepkość wodnych ekstraktów (WEV) ziarna jest bardzo ważnym parametrem fizykochemicznym związanym z błonnikiem pokarmowym. Ponieważ WEV jest bezpośrednio powiązana z zawartością frakcji rozpuszczalnej

blonniku, a w szczególności rozpuszczalnych arabinoksy-
lanów, więc prawdopodobną przyczyną wysokiego zróż-
nicowania tego parametru pomiędzy odmianami może
być zmienna zawartość tej frakcji oraz różnice w budowie
strukturalnej. W literaturze znajduje się szereg badań wy-
kazujących dodatnią korelację pomiędzy WEV a zawar-
tością rozpuszczalnych frakcji błonniku pokarmowego
w ziarnie zbóż, jak również dotyczących wpływu genoty-
pu i środowiska na ich zawartość oraz lepkość (Saulnier
i in., 1995, Mathlouthi i in., 2002; Finnie i in. 2006; Ra-
kha i in., 2011). Istotne różnice w WEV ziarna pomiędzy
odmianami wskazują na wpływ zarówno środowiska,
jak i genotypu na poziom tej cechy. Najniższą WEV,
a tym samym niską ilością rozpuszczalnej frakcji błonniku
(S-NSP) charakteryzowała się odmiana Preludio. Naj-
wyższą WEV oraz ilością frakcji S-NSP wyróżniało się
pszenżyto uprawiane w sezonie 2014/2015, odpowiednio
1,8 mPa·s i 2,2%. Ten sezon uprawy charakteryzował się
najniższą temperaturą oraz największą ilością opadów spo-
śród trzech analizowanych sezonów (rys. 1). Takie warun-
ki pogodowe w okresie od kłoszenia do zbioru ziarna są
niekorzystne i sprzyjają wyleganiu i porastaniu ziarna oraz
rozwojowi mikroflory, co może powodować zwiększenie
ilości enzymów hydrolitycznych. Wskutek tego następu-
je hydroliza NSP i w rezultacie zwiększenie ilości frakcji
rozpuszczalnej. Analizowane odmiany pszenżyta różniły
się istotnie pod względem WEV, a wartości tego parametru
mieściły się w zakresie od 1,3 mPa·s dla odmiany Preludio
do 1,7 mPa·s dla odmian Alekto oraz Panteon, które miały
taką samą zawartość S-NSP. Istotne różnice WEV stwier-
dzono również dla odmian w latach, co potwierdza wpływ

interakcji G×E na lepkość. Najwyższą WEV, na poziomie
2,0 mPa·s, otrzymano dla odmian Fredro i Panteon z sezo-
nu 2014/2015, natomiast najmniejszą wartością WEV cha-
rakteryzowała się odmiana Preludio z sezonu 2013/2014.
Levy Haner i in. (2013) wykazali istotny wpływ warunków
środowiska oraz interakcji G×E na lepkość wodnych eks-
traktów ziarna pszenżyta.

Liczba opadania (FN) jest bardzo dobrym wskaźni-
kiem wzrastającej aktywności amylolicznej na skutek
porastania ziarna, dlatego jest w dużym stopniu zależna od
warunków pogodowych. Wartości FN dla ziarna pszenży-
ta w poszczególnych sezonach wegetacyjnych różniły się
istotnie i mieściły w zakresie od 129 s dla sezonu 2013/2014
do 284 s dla sezonu 2015/2016. Wyniki uzyskane w sezo-
nie 2013/2014 wskazują na możliwość wystąpienia pora-
stania ziarna, które jest czynnikiem ograniczającym wyko-
rzystanie pszenżyta na cele konsumpcyjne. Okres wegeta-
cji roślin w sezonie 2015/2016 ogólnie był umiarkowanie
wilgotny, jednak w lipcu 2016 roku opady były najniższe
spośród trzech uwzględnionych w pracy sezonów wegeta-
cyjnych, skutkiem czego są wysokie wartości FN. Istotne
różnice wartości FN wykazano także pomiędzy badanymi
odmianami pszenżyta w zakresie od 205 s – 208 s dla od-
mian Alekto i Fredro do 231 s dla odmiany Panteon. Licz-
ba opadania dla badanych odmian w poszczególnych sezo-
nach wegetacyjnych również była istotnie zróżnicowana,
przyjmowała wartości od 73 s do 295 s. Nie stwierdzono
istotnych różnic pomiędzy odmianami uprawianymi w se-
zonie 2015/2016, a otrzymane wartości były najwyższe
wśród uzyskanych wyników. Przynależność tych odmian
do tej samej grupy jednorodnej świadczy o istotnym wpły-

Tabela 3. Udział źródeł zmienności w całości obserwowanej wariancji dla poszczególnych badanych zmiennych [%]
Table 3. Participation of variation sources in the total variance observed for studied individual variables [%].

Efekt Effect	Białko Protein	Skrobia Starch	Związki mineralne Minerals	Lipidy Lipids	I-NSP	S-NSP	NSP	Lignina Lignin	DF	WEV	FN
Sezon Season	39,8	10,4	44,4	48,6	82,1	12,1	69,7	5,4	51,4	49,3	83,2
Powtórzenia(Sezon) Replicates(Season)	0,5	1,1	0,5	0,5	0,9	1,0	0,7	0,1	3,0	1,0	0,6
Odmiana Variety	48,0	33,0	14,1	39,4	12,7	76,4	24,8	71,8	40,5	42,3	2,3
Sezon × Odmiana Season × Variety	11,4	49,5	39,0	10,0	3,0	9,8	3,8	20,8	4,3	7,0	13,5
Błąd losowy Random error	0,3	6,0	2,0	1,5	1,3	0,7	1,0	1,9	0,8	0,4	0,4

NSP – nieskrobiowe polisacharydy, nonstarch polysaccharides; I-NSP – nierozpuszczalna frakcja NSP, insoluble fraction of NSP; S-NSP – rozpuszczalna frakcja NSP, soluble fraction of NSP; DF – błonnik pokarmowy, dietary fibre; WEV – lepkość wodnych ekstraktów, water extracts viscosity; FN – liczba opadania, falling number

wie środowiska na wartość FN. Parametr ten w przypadku ziarna pszenżyta jest bardzo zróżnicowany, co potwierdzają badania opisane przez innych autorów, którzy przedstawiają zakres wartości dla FN od 62 s do 357 s (Tohver i in., 2005). Erekul i Kohn (2006) analizując wpływ warunków pogodowych i glebowych na wartość FN w odmianach pszenżyta uprawianych w dwóch miejscowościach i w dwóch sezonach wegetacyjnych, wykazali istotne różnice pomiędzy odmianami, a otrzymane wartości były niższe niż w naszych badaniach i mieściły się w zakresie od 62 s do 139 s.

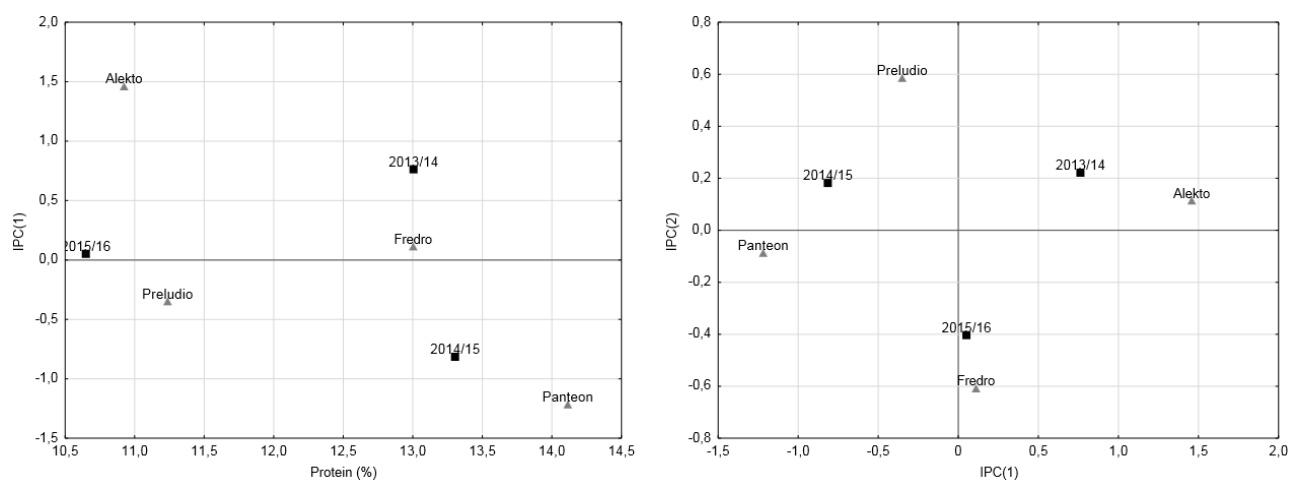
Na podstawie analizy wariancji wykonanej wg modelu liniowego [1] wyznaczono udział poszczególnych efektów w łącznej zmienności (tab. 3). Niektóre zmienne (np. zawartość białka, S-SNP, ligniny) były bardzo silnie uwarunkowana genetycznie. Natomiast zawartość I-NSP, NSP czy FN były silnie zależne od sezonu wegetacji. W przypadku zawartości skrobi czy związków mineralnych stwierdzono również znaczny udział efektu interakcyjnego G×E.

W celu poszerzenia opisu interakcji G×E dla wybranych parametrów przeprowadzono analizę z zastosowaniem modelu AMMI, a wyniki przedstawiono w tabeli 4 oraz na rysunkach 2-5. Do powyższej analizy wybrano dwa podstawowe składniki ziarna, białko i skrobię, a także frakcję rozpuszczalną NSP (S-NSP), której lepkość jest ściśle powiązana z fizjologicznym działaniem błonnika pokarmowego, oraz liczbę opadania (FN).

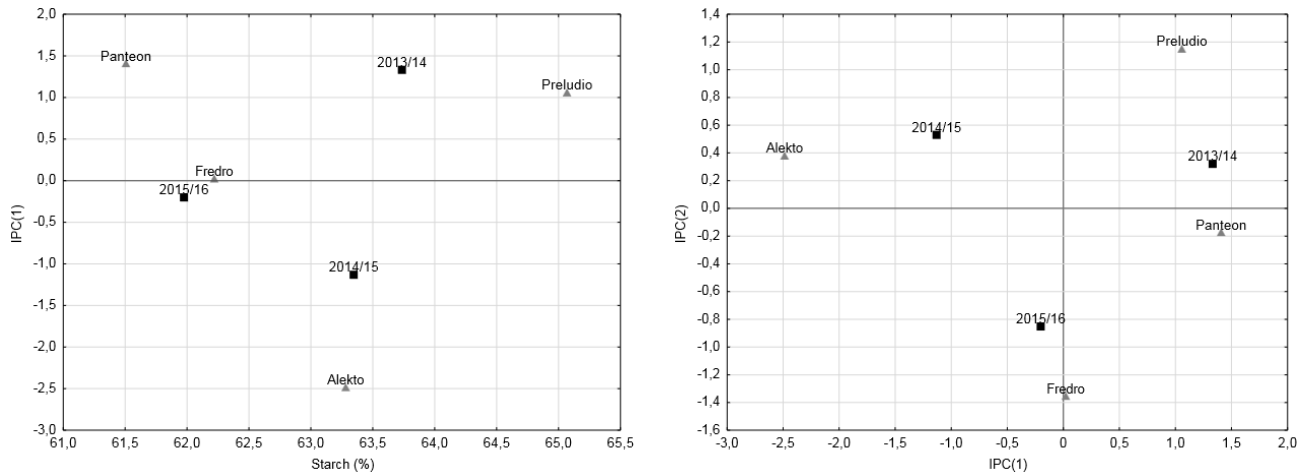
Zawartość białka była zależna w największym stopniu od odmiany (48%), następnie od warunków środowiska (39,8%) oraz interakcji G×E (11,4%). Stwierdzono występowanie dwóch istotnych składowych interakcyjnych, IPC(1) oraz IPC(2), których udział w zmienności interakcji wynosił odpowiednio 96,3% i 3,7% (tab. 4). Dodatkowo efekty interakcyjne zaobserwowano dla odmiany Alekto

i sezonu 2013/2014, a ujemne dla odmiany Panteon i sezonu 2014/2015. Efekty bliskie 0 stwierdzono dla sezonu 2015/2016 oraz dla odmian Preludio i Fredro, co jest potwierdzeniem stabilności tych odmian pod względem zawartości białka (rys. 2a). Przeciętnie najwyższą zawartość białka odnotowano dla odmiany Panteon, a najniższą dla Alekto i Preludio. Najniższe zawartości białka stwierdzono w ziarnie roślin uprawianych w sezonie wegetacyjnym 2015/2016. Odmiany Fredro i Preludio osiągnęły maksymalną zawartość białka w sezonie 2015/2016 (rys. 2b), a odmiana Panteon (ujemny efekt interakcyjny) oraz Alekto (dodatni efekt interakcyjny) w sezonie 2013/2014.

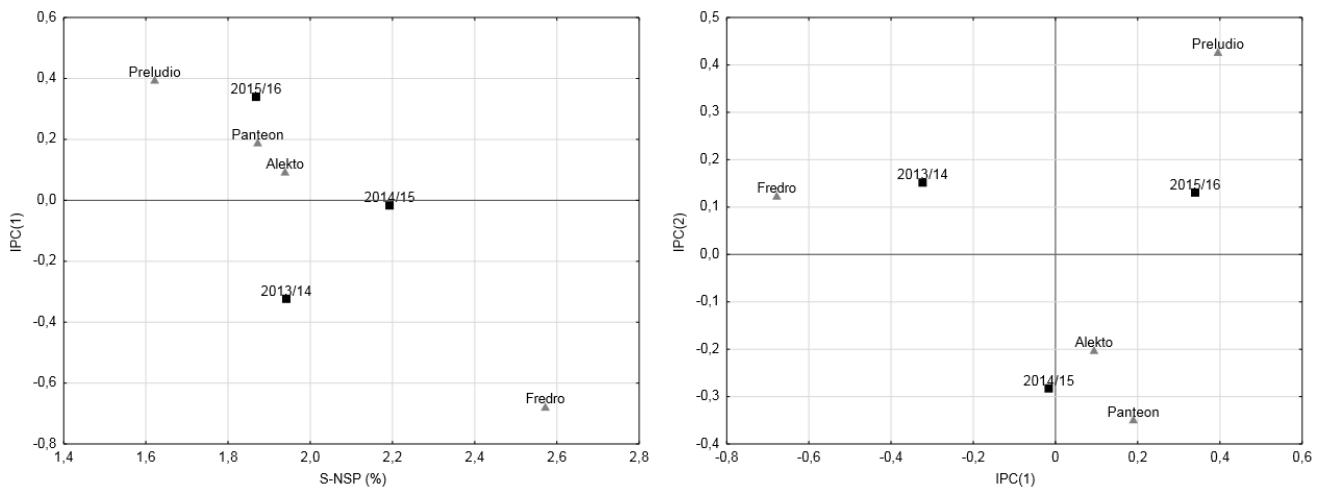
W odniesieniu do zawartości skrobi, udział środowiska w kształtowaniu się zmienności całkowitej wynosił 10,4%, odmiany 33,0%, a interakcji G×E 49,5%. Stwierdzono występowanie dwóch istotnych składowych interakcyjnych, IPC(1) oraz IPC(2), z których pierwsza odpowiadała za 88,6% zmienności interakcyjnej, a druga za 11,4% (tab. 4). Dodatnimi wartościami IPC(1) charakteryzowały się odmiany Panteon i Preludio oraz sezon wegetacyjny 2013/2014 (rys. 3a). Ujemne wartości wykazano dla odmiany Alekto oraz sezonu 2014/2015. Dla odmiany Fredro wartość IPC(1) była bliska 0, co potwierdza, że jest to odmiana stabilna pod względem zawartości skrobi. Podobną wartością IPC(1) charakteryzował się również sezon wegetacyjny 2015/2016. Średnio najwyższą zawartość skrobi odnotowano dla odmiany Preludio, średnią dla odmiany Alekto, a niską dla Fredro oraz Panteon. Spośród wszystkich analizowanych sezonów wegetacyjnych w sezonie 2015/2016 wykazano najmniejszą zawartość skrobi w ziarnie. Warunki pogodowe panujące w sezonie 2015/2016 były pod tym względem najbardziej sprzyjające dla odmian Fredro oraz Preludio (dodatni efekt interakcyjny) (rys. 3b). Najkorzystniejsze warunki dla gromadze-



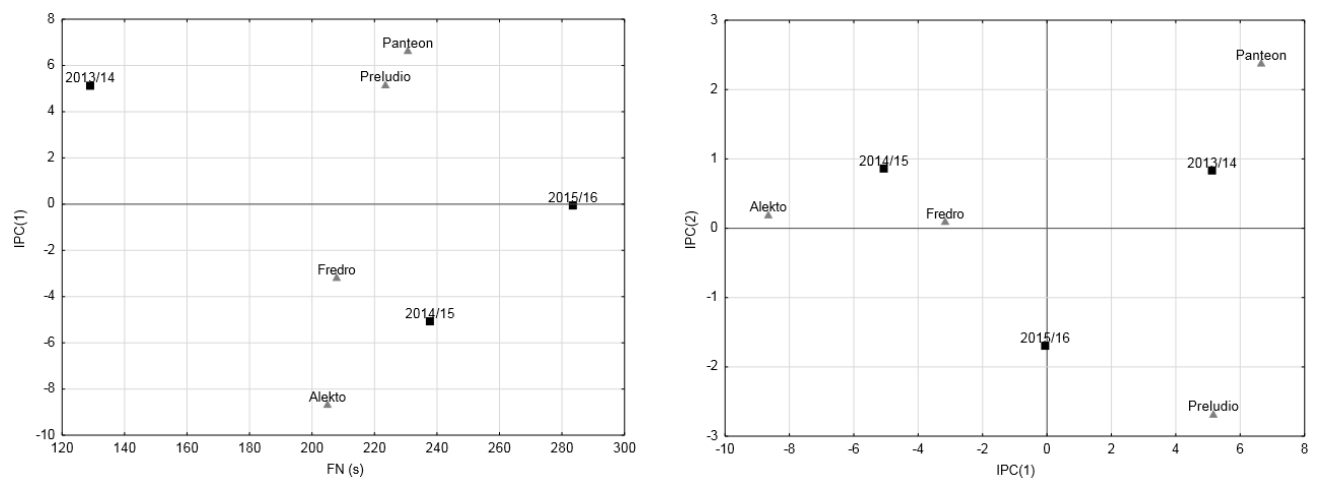
Rysunek 2. Biploty uzyskane w analizie AMMI dla zawartości białka: a) PCI(1) / zmienna; b) PCI(1) / PCI(2)
 Figure 2. Biplots from AMMI analysis for protein content: a) PCI(1) / variable; b) PCI(1) / PCI(2).



Rysunek 3. Biploty uzyskane w analizie AMMI dla zawartości skrobi: a) PCI(1) / zmienna; b) PCI(1) / PCI(2)
 Figure 3. Biplots from AMMI analysis for starch content: a) PCI(1) / variable; b) PCI(1) / PCI(2).



Rysunek 4. Biploty uzyskane w analizie AMMI dla zawartości S-NSP: a) PCI(1) / zmienna; b) PCI(1) / PCI(2)
 Figure 4. Biplots from AMMI analysis for S-NSP content: a) PCI(1) / variable; b) PCI(1) / PCI(2).



Rysunek 5. Biploty uzyskane w analizie AMMI dla FN: a) PCI(1) / zmienna; b) PCI(1) / PCI(2)
 Figure 5. Biplots from AMMI analysis for FN: a) PCI(1) / variable; b) PCI(1) / PCI(2).

Tabela 4. Tabela analizy wariancji dla modelu AMMI
Table 4. Analysis of variance table for AMMI model.

Efekt Effect	Białko; Protein			Skrobia; Starch			S-NSP			FN						
	średni kwadrat mean square	F	p-value	średni kwadrat mean square	F	p-value	średni kwadrat mean square	f	p-value	średni kwadrat mean square	f	p-value				
(E) Sezon (E) Season	25,4	247,8	0,000	39,8	10,3	29,1	0,001	10,4	0,348	36,8	0,000	12,1	75578	395,3	0,000	83,2
Powtorzenia(Sezon) Replicates(Season)	0,1	4,3	0,007	0,5	0,4	0,5	0,777	1,1	0,010	3,9	0,012	1,0	191	4,9	0,004	0,6
(G) Odmiana (G) Cultivar	20,4	864,6	0,000	48,0	21,6	32,6	0,000	33,0	1,471	601,4	0,000	76,4	1371	35,5	0,000	2,3
(G×E)																
Odmiana × Sezon (G×E)	2,4	102,8	0,000	11,4	14,2	24,5	0,000	49,5	0,094	38,6	0,000	9,8	4078	105,5	0,000	13,5
Cultivar × Season																
IPC1	3,5	102,8	0,000	11,0 (96,3)	21,5	24,5	0,000	43,8 (88,6)	0,109	38,6	0,000	7,6 (77,1)	6076	105,5	0,000	13,4 (99,3)
IPC2	0,3	11,41	0,000	0,4 (3,7)	5,5	8,4	0,003	5,6 (11,4)	0,065	26,5	0,000	2,2 (22,9)	83	2,2	0,144	0,1 (0,7)
Błąd losowy Random error	0,02			0,3	0,7			6,0	0,002			0,8	39			0,4
Łącznie; Total	3,7			100,0	5,6			100,0	0,165			100,0	5188			100,0

S-NSP – rozpuszczalna frakcja NSP, soluble fraction of NSP FN – liczba opadania, falling number

nia skrobi w ziarnie odmiany Alekto panowały w sezonie 2014/2015 (ujemny efekt interakcyjny), a odmiany Panteon w sezonach suchych, czyli 2013/2014 i 2014/2015 (dodatni efekt interakcyjny).

W przypadku zawartości frakcji S-NSP błonnika pokarmowego w kształtowaniu się łącznej zmienności dominujący udział miała odmiana (76,4%), w drugiej kolejności sezon (12,1%), a następnie interakcja G×E (9,8%). Wykazano występowanie dwóch istotnych składowych głównych, z których IPC(1) stanowiła 77,1%, natomiast IPC(2) 22,9% zmienności interakcyjnej (tab. 4). Dodatni efekt interakcyjny stwierdzono dla odmian Alekto, Panteon i Preludio oraz sezonu 2015/2016, ujemny efekt wykazano dla odmiany Fredro i sezonu 2013/2014, natomiast bliski 0 dla sezonu 2014/2015 (rys. 4a). Najwyższą średnią zawartość S-NSP stwierdzono dla odmiany Fredro, niższą dla odmian Panteon i Alekto, a najniższą dla odmiany Preludio. Średnia zawartość S-NSP w poszczególnych sezonach była podobna i mieściła się w zakresie 1,87–2,19%. Sezon 2015/2016 najbardziej sprzyjał wysokiej zawartości S-NSP w ziarnie odmiany Preludio (dodatni efekt interakcyjny), sezon 2014/2015 – w ziarnie odmian Alekto i Panteon (dodatni efekt interakcyjny), a sezon 2013/2014 – odmiany Fredro (ujemny efekt interakcyjny) (rys. 4b).

Liczba opadania ziarna (FN) była w największym stopniu (83,2%) zależna od warunków panujących w poszczególnych sezonach wegetacyjnych. Udział genotypu w kształtowaniu zmienności wynosił jedynie 2,3%, a interakcji G×E 13,5%. Istotna statystycznie była tylko pierwsza składowa IPC(1), która odpowiadała za 99,3% zmienności interakcyjnej (tab. 4). Dodatnie efekty interakcyjne stwierdzono dla odmian Panteon i Preludio oraz sezonu 2013/2014. Ujemne efekty wykazano dla odmian Alekto oraz Fredro i sezonu 2014/2015, natomiast efekty bliskie 0 stwierdzono dla sezonu 2015/2016 (rys. 5a). Średnia zmienność wartości FN pomiędzy badanymi odmianami była niewielka (2,3%), ale różnice były istotne statystycznie, natomiast wyraźne różnice zaobserwowano między średnimi dla sezonów (83,2%). Najniższe wartości FN odnotowano dla sezonu 2013/2014, natomiast najwyższe dla sezonu 2015/2016. Warunki w sezonie wegetacyjnym 2013/2014 najbardziej pod względem liczby opadania sprzyjały odmianie Panteon (dodatni efekt interakcyjny), a w sezonie 2014/2015 – odmianom Alekto (ujemny efekt interakcyjny) i Preludio (dodatni efekt interakcyjny). Odmianie Fredro najbardziej pod względem FN sprzyjały sezony 2013/2014 oraz 2014/2015 (rys. 5b).

WNIOSKI

1. Dla zawartości wszystkich analizowanych składników chemicznych ziarna pszenżyta wykazano istotny wpływ genotypu (G), warunków środowiska (E) oraz interakcji G×E.

2. Spośród analizowanych parametrów największy wpływ warunków środowiska stwierdzono dla liczby opadania (83,2%) oraz zawartości nierozpuszczalnej frakcji NSP (82,1%).

3. Największy wpływ genotypu na analizowane cechy wykazano w przypadku zawartości rozpuszczalnej frakcji NSP (76,4%) oraz ligniny (71,8%).

4. Udział interakcji G×E w zmienności ogólnej dla badanych cech był największy w przypadku zawartości skrobi (49,5%) oraz substancji mineralnych (39%).

5. Szczegółowa analiza AMMI pozwoliła stwierdzić, że odmiana Fredro była stabilna pod względem zawartości białka i skrobi w badanych środowiskach.

PIŚMIENNICTWO

- Approved Methods of the AACC, 2003. American Association of Cereal Chemists. St. Paul, MN.
- Boros D., Fraś A., Gołębiwska K., Gołębiwski D., Paczkowska O., Wiśniewska M., 2015.** Wartość odżywcza i właściwości prozdrowotne ziarna odmian zbóż i nasion rzepaku zalecanych do uprawy w Polsce. Monografie i Rozprawy Naukowe IHAR-PIB, 49: 1-119.
- Boros D., Marquardt R.R., Słominski B.A., Guenter W., 1993.** Extract viscosity as an indirect assay for water-soluble pentosans content in rye. *Cereal Chemistry*, 70: 575-580.
- Bujak H., Tratwal A., Walczak F., 2012.** Reakcja odmian pszenżyta ozimego na warunki środowiskowe Wielkopolski przy dwóch poziomach intensywności agrotechniki. *Biuletyn IHAR-PIB*, 264: 141-155.
- COBORU, 2018. Krajowy Rejestr Odmian Rolniczych. www.coboru.pl (dostęp 23.11.2018)
- Dekić V., Milivojević J., Branković S., 2018.** The interaction of genotype and environment on yield and quality components in triticale. *Biologica Nyssana*, 9: 45-53.
- Dennett A.L., Trethovan R.M., 2013.** Milling efficiency of triticale grain for commercial flour production. *Journal of Cereal Science*, 75: 527-530.
- Englyst H.N., Cummings J.H., 1984.** Simplified method for the measurement of total non-starch polysaccharides in plant foods by gas-liquid chromatography of constituent sugars as alditol acetates. *Analyst*, 109: 937-942.
- Erekuł O., Kohn W., 2006.** Effect of weather and soil conditions on yield components and bread-making quality of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) and winter triticale (*Triticosecale Wittm.*) varieties in North-East Germany. *Journal of Agronomy & Crop Science*, 192: 452-464.
- Eurostat, 2018. www.ec.europa.eu/eurostat/data/database, (dostęp 23.11.2018)
- Finnie S.M., Bettge A.D., Morris C.F., 2006.** Influence of cultivar on water-soluble and water insoluble arabinoxylans in soft wheat. *Cereal Chemistry*, 95: 245-255.
- Fraś A., Gołębiwska K., Gołębiwski D., Mańkowski D.R., Boros D., Szczówka P., 2016.** Variability in the chemical composition between triticale grain, flour and bread. *Journal of Cereal Science*, 71: 66-72.
- Fraś A., Gołębiwski D., Gołębiwska K., Mańkowski D.R., Gzowska M., Boros D., 2018a.** Triticale-oat bread as a new product rich in bioactive and nutrient components. *Journal of Cereal Science*, 82: 146-154.

- Fraś A., Gołębiowska K., Gołębiwski D., Boros D., 2018b.** Dietary fibre in cereal grains – A review. *Plant Breeding and Seed Science*, 77: 43-53.
- ICC Standards, 2005. *Standard Methods of the International Association for Cereal Science and Technology* (Vienna, Austria).
- Iwański R., Wiancki M., Tokarczyk G., Stankowski S., 2009.** Wpływ metod konwencjonalnych i ekologicznych uprawy pszenżyta na wartość wypiekową mąk i jakość pieczywa. *Folia Pameranae Universitatis Technologiae Stetinensis*, 269: 19-32.
- Jonnala R.S., Irmak S., MacRitchie F., Bean S.R., 2010.** Phenolics in the bran waxy wheat and triticale lines. *Journal of Cereal Science*, 52: 509-515.
- Kociuba W., Kramek A., Ukalski K., 2012.** Ocena stabilności wybranych cech plonotwórczych polskich odmian pszenżyta ozimego. *Biuletyn IHAR-PIB*, 264: 127-140.
- Kowieska A., Lubowicki R., Jaskowska I., 2011.** Chemical composition and nutritional characteristics of several cereal grain. *Acta Scientiarum Polonorum Zootechnica*, 10: 37-50.
- Laudański Z., 1996.** Zastosowanie operatorów rzutowania w analizowaniu danych nieortogonalnych - teoria, algorytmy i przykłady. Wydawnictwo SGGW, Warszawa.
- Laudański Z., Mańkowski D.R., Rozbicki J., Samborski S., 2006.** The attempt to estimate the environment interaction of chosen winter triticale cultivars (X *Triticosecale* Wittmack). *Folia Universitatis Agriculturae Stetinensis*, 247: 97-112.
- Levy Haner L., Stamp P., Kreuzer M., Bouguennec A., Pellet D., 2013.** Viscosity of triticale varieties differs in its response to temperature after flowering. *Fields Crops Research*, 149: 347-353.
- Mańkowski D.R., 2013.** Modele równań strukturalnych SEM w badaniach rolniczych. Monografie i Rozprawy Naukowe IHAR – PIB, IHAR-PIB, Radzików.
- Mańkowski D.R., Śmiałowski T., Laudański Z., Janaszek-Mańkowska M., 2014.** Application of cultivar scoring for incomplete data (case study: field experiment with × *Triticosecale* Witt.). W: Laudański Z., Mańkowski D.R. (Eds.), *International Conference – The 44th International Biometrical Colloquium and IV Polish-Portuguese Workshop on Biometry – Conference Papers. IHAR – PIB, Radzików*: 39. i przykłady. Wydawnictwo SGGW, Warszawa.
- Marchello J.A., Dryden F.D., Hala W.H., 1971.** Bovine serum lipids. I. The influence of added animal fat on the ration. *Journal of Animal Science*, 32: 1008-1015.
- Mathlouthi N., Saulnier L., Quemener B., Larbier M., 2002.** Xylanase, β-glucanase and other side enzymatic activities have greater effects on the viscosity of several feedstuffs than xylanase and β-glucanase used alone or in combination. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50: 5121-5127.
- McGovern C.M., Snyders F., Muller N., Botes W., Fox G., Manley M., 2011.** A review of triticale uses and the effect of growth environment on grain quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 91: 1155-1165.
- Motzo R., Giunta F., Deidda M., 2001.** Factors affecting the genotype x environment interaction in spring triticale grown in a Mediterranean environment. *Euphatica*, 121: 317-324.
- Official Methods of Analysis of AOAC. 1995. Association of Official Analytical Chemists. Arlington, Virginia, USA.
- Oleksiak T., Mankowski D.R., 2006.** Stability analysis of winter triticale cultivars yielding in agriculture area of Poland. *Folia Universitatis Agriculturae Stetinensis*, 247: 133-140.
- Rakha A., Aman P., Andersson R., 2011.** Dietary fibre in triticale grain: Variation in content, composition, and molecular weight distribution of extractable components. *Journal of Cereal Science*, 54: 324-331.
- Saulnier L., Penau N., Thibault J.F., 1995.** Variability in grain extract viscosity and water-soluble arabinoxylans content in wheat. *Journal of Cereal Science*, 22: 259-264.
- Skowera B., 2014.** Zmiany warunków hydrotermicznych na obszarze Polski (1971-2010). *Fragmenta Agronomica*, 31: 74-87.
- StatSoft Polska Sp. z o. o. 2018. Zestaw przyrodznika (Statistica add-on), version 1.0. <http://www.statsoft.pl>
- Śmiałowski T., Cieplicka A., Mańkowski D.R., 2017.** Jedno i wielozmienna charakterystyka rodów jęczmienia jarego (*Hordeum vulgare* L.) wyhodowanych w HR Smolice i badanych w zespołowych doświadczeniach hodowlanych w roku 2016. *Biuletyn IHAR*, 282: 63-78.
- Theander O., Westerlund E.A., 1986.** Studies on dietary fibre. 3. Improved procedures for analysis of dietary fibre. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 34: 330-336.
- TIBCO Software Inc. 2017. Statistica (data analysis software system), version 13. <http://statistica.io>
- Tohver M., Kann A., That R., Mihhalevski A., Hakman J., 2005.** Quality of triticale cultivars suitable for growing and bread-making in northern conditions. *Food Chemistry*, 89: 125-132.
- Varughese G., Pfeiffer W.H., Pena R.J., 1996.** Triticale: A successful alternative crop (Part 1). *Cereal Foods World*, 4(6): 474-482.

Fraś A., Mańkowski D.R., Gołębiwski D., Gołębiowska K.

INFLUENCE OF GENOTYPE, ENVIRONMENT AND G×E INTERACTION ON CHEMICAL COMPOSITION AND ALPHA-AMYLASE ACTIVITY OF TRITICALE GRAIN

Summary

Triticale is characterised with valuable chemical composition and high nutritional value, therefore it can be used as a raw material in the food industry. However, it is susceptible to sprouting and to variable environmental conditions, which significantly affects the quality of the grain and the choice of its utilisation. The aim of the study was to determine the effect of genotype (G), environment (E) and G×E interaction on the content of selected chemical components of triticale grains and detailed characteristics of G×E interaction for selected parameters. Material for the study comprised four triticale varieties (Alektto, Fredro, Panteon, Preludio), harvested at the same location, during three growing seasons (2013/2014; 2014/2015; 2015/2016). The content of basic nutrient components: protein, starch, lipids, minerals and bioactive components: dietary fibre (as a sum of nonstarch polysaccharides and lignin) were determined, as well as water extract viscosity of grain, associated with soluble dietary fibre fraction, and falling number. An analysis of variance according to a fixed two-way model was performed, and the results were supplemented by comparison of mean values for the main effects and the interactive effect. Additionally, for a detailed description of the G×E interaction, an analysis using the AMMI model was performed.

med for selected parameters. For all analysed parameters, significant differences were found between successive growing seasons, varieties and varieties in years. The highest impact of environmental conditions was observed for falling number (83.2%), the largest impact of the genotype for the soluble fraction of non-

-starch polysaccharides (76.4%) and the interaction of G×E for starch (49.5%).

Keywords: triticale, variety, protein, dietary fibre, environment, G×E interaction

Badanie finansowane przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju
w ramach Projektu Lider nr LIDER/019/519/L-4/12/NCBR/2013; akronim: NovelBread4Fit.

Autor	ORCID
Anna Fraś	0000-0003-2289-5960
Dariusz Mańkowski	0000-0002-7499-8016
Damian Gołębiowski	0000-0002-6692-5167
Kinga Gołębiowska	0000-0001-7816-4636

data zarejestrowania pracy w redakcji Polish Journal of Agronomy: 18 grudnia 2018 r.

data uzyskania recenzji: 1 lutego 2019 r.

data akceptacji: 4 lutego 2019 r.