

Ocena jakości technologicznej rodów pszenicy jarej na potrzeby programu hodowlanego

Assessing the spring wheat quality for breeding program purpose

Sylwia Jędzura ¹✉, Anna Szafrąńska ² , Przemysław Matysik ¹

¹ Hodowla Roślin Strzelce Sp. z o.o. Grupa IHAR
99-307 Strzelce ul. Główna 20, pow. kutnowski, woj. Łódzkie

² Instytut Biotechnologii Przemysłu Rolno-Spożywczego im. prof. Wacława Dąbrowskiego
– Państwowy Instytut Badawczy
Zakład Przetwórstwa Zbóż i Piekarstwa
ul. Rakowiecka 36, 02-532 Warszawa.

✉ s_jedzura@hr-strzelce.pl

Wprowadzanie na rynek odmian pszenicy o odpowiedniej jakości technologicznej, wymaga od firmy hodowlanej przeprowadzenia niezbędnych badań oraz dysponowania sprawnym systemem selekcyjnym. W pracy przedstawiono wyniki trzyletnich badań technologicznych genotypów pszenicy jarej pochodzących z programu hodowlanego Hodowli Roślin Strzelce Sp. z o.o. Grupa IHAR. Analizie wielostronnych powiązań, metodą PCA (Principal Component Analysis), poddano parametry uzyskane w oparciu o kluczowe urządzenia do oceny jakości mąki pszennej i ciasta, tj. alveograf, mixolab i glutograf. Dwie pierwsze składowe główne wyjaśniały łącznie 60,9% całkowitej zmienności. Przeprowadzona analiza wskazała na istnienie zależności pomiędzy parametrami glutograficznymi oraz innymi badanymi wskaźnikami jakości technologicznej. Istotnie statystycznie współczynniki korelacji liniowej Pearsona ($p < 0,01$) otrzymano m.in. dla parametrów: indeks glutenu i czas rozciągania ($r = 0,610$), indeks glutenu i kąt relaksacji ($r = -0,624$) oraz czas stałości ciasta i kąt rozciągania ($r = -0,523$). Zbadano poziom i stabilność wybranych cech w kontekście badanych genotypów oraz sezonu wegetacyjnego, w którym wykonywano oznaczenia. Parametry glutograficzne w głównej mierze były kształtowane w zależności od warunków środowiskowych panujących w poszczególnych latach badań (STR(°) 77,1%; STR(s) 61,5%; RXT(°) 42,5%). Uwarunkowanie to pozwoliło na identyfikację genotypów zdolnych do utrzymania odpowiedniej jakości mechanicznej glutenu niezależnie od warunków wzrostu roślin, jak STH 07, STH 09 czy Jarlanka. Zidentyfikowane zależności dają możliwość prognozowania złożonych cech jakościowych, na podstawie mniej skomplikowanych oznaczeń i analiz uzupełniających na wczesnych etapach hodowli roślin. Wymiernym efektem takiego postępowania jest ograniczenie ilości genotypów o niekorzystnych cechach technologicznych na zaawansowanych etapach prac hodowlanych.

Słowa kluczowe: pszenica chlebowa, hodowla, glutograf, ocena jakości

Providing wheat varieties of appropriate technological quality to the market, requires the breeding company to conduct the necessary research and have an efficient selection system. The paper presents the results of three-year technological research on spring wheat genotypes from the breeding program of Hodowla Roślin Strzelce Sp. z o.o. IHAR Group. The basic parameters of key wheat flour and dough quality devices, i.e. alveograph, mixolab and glutograph were analyzed using the PCA (Principal Component Analysis). The first two principal components accounted for 60.9% of the total variation. The conducted analysis showed the existence of a relationship between glutographic parameters and other examined indicators of technological quality. Statistically significant Pearson's linear correlation coefficients ($p < 0.01$) were obtained e.g. for the parameters: gluten index and stretching time ($r = 0.610$), gluten index and relaxation angle ($r = -0.624$), dough stability and stretching angle ($r = -0.523$). The level and stability of selected traits were also tested in the context of the genotypes and the year of the assay. The glutographic parameters depended mainly on the environmental conditions in the individual growing season (STR (°) 77.1%; STR (s) 61.5%; RXT (°) 42.5%). This allowed for the identification of genotypes capable of maintaining the appropriate mechanical quality of gluten regardless of plant growth conditions, such as STH 07, STH 09 or Jarlanka. The identified relationships make it possible to predict complex dough characteristics on the basis of less complicated tests and supplementary analyzes on the early stage of breeding process. The measurable effect of such an approach, is a reduction of the number of genotypes, with unfavorable technological features, at advanced stages of breeding process.

Keywords: bread wheat, breeding, glutograph, quality evaluation

Wstęp

Hodowla jakościowa jest jednym z głównych obszarów prac nad wyprowadzaniem nowych odmian pszenicy zwyczajnej. Hodowcy dążą do otrzymywania linii o odpowiedniej wartości technologicznej, dostosowanych do oczekiwań rolników, producentów żywności, a finalnie konsumentów. Wzajemne zależności wysokiej wartości technologicznej, poziomu plonowania i pozostałych korzystnych cech rolniczych, nierzadko cha-

rakteryzują, trudne do przełamania, negatywne korelacje (Yang i in., 2020). Dla podniesienia wydajności i celowości procesu selekcyjnego firmy hodowlane dostosowują rodzaj i zakres prowadzonych analiz do stopnia zaawansowania i dostępności materiału hodowlanego (Cato i Mullan, 2020). Identyfikacja zależności pomiędzy oznaczeniami wykonywanymi w różnych fazach prac hodowlanych, pozwala na przeniesienie decyzji o eliminacji obiektów o niewystarczającej jakości, na wcześniejsze etapy. Do oceny wartości wypiekowej

ziarna i uzyskanej z niego mąki pszennej służą m.in. metody reologiczne, oparte na badaniu właściwości glutenu (Codina i in., 2010; Szafrńska i Stępniewska, 2021). Gluten wysokojakościowy charakteryzuje duża elastyczność i zwięzłość, a z powstałego na jego matrycy ciasta otrzymuje się chleb o dużej objętości, odznaczający się miękkim i równomiernym porowatości. Na kształtowaniu się cech jakościowych i ilościowych glutenu wpływa szereg czynników, począwszy od etapu uprawy pszenicy, poprzez obróbkę poźniwną ziarna, przechowywanie, na przetwarzaniu technologicznym na cele piekarnicze kończąc (Miś, 2005). Z punktu widzenia hodowlanego, najbardziej interesujące są procesy zachodzące na etapie wzrostu rośliny i dojrzewania ziarna. Kształt tych procesów zależy nie tylko od czynników uprawowych i środowiskowych, ale również od genotypu, który warunkuje zarówno poziom zawartości niektórych substancji w ziarniaku, jak również zdolność do utrzymywania ich jakości na stałym poziomie w latach (Cato i Mullan, 2020).

Do badania właściwości reologicznych ciasta służą aparaty, które nierzadko wymagają dysponowania odpowiednio dużymi próbkami mąki (Peña i in., 2007). W praktyce hodowlanej takie oznaczenia mogą być przeprowadzane na zaawansowanych etapach procesu wyprowadzania odmiany. Przeniesienie testów na wcześniejsze etapy, jak również duży zakres materiałów hodowlanych, wymaga zmniejszenia skali oznaczenia i skrócenia czasu jego trwania. Naprzeciw tym oczekiwaniom praktyki hodowlanej, wychodzi rzadziej używane urządzenie, jakim jest glutograf (Alamri i in., 2009 a, b; Kaplan Evlice i in., 2020; Cecchini i in., 2021). Jest to aparat określający elastyczność oraz właściwości glutenu podczas rozciągania i relaksacji próbki pomiędzy dwoma perforowanymi płytkami (Zaharia i in., 2014; Yıldırım i Atasoy, 2020). W trakcie pomiaru dolna płytka, obraca się względem górnej ze stałą siłą. Wyniki oznaczenia przedstawione są na wykresie: krzywa wznosząca odzwierciedla proces rozciągania, następnie po ustaniu siły rozciągającej, krzywa opada charakteryzując właściwości relaksacyjne próbki. Czas potrzebny na osiągnięcie zadanego kąta wychYLENIA płytki jest miarą właściwości rozciągania i zależy od jakości glutenu. Kąt o jaki próbka powróci do stanu pierwotnego, po ustaniu siły rozciągającej, odzwierciedla elastyczność glutenu. Zmiany te są rejestrowane w postaci funkcji czasu (Anonim, 2017; Kaplan-Evlice i in., 2020; Zaharia i in., 2014).

Celem pracy była ocena stabilności badanych cech jakościowych ziarna pszenicy w kolejnych sezonach wegetacyjnych oraz analiza zależności parametrów oceny wartości technologicznej ziarna pszenicy i mąki, a także określenie modyfikujące-

go wpływu warunków meteorologicznych na kształtowanie się niektórych cech jakościowych. Wyniki parametrów jakościowych ziarna pszenicy i cech reologicznych ciasta odniesiono do parametrów jakości glutenu, badanych za pomocą glutografu, co posłużyło do oceny jego przydatności w praktyce hodowlanej.

Materiał i metody

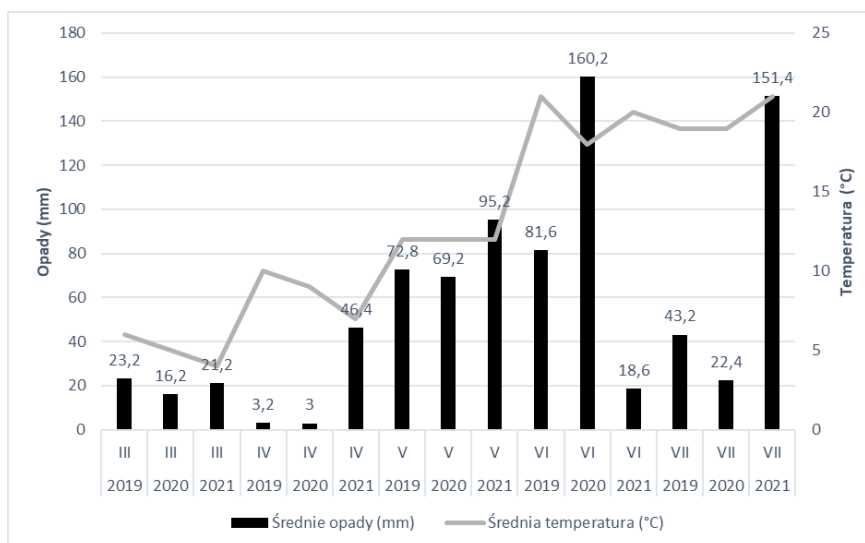
Materiał badawczy stanowiło 10 rodzajów pszenicy jarej (STH 01 - STH 10) oraz odmiana kontrolna Jarlanka (wzorzec COBORU), analizowanych pod kątem jakości technologicznej, podczas trzech kolejnych etapów hodowlanych (2019-2021). Próbki pobrano z jednej lokalizacji (Strzelce: 52° 18' 41" N, 19° 24' 22.4" E), a oznaczenia wykonano w dwóch powtórzeniach. Analizy zawartości białka dokonano za pomocą analizatora całoziarnowego NIRS DS2500 (FOSS). Następnie część próbki ziarna rozdrobniono w młynku tarczowym WŻ-2 Sadkiewicz w celu uzyskania śrutu całoziarnowej do oceny ilości i jakości glutenu. Po wymyciu glutenu (Glutownik typ SZ-1 Sadkiewicz) oznaczono jego ilość (wg PN-EN ISO 21415-2:2015-12) oraz indeks (IG), a także parametry jakości glutenu (kąt rozciągania – ST (°), czas rozciągania – STR (s), kąt relaksacji – RXT (°) za pomocą aparatu Glutograph E (wg instrukcji producenta: Brabender GmbH & Co., Duisburg, Germany). Pozostałą część próbki ziarna poddano przemiałowi w młynie Chopin CD1 (wg PN-EN ISO 27971:2015-07) w celu uzyskania mąki do dalszych badań. Parametry oceny cech reologicznych ciasta oznaczono za pomocą urządzenia Mixolab 2 (Chopin Technologies) – Protokół ChopinS (instrukcja producenta) – wodochłonność mąki (WA), czas rozwoju, czas stałości i rozmiękczenie ciasta oraz za pomocą urządzenia AlveoLab (Chopin Technologies) (wg PN-EN ISO 27971:2015-07) – pracę odkształcenia (W), stosunek sprężystości do rozciągliwości (P/L).

Dla analizowanych lat badań, zebrano dane dotyczące długości okresu wegetacji, ze szczególnym uwzględnieniem wskaźników mogących mieć wpływ na kształtowanie się poziomów badanych cech jakościowych (Tab. 1). Przedstawiono także dane meteorologiczne, dotyczące warunków środowiskowych w analizowanych latach (Rys. 1).

W celu porównania średnich cech oraz sposobu ich kształtowania się w zależności od genotypu i sezonu wegetacyjnego, wykonano dwuczynnikową analizę wariancji (ANOVA). Określeniu wzajemnych zależności, pomiędzy wskaźnikami jakości technologicznej, posłużyła analiza składowych głównych (PCA) oraz analiza korelacji liniowej Pearsona. Obliczeń dokonano przy użyciu programu RnDExperience™ i środowiska R.

Tabela 1
Table 1Dane dotyczące okresów wegetacji w analizowanych latach (2019-2021)
Data about growing seasons in the analyzed years (2019-2021)

Rok Year	Data siewu Sowing date	Średnia data kłoszenia Mean date of heading	Średnia data dojrzałości fizjologicznej Mean date of maturity	Data zbioru Harvest date	Średnia liczba dni wypełniania się ziarna Mean number of grain development days	Liczba dni wegetacji Vegetation days number
2019	22,03	9,06	20,07	30,07	41	130
2020	19,03	12,06	29,07	10,08	48	144
2021	30,03	16,06	30,07	10,08	44	133



Rys. 1. Średnie dobowe temperatury powietrza (°C) oraz średnie miesięczne opady (mm) w okresie wegetacji analizowanych obiektów (marzec - lipiec) w latach 2019-2021 (Strzelce)

Fig. 1. Average daily air temperature (°C) and average monthly rainfall (mm) during the growing season (March - July) in 2019-2021 (Strzelce)

Wyniki i dyskusja

Spośród analizowanych lat badań (2019-2021), rok 2020 charakteryzował się najdłuższym okresem wegetacji (144 dni) oraz najdłuższym średnim czasem wypełniania się ziarna (48 dni) (Tab. 1).

Rozkład opadów był zbliżony w latach 2019 i 2020, znacznie odbiegał w 2021 roku (Rys. 1). Spośród badanych lat, rok 2021 charakteryzował się największą ilością opadów w okresie wegetacyjnym (332,8 mm), z czego zdecydowana większość wystąpiła w okresie dojrzewania ziarna (lipiec – 151,4 mm), a niewiele w okresie początkowego kształtowania się ziarniaków (czerwiec – 18,6 mm). Sytuacja odwrotna miała miejsce w roku 2020, kiedy zdecydowana większość opadów wystąpiła w czerwcu (160,2 mm), a okres dojrzewania był suchy i słoneczny, co sprzyjało gromadzeniu się białka i kształtowaniu odpowiedniej jego jakości. Duże opady w lipcu 2021 roku spowodowały problemy z porostem ziarna. Podwyższona aktywność enzymów amylolitycznych i proteolitycznych powoduje hydrolizę skrobi i białka, co z kolei jest przyczyną pogorszenia właściwości

reologicznych glutenu (Lorenz i in. 1983, Lukov i in., 1984; Rakita i in., 2015; Newberry i in., 2018). W 2021 roku zaobserwowano pogorszenie się wytrzymałości mechanicznej glutenu w badanych próbkach ziarna analizowanych genotypów, mierzonej parametrami glutograficznymi, w porównaniu do lat poprzednich.

Średnie temperatury dobowe kształtowały się na podobnym poziomie we wszystkich analizowanych latach (Rys. 1). Maksymalne temperatury wystąpiły w różnych miesiącach w zależności od roku badań – w czerwcu 2019 roku odnotowano 35,3°C, zaś w lipcu 2021 roku 33,4°C. Wysokie temperatury w okresie dojrzewania ziarniaków mogą również wpływać na pogorszenie się jakości glutenu (Blumenthal i in., 1993, Daniel i in., 2000).

Badano wpływ genotypu oraz sezonu wegetacyjnego na poziom parametrów jakościowych ziarna pszenicy (Tab. 2). Analiza wariancji wykazała istotność statystyczną różnic pomiędzy testowanymi genotypami, w obrębie wszystkich badanych cech. Istotny statystycznie ($p < 0,05$) wpływ danego roku obserwowano w zawartości białka,

ilości glutenu, STR (°), STR (s), RXT (°), czasu stałości i rozmiękczenia. W obrębie wszystkich analizowanych parametrów zaobserwowano istotną statystycznie interakcję genotypu z rokiem badań. Cechami najsilniej determinowanymi genotypem (materiał badawczy) były: praca odkształcenia W (83%), indeks glutenu IG (73,4%), stosunek sprężystości do rozciągliwości P/L (72,3%), czas rozwoju (69,4%) oraz wodochłonność WA (65,9%). Cechami silnie modyfikowanymi przez warunki danego roku były: kąt rozciągania STR (°) (77,1%) i czas rozciągania STR (s) (61,5%). Natomiast cechy, których poziom znaczący

nie zależał od interakcji genotyp × rok badań to: ilość glutenu (56,8%) i zawartość białka (43,9%). Nieco odmienne wyniki, dotyczące parametrów glutograficznych, otrzymali Kaplan-Evllice i in. (2020). W wyniku badań próbek pszenicy, pochodzących z pięciu lokalizacji i jednego sezonu wegetacyjnego, wykazali przeważający wpływ genotypu na wskaźniki rozciągania i relaksacji. Mogło to być wywołane mniejszą zmiennością warunków pomiędzy lokalizacjami, podczas gdy w badaniach własnych obserwowano znaczne różnice warunków w latach.

Tabela 2
Table 2

Wartości statystyki F wraz z poziomami istotności dla analizowanych czynników (ANOVA)
The F statistics values with the levels of significance for the analyzed factors (ANOVA)

	Materiał badawczy Genotype (A)	Rok zbioru ziarna Harvest year (B)	Interakcja Interaction (A×B)
Parametry jakościowe ziarna pszenicy / Wheat grain quality parameters			
Zawartość białka / Protein content	41,49***	93,9***	40,54***
Ilość glutenu / Gluten content	76,72***	44,11***	32,05***
Parametry oceny jakości gluten / Gluten quality assessment parameters			
STR (°)	26,61***	655,95***	10,84***
STR (s)	29,16***	3644,52***	29,16***
RXT (°)	37,42***	119,85***	16,93***
IG	41,27***	5,8	11,15***
Parametry oceny cech reologicznych ciasta / Dough rheological properties assessment parameters			
WA	19,4***	15,72*	4,38***
Czas rozwoju / Development time	35,52***	17,64*	4,21***
Czas stałości / Stability time	21,13***	50,78**	22,03***
Rozmiękczenie / Dough softening	20,95***	127,9***	15,4***
W	66,18***	6,0	8,95***
P/L	41,13***	10,2*	9,09***

* – istotne przy $p < 0,1$; ** – istotne przy $p < 0,05$; *** – istotne przy $p < 0,01$;

STR (°) – kąt rozciągania; STR (s) – czas rozciągania; RXT (°) – kąt relaksacji; IG – indeks glutenu; WA – wodochłonność; W – praca odkształcenia; P/L – stosunek sprężystości do rozciągliwości.

* – significant at $p < 0.1$; ** – significant at $p < 0.05$; *** – significant at $p < 0.01$;

STR (°) – stretching angle; STR (s) – stretching time; RXT (°) – relaxation angle; IG – gluten index; WA – water absorption; W – baking strength; P/L – tenacity to extensibility ratio.

Ziarno ze zbiorów 2020 roku charakteryzowało się korzystniejszymi wartościami analizowanych parametrów oceny cech reologicznych ciasta niż ziarno ze zbiorów 2021 roku (Tab. 3). Największe zróżnicowanie parametrów jakościowych, wyrażające się największymi odchyleniami standardowymi dla średnich cech, zaobserwowano w 2021 roku (Tab. 3). Rok ten pozwolił na ujawnienie się większych różnic genotypowych oraz określenie poziomu stabilności badanych rodów. Średnio najwięcej białka gromadził ród STH 05 (14,3%). Obiekt ten charakteryzował się również największą ilością glutenu (34,3%), największym kątem relaksacji (11,0°) oraz największą wodochłonnością (60,6%). Najlepszymi średnimi para-

metrami glutograficznymi (kąt rozciągania 29,6°, czas rozciągania 150,0 s) oraz najwyższym średnim indeksem glutenu (IG 93), charakteryzował się ród STH 07. Był to również obiekt najstabilniejszy pod względem wodochłonności (SD 0,43) oraz czasu rozciągania (STRs) (SD 0). Na uwagę zasługuje również ród STH 09, który charakteryzował się najniższym średnim rozmiękczeniem ciasta (32 FU) oraz korzystnym w latach stosunkiem P/L (0,9). Ponadto obiekt ten był najstabilniejszym, w analizowanych latach, w zakresie gromadzenia białka (SD 0,28) oraz wartości pracy odkształcenia (W) (SD 5,22). Odmiana wzorcowa Jarlanka odznaczała się dużą stabilnością analizowanych parametrów oraz średnimi zakresami ich

Ocena jakości technologicznej rodów pszenicy jarej na potrzeby programu hodowlanego

Tabela 3
Table 3Wartości średnie i odchylenia standardowe oraz wartości minimalne i maksymalne obserwowanych cech dla genotypów i lat
Mean values, standard deviations, minimum and maximum values of wheat quality parameters for genotypes and years

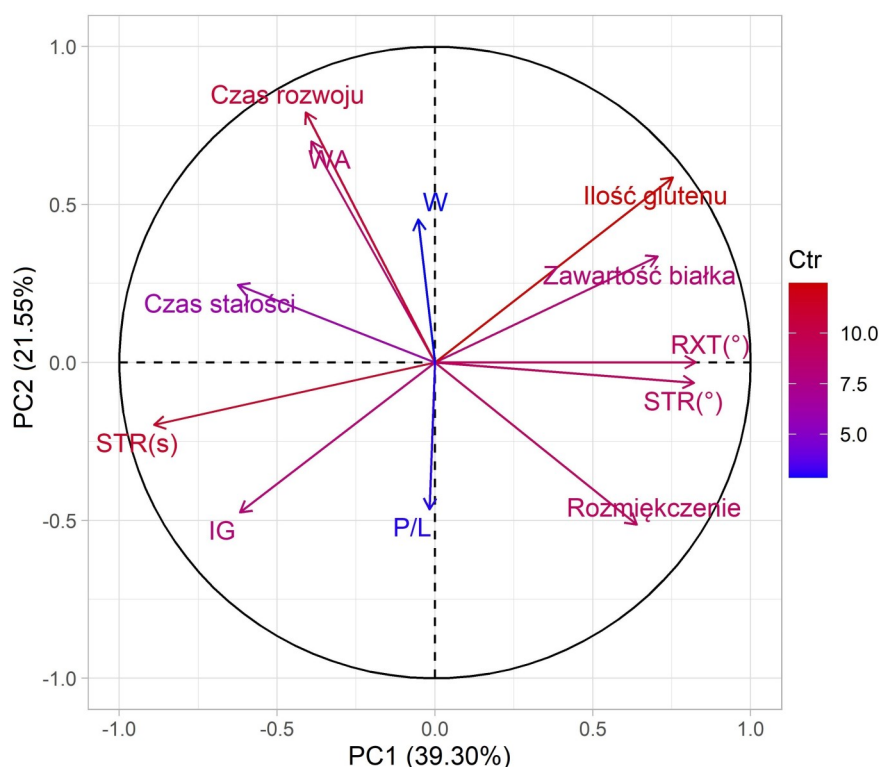
Genotypy / Genotype	Zawartość białka (%) Protein content (%)	Ilość glutenu (%) Gluten content (%)	STR (°)	STR (s)	RXT (°)	IG	WA (%)	Czas rozwoju (min) Development time (min)	Czas stabilności (min) Stability (min)	Rozmięczenie (FU) Softening degree (FU)	W (10 ⁻⁴ J)	P/L
STH 01	14,0 bc ± 0,35	33,1 de ± 0,78	30,6 d ± 13,80	126,8 b ± 33,27	10,9 a ± 2,87	86 d ± 1,07	55,8 f ± 1,04	2,4 d ± 0,22	6,4 cd ± 0,41	54 a ± 3,27	201 gh ± 10,69	1,52 a ± 0,60
min - max	13,4-14,4	31,8-34,0	18,1-50,0	70,7-150,0	6,8-13,7	85-87	54,3-57,2	2,0-2,5	6,0-7,0	50-59	187-217	0,70-2,17
STH 02	14,0 b ± 1,13	32,3 ef ± 3,55	31,5 d ± 13,37	125,8 b ± 34,77	7,9 d ± 2,87	90 bc ± 0,86	56,0 ef ± 1,31	2,4 d ± 0,22	3,0 f ± 1,27	52 a ± 7,66	254 de ± 21,59	0,81 b ± 0,11
min - max	12,4-15,4	27,1-35,8	18,9-50,0	66,4-150,0	5,1-13,0	89-91	54,1-57,8	2,0-2,5	1,5-4,5	43-61	230-280	0,64-0,95
STH 03	13,0 g ± 0,29	33,3 d ± 4,95	37,5 b ± 11,10	110,6 c ± 55,73	10,7 ab ± 4,33	85 d ± 0,69	57,1 de ± 0,95	3,8 b ± 0,56	5,9 de ± 1,29	41 b ± 1,80	232 f ± 13,81	0,52 de ± 0,06
min - max	12,5-13,4	28,1-40,7	22,0-50,0	27,5-150,0	6,2-17,0	84-86	55,8-58,3	3,0-4,5	4,0-7,5	38-43	213-251	0,45-0,62
STH 04	13,8 cd ± 0,80	35,9 b ± 4,77	41,0 a ± 6,47	107,6 c ± 60,01	11,0 a ± 3,49	82 e ± 3,80	58,8 bc ± 2,49	5,3 a ± 0,25	8,0 ab ± 1,54	37 bcd ± 10,79	232 f ± 20,89	0,43 ef ± 0,08
min - max	12,7-14,8	30,0-43,7	34,6-50,0	19,7-150,0	8,2-16,2	77-86	55,7-61,8	5,0-5,5	6,5-10,5	24-50	203-262	0,34-0,56
STH 05	14,3 a ± 1,01	39,8 a ± 5,21	37,7 b ± 9,62	106,9 c ± 61,03	11,0 a ± 3,30	83 e ± 3,58	60,6 a ± 0,73	5,0 a ± 1,12	5,0 e ± 0,94	39 bc ± 1,12	281 bc ± 7,36	0,8 b ± 0,06
min - max	13,4-15,9	33,6-47,6	25,4-50,0	18,5-150,0	7,3-16,2	78-88	59,6-61,5	3,5-6,5	4,0-6,5	37-40	269-289	0,72-0,90
STH 06	13,9 bc ± 0,49	34,9 ± 4,60	36,2 bc ± 9,90	104,7 c ± 64,05	7,1 de ± 1,91	89 e ± 3,96	59,9 ab ± 0,90	3,9 b ± 0,74	5,6 de ± 2,70	40 b ± 13,58	358 a ± 34,11	0,74 bc ± 0,04
min - max	13,4-14,6	30,6-41,7	26,5-50,0	12,5-150,0	3,6-8,9	84-94	58,9-60,8	3,0-5,0	2,5-9,0	25-55	312-394	0,69-0,80
STH 07	13,1 fg ± 0,94	30,5 hi ± 2,72	29,6 d ± 11,68	150,0 a ± 0	7,5 de ± 1,11	93 a ± 0,71	57,4 d ± 0,43	3,0 c ± 0,35	7,1 bc ± 3,94	33 cd ± 12,68	270 cd ± 17,17	1,46 a ± 0,29
min - max	11,7-14,1	25,9-33,3	19,7-49,7	150,0-150,0	5,9-8,9	92-94	57,0-58,1	2,5-3,5	3,0-12,0	18-49	250-291	1,13-1,92
STH 08	13,2 f ± 0,47	29,9 ± 1,15	38,1 b ± 9,30	127,9 b ± 31,48	8,9 c ± 1,70	91 b ± 0,61	55,2 fg ± 1,08	2,5 cd ± 0,35	5,8 de ± 2,80	57 a ± 12,84	208 g ± 17,71	0,75 bc ± 0,25
min - max	12,7-14,0	28,7-31,8	25,6-50,0	76,7-150,0	7,0-11,4	90-92	54,1-56,3	2,0-3,0	2,5-9,0	40-70	186-231	0,42-1,06
STH 09	13,9 bc ± 0,28	33,5 d ± 1,79	34,8 c ± 10,21	141,3 a ± 19,53	7,6 de ± 1,30	91 ab ± 1,84	57,5 cd ± 1,05	3,8 b ± 0,83	7,6 ab ± 3,65	32 d ± 4,92	292 b ± 5,22	0,90 b ± 0,11
min - max	13,5-14,3	30,5-35,6	26,0-50,0	97,6-150,0	6,0-9,8	89-93	56,4-58,6	3,0-5,0	3,5-11,5	26-38	285-298	0,76-1,02
STH 10	13,6 de ± 1,2	31,8 fg ± 3,53	41,1 a ± 7,30	104,6 c ± 64,26	10,0 b ± 1,95	82 e ± 2,19	54,3 g ± 1,78	2,5 cd ± 0,35	8,1 a ± 2,41	52 a ± 16,19	189 h ± 21,47	0,29 f ± 0,04
min - max	12,5-15,5	27,1-37,4	31,6-50,0	11,5-150,0	8,0-13,1	79-85	52,2-56,4	2,0-3,0	5,5-11,0	33-72	160-218	0,23-0,33
Jarlanka	13,5 e ± 0,31	31,3 gh ± 0,90	34,2 c ± 7,13	150,0 a ± 0	6,9 e ± 0,46	90 bc ± 1,46	56,5 def ± 1,58	3,9 b ± 1,14	5,6 de ± 1,67	35 bcd ± 6,76	249 ef ± 35,21	0,62 cd ± 0,14
min - max	13,0-13,9	29,8-32,2	26,2-46,5	150,0-150,0	5,9-7,4	89-92	54,5-58,7	2,5-5,0	3,5-7,5	26-45	209-286	0,46-0,81
Rok zbioru ziarna / Year off grain harvest												
2019	13,5 b ± 0,58	31,4 b ± 2,39	26,7 c ± 5,04	150,0 a ± 0	7,4 b ± 1,50	—	—	—	—	—	—	—
min - max	12,4-14,4	27,1-35,2	18,9-35,9	150,0-150,0	5,1-10,6	—	—	—	—	—	—	—
2020	13,2 c ± 0,64	31,8 b ± 2,96	31,3 b ± 7,30	150,0 a ± 0	7,8 b ± 1,89	88 a ± 2,98	57,9 a ± 2,22	4,0 a ± 1,27	7,9 a ± 2,27	37 b ± 9,97	244 b ± 46,36	0,69 b ± 0,29
min - max	11,7-14,2	25,9-39,8	18,1-42,0	150,0-150,0	3,6-13,3	83-94	54,1-61,8	2,5-6,5	4,0-12,0	18-55	160-338	0,23-1,39
2021	14,3 a ± 0,89	36,7 a ± 5,32	48,9 a ± 2,65	69,9 b ± 52,97	11,8 a ± 3,27	87 b ± 5,53	56,4 b ± 2,17	3,0 b ± 0,89	4,5 b ± 2,07	48 a ± 13,68	259 a ± 55,15	0,92 a ± 0,53
min - max	12,9-15,9	28,7-47,6	40,7-50,0	11,5-150,0	7,1-17,0	77-94	52,2-60,7	2,0-5,0	1,5-10,5	24-72	187-394	0,29-2,17

a, b, c, ... – grupy homogeniczne średnich; STR (°) – kąt rozciągania; STR (s) – czas rozciągania; RXT (°) – kąt relaksacji; IG – indeks glutenu; WA – wodochłonność; W – praca odkształcenia; P/L – stosunek sprężystości do rozciągliwości.
a, b, c, ... – means homogeneous groups; STR (°) – stretching angle; STR (s) – stretching time; RXT (°) – relaxation angle; IG – gluten index; WA – water absorption; W – water absorption; P/L – tenacity to extensibility ratio.

wartości, w porównaniu do badanych rodów hodowlanych. Badania Yildirim i Atasoy (2020) wskazują na istotny wpływ czynnika genetycznego na wartości parametrów glutograficznych. Natomiast wśród czynników wpływających na zróżnicowanie wodorochłonności w zależności od odmiany pszenicy, wymienieni autorzy wskazują odmianę pszenicy, twardość ziarniaka i stopień uszkodzenia skrobi. W badaniach Kaplan-Evllice i in. (2016) pszenice chlebowe charakteryzowały się czasem rozciągania na poziomie 101 s, a w badaniach Keçeli i in. (2017) w zakresie od 13 do 125 s. Natomiast pszenice durum w badaniach Kaya (2018) charakteryzowały się wartością omawianego parametru na poziomie 82,5 s, a w badaniach Yildirim i Atasoy (2020) w zakresie 69-81 s.

Współzależności pomiędzy badanymi cechami jakościowymi, a w szczególności związki pomiędzy parametrami oceny jakości glutenu i wskaźnikami oceny cech reologicznych ciasta, scharakteryzowano poprzez analizę składowych głównych – PCA (Principal Component Analysis). Wykazała ona trzy istotne składowe główne. Dwie pierwsze z nich, wyjaśniające łącznie 60,9% całkowitej zmienności, zostały wzięte pod uwagę na potrzeby niniejszego opracowania. Projekcja zmiennych na płaszczyznę dwóch pierwszych składowych głównych, wskazuje zależności powstałe pomiędzy

analizowanymi parametrami jakościowymi (Rys. 2). Cechami o najniższych wariancjach, a więc najmniejszym wkładzie informacyjnym dla powstałego modelu były: praca odkształcenia W, stosunek sprężystości do rozciągliwości P/L oraz czas stałości ciasta (najkrótsze wektory). Dokonano interpretacji głównych składowych, na podstawie najsilniej skorelowanych z nimi obserwowanych cech. Pierwsza składowa główna (PC1) dodatnio korelowała z parametrami: ilość glutenu ($r = 0,75$), zawartość białka ($r = 0,71$), kąt relaksacji RXT ($^{\circ}$) ($r = 0,83$) i kąt rozciągania STR ($^{\circ}$) ($r = 0,82$), a ujemnie z: czasem rozciągania STR (s) ($r = -0,89$), indeksem glutenu IG ($r = -0,62$) oraz czasem stałości ciasta ($r = -0,62$). Druga składowa główna (PC2) została skonstruowana głównie w oparciu o parametry dodatnio z nią korelujące jak: czas rozwoju ciasta ($r = 0,79$), wodorochłonność WA ($r = 0,70$) oraz ujemnie korelujące jak rozmiękczenie ciasta ($r = -0,51$). Na podstawie układu wektorów reprezentujących poszczególne parametry jakościowe oceniono ich wzajemne relacje, kształtujące się na przełomie trzech lat badań (2019-2021) (Rys. 2). Charakterystykę wzajemnych zależności pomiędzy analizowanymi cechami, uzupełniono o wartości współczynników korelacji liniowej Pearsona, w oparciu o dane z lat 2020-2021 (Tab. 4).



Rys. 2. Wykres parametrów jakościowych - położenie wektorów zmiennych pierwotnych, względem dwóch pierwszych składowych głównych. STR ($^{\circ}$) – kąt rozciągania, STR (s) – czas rozciągania, RXT ($^{\circ}$) – kąt relaksacji, IG – indeks glutenu, WA – wodorochłonność, W – praca odkształcenia, P/L – stosunek sprężystości do rozciągliwości.

Fig. 2. Qualitative parameters chart - original variables vectors in relation to the first two principal components. STR ($^{\circ}$) – stretching angle, STR (s) – stretching time, RXT ($^{\circ}$) – relaxation angle, IG – gluten index, WA – water absorption, W – baking strength, P/L – tenacity to extensibility ratio.

Tabela 4
Table 4Wartości współczynników korelacji liniowej Pearsona, pomiędzy analizowanymi cechami
Pearson's linear correlation coefficients values between the analyzed features

	Zawartość białka Protein content	Ilość glutenu Gluten content	STR (°)	STR (s)	RXT (°)	IG	WA	Czas rozwoju Deve- lopment time	Czas stałości Stability	Rozmiękczenie Softening degree	W
Ilość glutenu Gluten content	0,759***										
STR (°)	0,496***	0,493***									
STR (s)	-0,664***	-0,751***	-0,703***								
RXT (°)	0,445**	0,607***	0,558***	-0,737***							
IG	-0,434**	-0,654***	-0,304*	0,610***	-0,624***						
WA	-0,097	0,212	-0,210	0,182	-0,308*	0,031					
Czas rozwoju Development time	-0,123	0,180	-0,216	0,171	-0,213	-0,179	0,752***				
Czas stałości Stability	-0,475**	-0,353*	-0,523***	0,343*	-0,229	-0,126	0,124	0,378*			
Rozmiękczenie Softening degree	0,288.	0,058	0,449*	-0,365*	0,313*	-0,122	-0,400**	-0,558***	-0,631***		
W	0,263.	0,340*	-0,009	-0,113	-0,332*	0,198	0,449**	0,192	-0,247	-0,244	
P/L	-0,054	-0,145	0,055	0,118	0,016	0,436**	-0,046	-0,318*	-0,234	0,153	0,090

* – istotne przy $p < 0,1$; ** – istotne przy $p < 0,05$; *** – istotne przy $p < 0,01$;

STR (°) – kąt rozciągania; STR (s) – czas rozciągania; RXT (°) – kąt relaksacji; IG – indeks glutenu; WA – wodochłonność; W – praca odkształcenia; P/L – stosunek sprężystości do rozciągliwości.

* – significant at $p < 0.1$; ** – significant at $p < 0.05$; *** – significant at $p < 0.01$;

STR (°) – stretching angle; STR (s) – stretching time; RXT (°) – relaxation angle; IG – gluten index; WA – water absorption; W – baking strength; P/L – tenacity to extensibility ratio.

Wzrost zawartości białka był dodatnio skorelowany ze wzrostem ilości wymytego glutenu ($r = 0,759$), co jest zgodne ze wcześniejszymi badaniami Ahmad i in. (2017) oraz Szafrąńskiej i Stępniewskiej (2020). Tendencja ta wiązała się z pogorszeniem jakości glutenu mierzonym indeksem glutenu ($r = -0,434$), który w przypadku silnej struktury glutenu przejmuję wartości powyżej 80 (Yildirim i Atasoy, 2020). Czas rozwoju ciasta był silnie związany z wodochłonnością mąki ($r = 0,752$). Parametry te, podobnie jak czas stałości ciasta ($r = -0,631$), były ujemnie skorelowane z rozmiękczeniem ciasta. Matuz i in. (1999) we wcześniejszych badaniach stwierdzili korzystny wpływ wzrostu wodochłonności mąki na zwiększenie czasu stałości ciasta i wzrost jego oporności na odkształcenia mechaniczne. Badając charakter relacji parametrów glutograficznych zauważono, że wzrost kąta rozciągania STR (°) wiązał się ze wzrostem kąta relaksacji RXT (°) ($r = 0,558$), a towarzyszyło im skrócenie czasu rozciągania STR (s) (odpowiednio $r = -0,703$; $r = -0,737$). Wraz ze wzrostem wartości IG, malała wartość STR (°) ($r = -0,304$) i RXT (°) ($r = -0,624$), a rosła STR (s) ($r = 0,610$). Silny związek parametrów glutograficznych i indeksu glutenu zauważyli Kaplan-Evlice i in. (2020). Badali oni wielkość plonu oraz wpływ rozciągania i relaksacji, jak również genotypu i środowiska na niektóre parametry jakościowe ziarna pszenicy. Autorzy ci stwierdzili istotne zależności rozciągania glutenu od wartości wypiekowej W ($r = 0,714$), sprężystości ciasta P ($r = 0,419$), indeksu glutenu ($r = 0,857$), wskaźnika sedymentacyjnego Zeleny'ego ($r = 0,520$) oraz rozmiękczenia ciasta ($r = -0,535$). Istotne zależności relaksacji glutenu stwierdzono z wartością wypiekową W ($r = -0,705$), sprężystością cia-

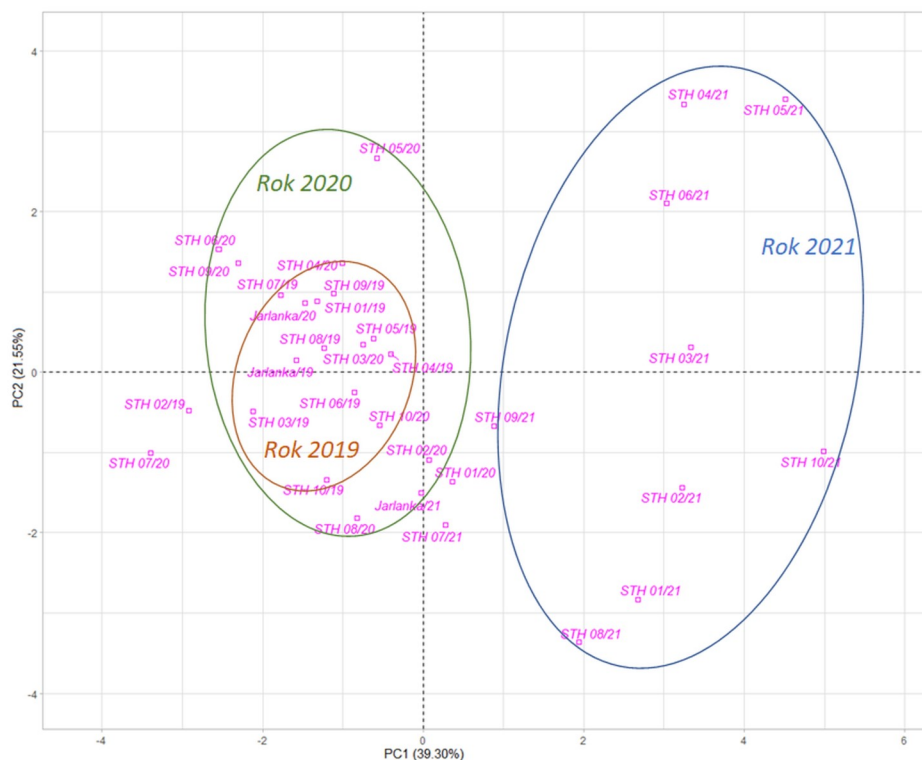
sta P ($r = -0,447$), indeksem glutenu ($r = -0,874$) i wskaźnikiem sedymentacyjnym Zeleny'ego ($r = -0,497$), a także rozmiękczeniem ciasta ($r = 0,537$). Natomiast relacja parametrów glutograficznych z zawartością białka, ilością glutenu, wodochłonnością mąki, a także objętością pieczywa były nieistotne statystycznie.

Zaharia i in. (2014) przeprowadzili analizę PCA w celu ustalenia relacji między parametrami określanymi za pomocą glutografu, farinografu i innymi parametrami jakościowymi, takimi jak wilgotność, ilość i indeks glutenu, zawartość białka, popiołu czy liczba opadania. Wyniki wykazały istotną korelację między rozpylnością glutenu, a indeksem glutenu i parametrami z glutografu. Parametr relaksacji był dodatnio skorelowany z rozmiękczeniem ciasta, a ujemnie ze stałością ciasta i czasem rozwoju ciasta. Parametr rozciągania glutenu był dodatnio skorelowany ze stałością ciasta i czasem rozwoju, a ujemnie z rozmiękczeniem. W badaniach własnych wykazano istotne statystycznie zależności pomiędzy kątem rozciągania i czasem stałości ($r = -0,523$) oraz dodatnią korelację pomiędzy kątem relaksacji i rozmiękczeniem ciasta ($r = 0,313$). Wyniki badań Alamri i in. (2009 a) wskazują na istotne zależności parametru rozciągania glutenu (wyrażonego w sekundach) od stałości ciasta w ocenie farinograficznej ($r = 0,578$), sprężystości ciasta P ($r = 0,524$) i wartości wypiekowej W ($r = 0,448$) w ocenie alveograficznej, a także parametrów ekstensograficznych ciasta. Natomiast relaksacja (wyrażona w BU – jednostkach Brabendera), była istotnie ujemnie skorelowana z czasem stałości ciasta ($r = -0,431$), oporem ciasta po 45 min w badaniach ekstensograficznych ($r = -0,436$), a także dodatnio skorelowana z rozciągliwością alveogra-

ficzną L ciasta ($r = 0,427$) i rozciągliwością ekstensograficzną ciasta po 45, 90 i 135 min (odpowiednio: $r = 0,507$; $r = 0,613$ i $r = 0,517$). W badaniach własnych, podobnie jak w omawianych pracach, nie stwierdzono istotnych zależności parametrów glutograficznych z wodochłonnością mąki czy czasem rozwoju ciasta. Dalsze badania Alamri i in. (2009 b), w zakresie możliwości wykorzystania glutografu, w ocenie jakości pszenicy durum, wykazały wysokie współczynniki korelacji, pomiędzy rozciąganiem określanym za pomocą glutografu, a następującymi parametrami, tradycyjnie wykorzystywanymi w ocenie jakości ciasta: czas rozwoju ciasta ($r = 0,946$), czas stałości ciasta ($r = 0,988$), sprężystość P ($r = 0,995$); cechy ekstensograficzne, takie jak opór ciasta po 45, 90 i 135 min ($r > 0,96$). Ujemne zależności stwierdzono między relaksacją glutenu, a większością parametrów oceny cech reologicznych określonych za pomocą farinografu, alweografu i ekstensografu. W większości były to jednak zależności nieistotne statystycznie.

Rozmieszczenie badanych genotypów, w układzie dwóch pierwszych składowych głównych PC1 i PC2, wskazuje na ich duże zróżnicowanie w zakresie badanych parametrów (Rys. 3). Próbkki, które zostały zgrupowane w prawej dolnej części wykresu (jak np.: STH 01/21, STH 02/21,

STH 03/21, STH 08/21, STH 10/21), odznaczały się wysokim: rozmiękczeniem ciasta, kątem rozciągania STR ($^{\circ}$) oraz kątem relaksacji RXT ($^{\circ}$), a niskimi wartościami parametrów: czas rozwoju ciasta, praca odkształcenia W, wodochłonność WA, czas rozciągania STR (s) oraz czas stałości ciasta, co wskazuje na słabą jakość badanych obiektów. Próbkki, które zostały zgrupowane w prawej górnej części wykresu (jak np.: STH 03/21, STH 04/21, STH 05/21, STH 06/21) charakteryzowały się wysoką wartością parametrów: ilość glutenu, zawartość białka, RXT ($^{\circ}$), STR ($^{\circ}$), oraz W, a także niskimi wartościami IG i STR (s). Wskazane obiekty charakteryzowały się słabą jakością glutenu, który był podatny na odkształcenia mechaniczne. Obiekty, które zostały pogrupowane na lewo od osi PC2 (próbki ziarna ze zbiorów 2019 i 2020 roku), odznaczały się lepszymi parametrami jakościowymi, o czym świadczą wysokie wartości wskaźników: STR (s), IG, czas stałości, czas rozwoju ciasta i WA; jednocześnie niskimi wartościami STR ($^{\circ}$), RXT ($^{\circ}$), zawartością białka, ilością glutenu i rozmiękczeniem ciasta. Charakteryzowały się więc dobrą i bardzo dobrą jakością technologiczną. Tylko próbki badane w latach 2019 i 2020 tworzyły skupienia, wskazujące na przynależność genotypową, w układzie współrzędnych dwóch pierwszych składowych



Rys. 3. Wykres analizowanych prób poszczególnych genotypów w latach 2019-2021, zrzuconych na dwie pierwsze składowe główne (PC1, PC2). STH 01/19 – STH 10-19, Jarlanka/19 – próby badane w roku 2019; STH 01/20 – STH 10-20, Jarlanka/20 – próby badane w roku 2020; STH 01/21 – STH 10-21, Jarlanka/21 – próby badane w roku 2021

Fig. 3. Graph of the analyzed samples of individual genotypes in the years (2019-2021), projected onto the first two principal components (PC1, PC2). STH 01/19 - STH 10-19, Jarlanka/19 - samples tested in 2019; STH 01/20 - STH 10-20, Jarlanka/20 - samples tested in 2020; STH 01/21 - STH 10-21, Jarlanka/21 - samples tested in 2021

głównych. I tak dla przykładu: próbki Jarlanka/19 i Jarlanka/20; STH 04/19 i STH 04/20 czy STH 10/19 i STH 10/20, w dwóch kolejnych sezonach badań znajdowały się w niewielkich odległościach od siebie, co świadczyło o większej stabilności tych genotypów. Wyniki przedstawione na wykresie potwierdzają różnicujące działanie warunków pogodowych panujących w roku 2021, dla którego zaobserwowano wydzielenie odrębnej grupy próbek (na prawo od osi PC2).

Podsumowanie

Badane próbki ziarna pszenicy i uzyskanej mąki cechował zróżnicowany poziom analizowanych parametrów technologicznych oraz różna zdolność do utrzymywania ich stabilności w latach. Zidentyfikowano parametry zależne genotypowo (praca odkształcenia W, indeks glutenu IG, stosunek sprężystości do rozciągliwości P/L, czas rozwoju ciasta, wodochłonność WA) oraz takie, które silnie ulegały wpływom warunków wzrostu roślin (czas rozciągania STR (s), kąt rozciągania STR (°), kąt relaksacji RXT (°)). Obie wyróżnione grupy stanowią bazę do odpowiedniego postępowania selekcyjnego. Hodowca dzięki wiedzy, które parametry charakteryzuje stabilność, zyskuje wysoką skuteczność selekcji w ich zakresie. Natomiast w odniesieniu do parametrów silnie modyfikowanych czynnikami zewnętrznymi, stosuje testowanie w różnych warunkach, aby zidentyfiko-

wać genotypy mające zdolność utrzymywania odpowiedniego poziomu cech jakościowych, nawet w niesprzyjających warunkach. Zastosowanie w niniejszej pracy glutografu umożliwiło wyodrębnienie obiektów zdolnych do utrzymywania małej aktywności enzymów proteolitycznych, a w związku z powyższym utrzymywania dobrej jakości mechanicznej glutenu.

Wykazano, że parametry odczytywane z wykresu glutografu pozostają w stałych zależnościach z wieloma parametrami oceny cech reologicznych ciasta, standardowo wykorzystywanych do badania jakości mąki (jak IG, rozmiękczenie ciasta, czas stałości ciasta). Skrócony czas analizy, niewielka skala oznaczenia oraz techniczna prostota metody czyni glutograf urządzeniem przydatnym w kontekście szybkiego testu przesiewowego w procesie selekcji genotypów pszenicy, na wczesnych etapach hodowlanych.

Podziękowania

Badania przeprowadzono w ramach projektu: „Uzyskanie nowej generacji polskich odmian rzepaku, zbóż oraz bobowatych odpornych na nowe rasy agrofagów, o lepszych zdolnościach mitygacji i adaptacji do zmian klimatu, o odpowiednich cechach technologicznych wymaganych przez konsumentów i przemysł”; Wsparcie prac przemysłowych – jakość ziarna zbóż. Numer Projektu: POIR. 01.01.01-00-0782/16-00.

Literatura

- Ahmad S., Pasha I., Saeed M., Shahid M., 2017. Principal component analysis and correlation studies of spring wheat in relation to cookie making quality. *International Journal of Food Properties*, Col. 20 (10): 2299-2313.
- Alamri M., Manthey F., Mergoum M., Elias E., Khan K., 2009 a. Assessing spring wheat quality using the glutograph instrument. *Cereal Foods World*, Vol. 54 (3): 124-131.
- Alamri M., Manthey F., Mergoum M., Elias E., Khan K., 2009 b. Use of the glutograph instrument in durum wheat quality evaluation. *Plant Sciences Research*, 2(3): 23-32.
- Anonim, 2017. Glutograph-E. Testing the quality of wet and dry gluten. Materiały informacyjne firmy Brabender® GmbH & Co. KG.
- Blumenthal C.S., Barlow E.W.R., Wrigley C.W., 1993. Growth environment and wheat quality: the effect of heat stress on dough properties and gluten proteins. *Journal of Cereal Science*, 18, 3-21.
- Cato L., Mullan D., 2020. Chapter 8 – Wheat quality: wheat breeding and quality testing in Australia. In: *Breadmaking*, edytor: Cauvain S.P., 221-259. Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition, Woodhead Publishing.
- Cecchini C., Bresciani A., Menesatti P., Pagani M.A., Marti A., 2021. Assessing the Rheological Properties of Durum Wheat Semolina: A Review. *Foods*. 10(12):2947. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods10122947>
- Codina G.G., Mironeasa S., Bordei D., Leahu A., 2010. Mixolab versus alveograph and falling number. *Czech Journal of Food Sciences* 28(3): 185-191.
- Daniel C., Triboi E., 2000. Effect of temperature and nitrogen nutrition on the grain composition of winter wheat: effects on gliadin content and composition. *Journal of Cereal Science*, 32, 45-56.
- Kaplan-Evlice A., Pehlivan A., Külen S., Keçeli A., Şanal T., Karaca K., Salantur, A., 2016. Ekmeklik Buğday (*Triticum aestivum* L.) Genotiplerinde Ekmek Hacmi ve Bazı Kalite Parametreleri Arasındaki İlişkilerin İncelenmesi. *Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 25 (special issue 1), 12-18.
- Kaplan-Evlice A., Pehlivan A., Şanal T., Salantur A., Kilic G., Dugan C., Boyacı I.H., Koksel H., 2020 Utilization potential of Glutograph in wheat breeding programs and the influence of genotype and environment on bread wheat quality. *Cereal Chem.* 97: 634– 641.
- Kaya A., 2018. Nohudun Erişte Kalitesine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi. Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Şanlıurfa, 137 s.
- Keçeli A., Kaplan-Evlice A., Pehlivan A., Şanal T., Karaca K., Külen S., Seis-Subaşı A., Salanturksu A., 2017. Ekmeklik Buğdayda (*Triticum aestivum* L.) Zeleny Sedimentasyon Analizi ve Diğer Kalite Parametreleri ile İlişkisinin İncelenm. *Journal of Nature and Science*, 20, 292-296.
- Lorenz K., Roewe-Smith P., Kulp K., Bates L., 1983. Preharvest sprouting of winter wheat. II. Amino acid composition and functionality of flour and flour fractions. *Cereal Chemistry*, 60, 360-366.
- Lukow O.M., Bushuk W., 1984. Influence of germination on wheat quality. I. Functional (breadmaking) and biochemical properties. *Cereal Chemistry*, 61, 336-339.

- Matuz J., Markovics E., Acs E., Veha A., 1999. Study of relationships between the technological quality characters of flour of winter wheat cultivars (in Hungarian). *Novenytermeles*, 48, 243-253.
- Miś A., 2005. Wpływ wybranych czynników na wodochłonność i właściwości reologiczne glutenu pszenicy zwyczajnej (*Triticum aestivum* L.). *Acta Agrophysica, Rozprawy i Monografie* 2005(8).
- Newberry M., Zwart A.B., Whan A., Micog J.C., Sun M., Leyne E., Pritchard J., Daneri-Castro S.N., Ibrahim K., Diepeveen D., Howitt C.A., Ral J.-P.F., 2018. Does Late Maturity Alpha-Amylase Impact Wheat Baking Quality? *Frontiers in Plant Science*, Vol. 9. 1356.
- Peña R.J., Posadas-Romano G., Espinosa-Garcia B.M., Dubat A., 2007. Evaluation of gluten and starch quality parameters with the Chopin – Mixolab and other traditional flour and dough testing instruments. *Conferencia Internacional Cereales y Productos de Cereales Calidad e Inocuidad I; Rosario (Argentina)*: 23-26.
- PN-EN ISO 21415-2:2015-12, 2015. Pszenica i mąka pszenna - Ilość glutenu - Część 2: Oznaczanie glutenu mokrego i indeksu glutenu za pomocą urządzeń mechanicznych.
- PN-EN ISO 27971:2015-07, 2015. Ziarno zbóż i przetwory zbożowe - Pszenica zwyczajna (*Triticum aestivum* L.) - Oznaczanie właściwości alveograficznych ciasta przy stałym dodatku wody dla mąki handlowej lub laboratoryjnej oraz procedura przemiału laboratoryjnego.
- Rakita S., Torbica A.M., Dokić L.P., Tomić J.M., Pojić M.M., Hadnadev M.S., Dapčević Hadnadev T.R., 2015. Alpha-amylase activity in wheat flour and breadmaking properties in relation to different climatic conditions. *Food and Feed Research*, 42(2): 91-99.
- Szafrńska A., Stępniewska S.M., 2021. Changes in bread making quality of wheat during postharvest maturations. *International Agrophysics*. 35(2): 179-185.
- Yang Y., Chai Y., Zhang X., Lu S., Zhao Z., Wei D., Chen L., Hu Y.-G., 2020. Multi-Locus GWAS of Quality Traits in Bread Wheat: Mining More Candidate Genes and Possible Regulatory Network. *Frontiers in Plant Science*, Vol. 11, 1091. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.01091>
- Yıldırım A., Atasoy A.F., 2020. Quality characteristics of some durum wheat varieties grown in Southeastern Anatolia Region of Turkey (GAP). *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 24(4): 420-431. DOI: <https://doi.org/10.29050/harranziraat.738505>
- Zaharia D., Danciu I., Codina G.G., Mironeasa S., Mironeasa C., 2014. Relationships of glutograph parameters with farinograph and wheat flour characteristics. *Journal of Food, Agriculture and Environment*, 12 (1): 33-36.