

MARIA BINDER, ANNA PRUSKA-KĘDZIOR, ZENON KĘDZIOR,
MAGDALENA JANKOWSKA, EWELINA CHOJNACKA

CHARAKTERYSTYKA SKŁADU FRAKCYJNEGO I WŁAŚCIWOŚCI REOLOGICZNYCH BIAŁKA WYPEŁNIAJĄCEGO ZIARNA ŻYTA

Streszczenie

Celem pracy było określenie metodą reologii podstawowej, czy struktura utworzona przez uwodnione, wypełniające białko żyta wykazuje cechy reologiczne charakterystyczne dla glutenu pszennego. Ziarno trzech odmian żyta przemielono na mąkę, z której metodą pneumoseparacji otrzymano wysokobiałkową frakcję o granulacji $<15 \mu\text{m}$. Przeprowadzono charakterystykę technologiczną ziarna żyta, mąki i frakcji mąki o granulacji $<15 \mu\text{m}$. Frakcja mąki o granulacji $<15 \mu\text{m}$ zawierała prawie dwukrotnie więcej białka niż mąka wyjściowa. Z frakcji tej wyodrębniono metodą sedymentacji różnicowej preparaty białka wypełniającego o zawartości $\geq 90\%$ białka ($N \times 6,25$). Metodą ekstrakcji trójstopniowej oznaczono zawartość albumin i globulin oraz prolamin i glutelin w białku mąki i frakcji mąki o granulacji $<15 \mu\text{m}$. Właściwości lepkosprężyste uwodnionych preparatów białka wypełniającego badano metodą reometrii dynamicznej ścinania oscylacyjnego. Spektra mechaniczne wyznaczono w zakresie częstotliwości $0,001 - 200 \text{ rad/s}$, a następnie analizowano metodą Cole-Cole, wyznaczając parametry: J_N^0 – podatność lepkosprężystego plateau, moduł lepkosprężystego plateau G_N^0 , ω_0 – charakterystyczną częstotliwość pików stratności i n – parametr określający szerokość pików stratności. Wyznaczone spektra mechaniczne dowodzą jednoznacznie, że w uwodnionych preparatach białka wypełniającego powstała struktura sieci glutenowej, która jest podobna fizycznie do sieci przestrzennej glutenu pszennego, lecz o mniejszej gęstości usieciowania.

Słowa kluczowe: żyto, białko wypełniające, gluten żytni, reologia dynamiczna, spektrum mechaniczne, metoda Cole-Cole

Wprowadzenie

Z ciasta żytniego nie można uzyskać glutenu w standardowych warunkach wy-mywania, jak to ma miejsce w przypadku ciasta pszennego. Jest to pochodną znacznie większej zawartości polisacharydów nieskrobiowych, zwłaszcza pentozanów [7, 8, 11, 12] oraz odmiennej proporcji prolamin (sekaliny I) do glutelin (sekaliny II). Jednak

Mgr inż. M. Binder, dr hab. inż. A. Pruska-Kędzior, dr hab. inż. Z. Kędzior, mgr inż. M. Jankowska, mgr inż. E. Chojnacka, Instytut Technologii Żywności Pochodzenia Roślinnego, Wydz. Nauk o Żywności i Żywieniu, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, ul. Wojska Polskiego 31, 60-624 Poznań

w latach 50. ubiegłego wieku udowodniono, że po wyodrębnieniu preparatu białka wypełniającego z mąki żytniej można z uformowanego z niego ciasta wymyc substancję podobną do glutenu pszennego [7, 9, 10, 16]. Od tamtych badań nie pojawiły się publikacje poświęcone glutenowi żytniemu, pomimo że rozwinięte zostały metody reologii oscylacyjnej badania właściwości układów lepkosprężystych.

W formowaniu struktury ciasta chlebowego pszennego największe znaczenie mają uwodnione białka glutenowe tworzące lepkosprężystą matrycę o dużej zdolności utrzymywania pęcherzyków gazu [2, 9, 13, 16, 17, 29]. Ciasto chlebowe pszenne badane metodami reologii podstawowej wykazuje właściwości cieczy lepkosprężystej [5]. W zakresie dużych odkształceń względnych ciasto pszenne wykazuje właściwości ciała lepko-plastyczno-sprężystego [1, 10, 20].

W kształtowaniu struktury żytniego ciasta chlebowego największe znaczenie mają skrobia i pentozany rozpuszczalne w wodzie, które wraz ze spęcznianymi białkami glutenowymi żyta (sekalinami) tworzą skoncentrowany układ koloidalny o właściwościach lepkoplastycznych, charakteryzujący się znacznie mniejszą zdolnością utrzymywania pęcherzyków gazu w porównaniu z ciastem pszenным [1, 21, 25]. Powszechnie uważa się, że białka mąki żytniej, mimo zbliżonego składu chemicznego i frakcyjnego do białek mąki pszennej, nie biorą udziału w tworzeniu matrycy ciasta. Za czynnik hamujący możliwość tworzenia przez białka zapasowe mąki z ziarna żyta struktury przestrzennej typu matrycy glutenu pszennego podaje się dużą zawartość pentozanów w ziarnie żyta oraz ich zdolność pochłaniania znacznych ilości wody [1, 7, 29].

W literaturze przedmiotu publikowane są głównie badania dotyczące charakterystyki chemicznej i biochemicznej białek zapasowych żyta oraz struktury mikroskopowej ciasta żytniego w powiązaniu z jego wartością wypiekową i żywieniową [7, 10, 15, 17, 18]. Również bardzo nieliczne i powierzchowne są prace dotyczące reologii technologicznej ciasta żytniego [2, 10, 12, 24]. Dotychczas nie opublikowano żadnych danych dotyczących badania i kwantyfikacji właściwości reologicznych glutenu żytniego wyznaczonych metodami reologii podstawowej.

Celem pracy było określenie metodą reologii podstawowej, czy struktura utworzona przez uwodnione, wypełniające białko żyta wykazuje cechy reologiczne glutenu oraz charakterystyka właściwości reologicznych glutenu żytniego.

Material i metody badań

Wyjściowy materiał doświadczalny stanowiło ziarno żyta ozimego 3 odmian: 'Amilo', 'Dańkowskie Diament' i 'Dańkowskie Nowe', pochodzące ze zbiorów z roku 2010 z Zakładu Hodowli Roślin „Danko” w Choryni. Kryterium doboru prób była wartość przemiałowa i wypiekowa, w tym zawartość białka w ziarniaku.

Ziarno żyta dowilżono na dobę przed przemiałem do wilgotności 14,75 %, następnie przemielono na mąkę w młynie laboratoryjnym Quadrumat Senior (Brabender, RFN). Otrzymaną mąkę rozdrabniano 1 h w młynie kulowym; stosunek masy mąki żytniej do masy kul porcelanowych wynosił jak 0,174 : 1,0. Mąkę żytnią miałką poddano sortowaniu metodą pneumoseparacji w pneumoseparatorze laboratoryjnym MultiPlex Labor ZZ Sichter A100 MZ (Alpine, RFN). Przyjęto punkt podziału między frakcją lekką (bogata w białko) i ciężką (bogata w skrobię) równy 15 μm , przy założeniu, że gęstość białka wypełniającego żyta wynosi 1,36 g/ml [1-3, 12, 28].

Z mąki wysokobiałkowej o granulacji <15 μm wyodrębniono preparat białka wypełniającego metodą sedymentacji różnicowej w środowisku niepolarnym o gęstości 1,38 g/ml [11, 12]. Sedymentacja zachodziła w sposób naturalny, grawitacyjnie, w ciągu 48 h. Warstwę preparatu białka wypełniającego zbierano z powierzchni płynu, a osad skrobi odrzucano. Preparat białka wypełniającego suszono w temp. 20 °C. Suchy preparat proszkowano i przechowywano w szczelnie zamkniętych kapsułach.

Suchą masę badanych materiałów oznaczano metodą suszarkową [23], a zawartość białka metodą Kjeldahla, przyjmując wartość przelicznika azotu $\text{N} \times 6,25$ [7, 11, 17].

Właściwości układu białkowo-proteolitycznego mąk żytnich charakteryzowano, wykonując oznaczenie liczby sedymentacyjnej. Wysokość osadu została przeliczona na mąkę o wilgotności 14 %. Właściwości układu skrobiowo-amylopolitycznego prób mąki charakteryzowano oznaczając liczbę opadania.

Skład frakcyjny układu białkowego mąki żytniej oraz frakcji mąki o granulacji <15 μm oznaczano metodą ekstrakcji trójstopniowej metodą Coatesa i Simmonsa w wersji zmodyfikowanej przez Jankiewicza [1, 22]. Zespół białek albuminowych i globulinowych ekstrahowano przy użyciu 0,01 M buforu pirofosforanowego o pH 7,0. Prolaminy (sekaliny I) ekstrahowano za pomocą 0,05 M kwasu octowego, natomiast gluteliny (sekaliny II) dyspergowano w środowisku 0,1 M NaOH.

Badania właściwości lepkosprężystych uwodnionych preparatów białka wypełniającego żyta wykonywano za pomocą reometru rotacyjno-oscylacyjnego DSR 500, firmy Rheometric Scientific, USA. Badania wykonywano w układzie pomiarowym stożek – płytką (średnica stożka 25 mm, kąt pomiędzy tworzącą stożka i płytką 0,1 rad). Przed rozpoczęciem badań stabilizowano temperaturę układu pomiarowego na poziomie 20 °C.

Próbkę 550 mg preparatu białka wypełniającego żyta uwadniano dwustopniowo. Hydratację wstępną prowadzono w naczyniu wirówkowym wprawionym w ruch wirowy na mieszadle „Vortex”, dosypując małe porcje preparatu do 1 ml wody destylowanej, tak by czynność ta nie przekroczyła 15 min, po czym próbkę pozostawiano w spoczynku do uwodnienia i napęcznienia przez 30 min. Po tym czasie w celu uniknięcia spontanicznych reakcji wymiany SH/S-S podczas pomiarów reometrycznych

dodawano do naczynia 4 ml 0,1 M wodnego roztworu N-etylomaleinimidu (NEMI) i poddawano ponownemu wytrząsaniu wibracyjnemu przez 1 min. Po kolejnych 30 min uwodnione próbki preparatu białka wypełniającego wirowano w wirówce Janetzki K-24 przez 15 min przy 10 000 obr./min w temp. 4 °C. Po wirowaniu zlewano płyn nadosadowy, krążek osadu umieszczano na płytce reometru i ustawiano szczelinę pomiarową 0,056 mm. Swobodną powierzchnię próbki zabezpieczano przed wysychaniem warstwą oleju parafinowego. Próbkę pozostawiano w spoczynku na 1 h w celu relaksacji naprężeń indukowanych w materiale podczas ustalania szczeliny pomiarowej.

Wyznaczono spektra mechaniczne uwodnionych preparatów białka wypełniającego żyta w zakresie częstotliwości oscylacji $\omega = 0,001 - 200$ rad/s i przy odkształceniu względnym $\gamma = 3$ %. Warunek liniowej lepkości sprężystości był zachowany przez badane preparaty do wartości odkształcenia względnego $\gamma = 10$ %.

Wszystkie oznaczenia chemiczne i technologiczne, bilans ekstrakcyjny białka, jak również doświadczenia reologiczne wykonano co najmniej w dwóch powtórzeniach. Podstawowe obliczenia wykonano za pomocą programu Microsoft Office Excel. Analizę matematyczną danych reologicznych przeprowadzono z użyciem programów obliczeniowych Sigma Plot, wersja 9 i Table Curve 2D, wersja 4, firmy Systat.

Wyniki i dyskusja

Ogólną charakterystykę badanych materiałów przedstawiono w tab. 1. Zawartość białka w mące żytniej mieściła się w przedziale od 4,8 % ('Dańkowskie Nowe') do 6,3 % ('Dańkowskie Diament'). Frakcja mąki o granulacji <15 μm zawierała przeciętnie dwukrotnie więcej białka. Preparaty białka wypełniającego zawierały od 89,5 % ('Amilo') do 91,4 % białka ('Dańkowskie Nowe'), co odpowiada największym zawartościom białka w glutenie z pszenicy zwyczajnej [8, 17, 27]. W mące żytniej w zasadzie nie oznacza się liczby sedymentacyjnej, jednak w celu oszacowania różnic zdolności pęcznienia białka wypełniającego żyta wykonano to oznaczenie. Mąki z żyta 'Amilo' i 'Dańkowskie Nowe' wykazały taką samą zdolność pęcznienia, tj. ok. 8,5, a mąka z żyta 'Dańkowskie Diament' – wyraźnie większą. Zjawisko to można wiązać z ogólną zawartością białka w mące, zbliżoną w przypadku żyta 'Amilo' i 'Dańkowskie Nowe' i wyraźnie większą w mące z żyta 'Dańkowskie Diament' (tab. 1).

Na rys. 1. przedstawiono bilans zdolności dyspergowania białek badanych mąk żytnich i wyodrębnionej z nich frakcji mąki o granulacji <15 μm . Wyraźnie zaznaczyła się różnica w składzie białkowym między mąką i frakcją mąki o granulacji <15 μm . Nastąpiło istotne zmniejszenie udziału albumin i globulin w składzie białek frakcji mąki o granulacji <15 μm w porównaniu z mąką wyjściową, dochodzące do 50 % w przypadku żyta odmiany 'Amilo'.

Tabela 1

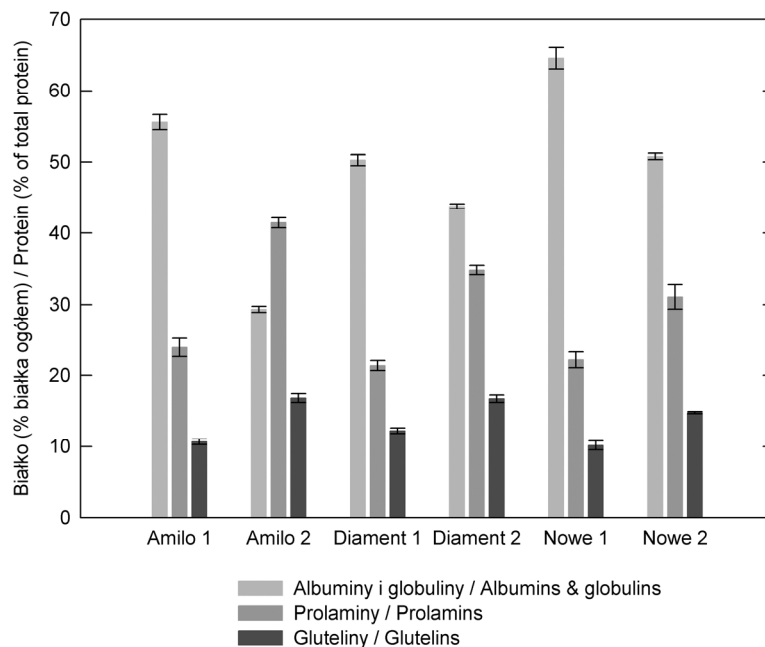
Charakterystyka chemiczna i technologiczna mąki żytniej, frakcji mąki o granulacji <15 µm oraz preparatów białka wypełniającego żyta.

Proximate and technological analysis of rye flour, flour fraction of particles sized <15 µm, and of wedge rye protein isolates.

Materiał Material	Wilgotność Moisture [%]		Białko (N×6,25) Protein (N×6,25) [%]		Liczba sedymentacyjna Sedimentation value [ml]		Liczba opadania Falling number [s]	
	\bar{X}	s / SD	\bar{X}	s / SD	\bar{X}	s / SD	\bar{X}	s / SD
Amilo								
Mąka / Flour	13,39	0,08	5,64	0,02	8,94	0,00	302,67	5,51
Mąka / Flour <15 µm	11,13	0,01	12,91	0,01	-	-	-	-
Białko wypełniające Wedge protein	10,94	0,03	89,49	0,04	-	-	-	-
Dańkowskie Diament								
Mąka / Flour	13,25	0,11	6,63	0,10	12,39	0,70	225,67	3,51
Mąka / Flour <15 µm	10,54	0,04	12,29	0,31	-	-	-	-
Białko wypełniające Wedge protein	10,29	0,01	90,67	0,29	-	-	-	-
Dańkowskie Nowe								
Mąka / Flour	13,39	0,06	4,79	0,02	8,44	0,70	183,00	1,00
Mąka / Flour <15 µm	10,81	0,03	8,82	0,01	-	-	-	-
Białko wypełniające Wedge protein	10,73	0,01	91,36	0,45	-	-	-	-

Wszystkie oznaczenia wykonano w 3 powtórzeniach / All analysis were performed in 3 replications.

Z kolei udział białek prolaminowych w układzie białkowym frakcji mąki o granulacji <15µm był prawie dwukrotnie większy w stosunku do zawartości tych białek w mące wyjściowej. Stwierdzono też prawie 1,5-krotny wzrost udziału białek glutelinowych we frakcji mąki o granulacji <15 µm w porównaniu z mąką wyjściową. Łączny udział prolamin (sekaliny I) i glutelin (sekaliny II) w układzie białkowym mąki wynosił od 32,4 % ('Dańkowskie Nowe') do 34,6 % ('Amilo'), natomiast we frakcji mąki o granulacji <15 µm udział ten wynosił od 45,9 % ('Dańkowskie Nowe') do 58,3 % ('Dańkowskie Diament').

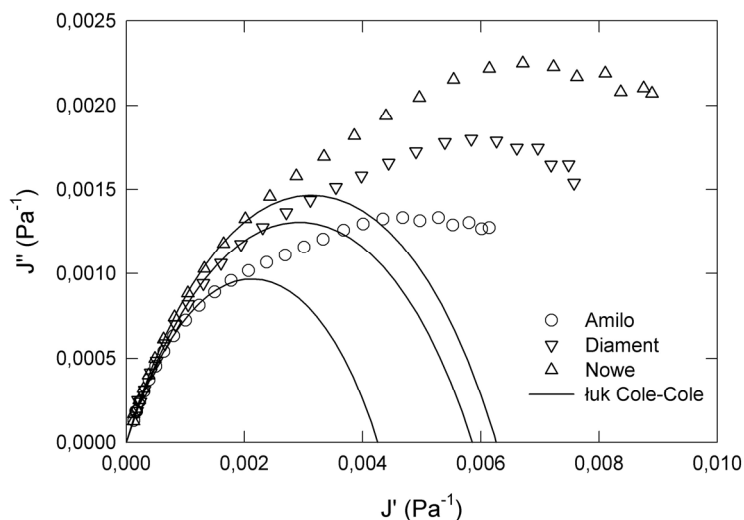


Rys. 1. Skład frakcyjny układu białkowego mąki żytniej (1) oraz frakcji mąki o granulacji $<15\mu\text{m}$ (2) oznaczonego metodą ekstrakcji trójstopniowej.

Fig. 1. Fractional composition of the protein system of rye flour (1) and of flour fraction of particles sized $<15\mu\text{m}$ (2) determined using a three-step extraction method.

Na rys. 2. przedstawiono spektra mechaniczne uwodnionych preparatów białka wypełniającego żyta w układzie współrzędnych $G', G'' = f(\omega)$, gdzie G' jest modulem zachowawczym i określa ilościowo cechy sprężyste materiału, natomiast G'' jest modulem stratności i określa ilościowo cechy lepkie materiału. Na wszystkich uzyskanych spektrach mechanicznych wystąpił punkt przecięcia krzywych G' i G'' , leżący w zakresie $10 < \omega < 2 \cdot 10^2$ rad/s, wyznaczający przejście ciała lepkosprężystego ze stanu plateau lepkosprężystego po lewej stronie punktu przecięcia do obszaru mięknięcia po stronie prawej. W obszarze plateau moduł zachowawczy G' dążył do stałej wartości równowagowej, natomiast moduł stratności G'' dążył do minimum. Zgodnie z klasycznymi wzorcami materiałów lepkosprężystych preparaty białka wypełniającego żyta można więc zaklasyfikować jako materiały usieciowane przestrzennie o strukturze sieciowej, mającej charakter żelu fizycznego [19, 26, 27].

Na rys. 2. przedstawiono w celu porównania spektra mechaniczne glutenu z pszenicy zwyczajnej o bardzo dobrej wartości wypiekowej (odmiana 'Begra') i słabej technologicznie odmiany 'Wilga' [19, 27].



Rys. 3. Spektre mechaniczne preparatów białka wypełniającego żyta przedstawione na płaszczyźnie zespolonej z zaznaczonymi łukami dopasowania funkcji Cole-Cole (linie) do danych doświadczalnych [punkty].

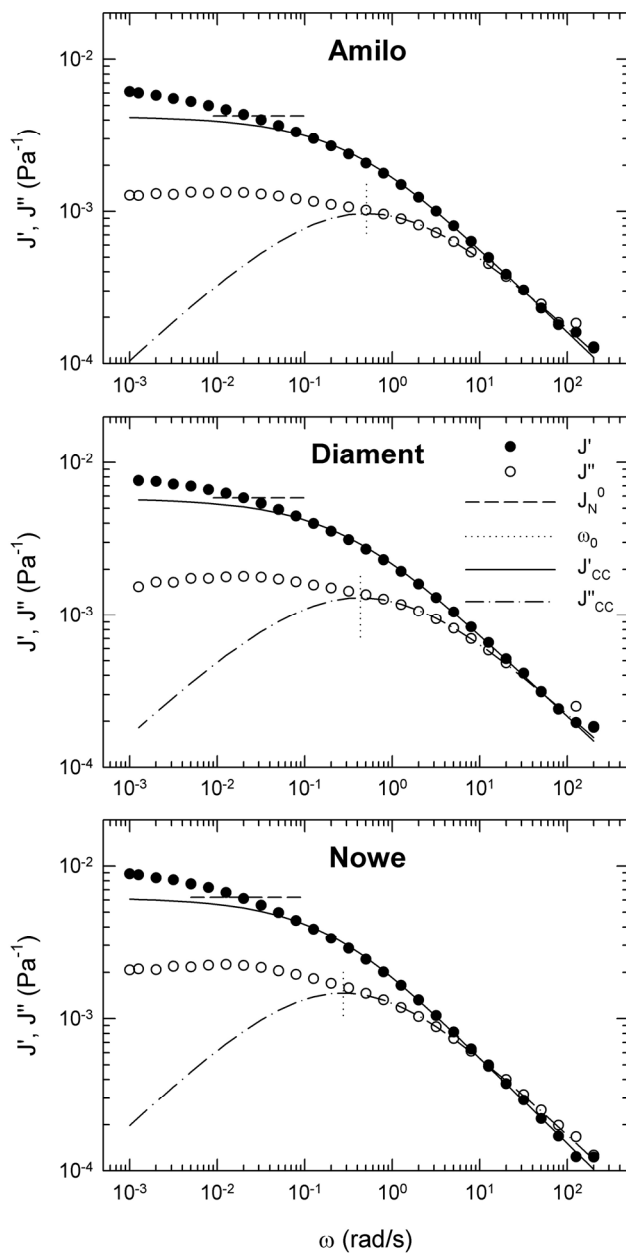
Fig. 3. Mechanical spectra of wedge rye protein preparations shown in the complex plane with marked Cole-Cole arcs (lines) fitted to the experimental data [points].

Z równań Cole-Cole wyznaczone zostały parametry: J_N^0 – podatność równowagowa materiału w obszarze lepkosprężystego plateau, G_N^0 – moduł lepkosprężystego plateau, charakterystyczna częstotliwość oscylacji ω_0 oraz parametr n związany z szerokością piku lepkiego rozproszenia energii (tab. 2).

Tabela 2

Parametry reologiczne glutenu żytniego wyznaczone ze spektrów mechanicznych metodą Cole-Cole.
Rheological parameters of rye gluten computed from mechanical spectra using a Cole-Cole method.

Materiał Material	$J_N^0 \times 10^3$ [Pa ⁻¹]	$G_N^0 = 1/J_N^0$ [Pa]	ω_0 [rad s ⁻¹]	n	r
'Amilo'	4,256	235,00	0,508	0,457	0,9996
'Dańkowskie Diament'	5,857	170,75	0,433	0,419	0,9990
'Dańkowskie Nowe'	6,260	159,74	0,276	0,421	0,9996



Rys. 4. Spektre mechaniczne $J', J'' = f(\omega)$ preparatów białka wypełniającego żyta. J'_{cc} i J''_{cc} – odpowiednio krzywa podatności i krzywa piku stratności wyznaczone z równań Cole-Cole.

Fig. 4. Mechanical spectra $J', J'' = f(\omega)$ of the wedge rye protein preparations. J'_{cc} and J''_{cc} – compliance curve and curve of dissipation peak, respectively, determined from Cole-Cole equation.

Wystąpienie pików stratności na krzywej $J''(\omega)$ (rys. 4) oraz możliwość opisanie tego pików równaniami Cole-Cole stanowi bezsprzeczny dowód, że uwodniony preparat białka wypełniającego żyta trzech badanych odmian utworzył strukturę sieci glutenowej porównywalną z siecią przestrzenną glutenu pszennego (żel fizyczny), lecz o zdecydowanie różnej gęstości usieciowania.

Najsilniejszą strukturę sieci żelowej wykazał gluten z żyta odmiany 'Amilo' ($G_N^0 = 235$ Pa). Gluten z żyta odmiany 'Dańkowskie Diament' i 'Dańkowskie Nowe' wykazał słabszą strukturę (G_N^0 odpowiednio 171 i 160 Pa). Dla porównania wartość modułu G_N^0 glutenu z pszenicy odmiany 'Begra' wynosiła 1980 Pa [27]. Wystąpiła zauważalna zależność między udziałem cech sprężystych we właściwościach lepko-sprężystych glutenu żytniego i zawartością białek gluteninowych, a zwłaszcza ich frakcji nierozpuszczalnej w 0,1 M NaOH w ziarnie żyta.

Wnioski

1. Zawartość białka w ziarnie trzech badanych odmian żyta zmieniała się w wąskim przedziale, przy czym nie zachodził bezpośredni związek pomiędzy zawartością białka w ziarnie a zdolnością pęcznienia mąki w cieście sedymentacyjnym.
2. Frakcja mąki o granulacji $<15 \mu\text{m}$ zawierała dwukrotnie więcej białka niż mąka wyjściowa i mogła być wykorzystana do otrzymania preparatu białka wypełniającego z wykorzystaniem metody sedymentacji naturalnej w środowisku niepolarnym o odpowiedniej gęstości.
3. We frakcji mąki o granulacji $<15 \mu\text{m}$ wyraźnie zmniejszył się udział procentowy białek albuminowych i globulinowych, natomiast zwiększał się udział prolamin i glutelin w porównaniu z układem białkowym w mące.
4. Wyznaczone spektra mechaniczne uwodnionych preparatów białka wypełniającego żyta trzech badanych odmian dowodzą jednoznacznie, że powstała struktura sieci glutenowej porównywalna fizycznie z siecią przestrzenną glutenu pszennego (żel fizyczny), lecz o zdecydowanie różnej gęstości usieciowania. Metoda Cole-Cole umożliwiła ilościowe zróżnicowanie właściwości lepko-sprężystych badanych glutenów.

Literatura

- [1] Autio K., Flander L., Heinonen R., Kinnunen A.: Comparison of small and large deformation measurements of whole meal rye doughs. *Cereal Chem.*, 1999, **6** (76), 912-914.
- [2] Biskupski A.: Zawartość i jakość glutenu w ziarnie odmian żyta. *Hodowla Roślin, Aklimatyzacja i Nasiennictwo*, 1965, **6** (9), 669-679.
- [3] Callejo M. J., Bujeda C., Rodríguez G., Chaya C.: Alveoconsistograph evaluation of rheological properties of rye doughs. *Spanish J. Agric. Res.*, 2009, **3** (7), 638-644.

- [4] Coates J. H., Simmonds D. H.: Proteins of wheat and flour. Extraction, fractionation, and chromatography of the buffer-soluble proteins of flour. *Cereal Chem.*, 1961, **3 (38)**, 256-271.
- [5] Dobraszczyk B. J.: The physics of baking: Rheological and polymer molecular structure-function relationships in breadmaking. *J. Non-Newtonian Fluid Mech.*, 2004, **1-3 SPEC. ISS. (124)**, 61-69.
- [6] Ferry J. D.: *Viscoelastic properties of polymers*. Ed. Wiley, New York 1980.
- [7] Gąsiorowski H.: *Żyto chemia i technologia*. PWRiL, Poznań 1994.
- [8] Gąsiorowski H.: *Pszenica chemia i technologia*. PWRiL, Poznań 2004.
- [9] Golenkov V. F.: On interaction of gums and rye proteins. *Doklady Akademii Nauk SSSR*, 1965, **3 (161)**, 711.
- [10] Hartmann G., Piber M., Koehler P.: Isolation and chemical characterisation of water-extractable arabinoxylans from wheat and rye during breadmaking. *Eur. Food Res. Technol.*, 2005, **3-4 (221)**, 487-492.
- [11] Hartmann S., Koehler P.: Fractionation of cereal flour by sedimentation in non-aqueous systems. I. Development of the method and chemical characterisation of the fractions. *J. Cereal Sci.*, 2008, **3 (47)**, 576-586.
- [12] Hartmann S., Koehler P.: Fractionation of cereal flour by sedimentation in non-aqueous systems. II. Rheological characterisation and baking performance of the protein fraction. *J. Cereal Sci.*, 2008, **2 (48)**, 548-555.
- [13] Hess K.: Protein, Kleber und Lipoid in Weizenkorn und Mehl. *Kolloid-Zeitschrift*, 1954, **2-3 (136)**, 93.
- [14] Jankiewicz M., Pomeranz Y.: Isolation and characterisation of wheat flour proteins. I. Separation of salt- and acid dispersible proteins by gel filtration, polyacrylamide gel electrophoresis and sucrose gradient ultracentrifugation. *J. Sci. Food Agric.*, 1965, **11 (16)**, 644-652.
- [15] Jankiewicz M., Michniewicz J.: The effect of soluble pentosans isolated from rye grain on staling of bread. *Food Chem.*, 1987, **4 (25)**, 241-249.
- [16] Kozmina N. P., Iljina V. N., Butman L. A.: Gluten proteins in rye grain. *Doklady Akademii Nauk SSSR*, 1956, **4 (110)**, 610-612.
- [17] Koźmina N. P.: *Biochemia technologii pieczywa*. WNT, Warszawa 1974.
- [18] Kučerová J.: Pentosans relate to rye quality. *Pentosany ve vztahu k jakosti žita*, 2008, **4 (56)**, 115-120.
- [19] Lefebvre J., Pruska-Kędzior A., Kędzior Z., Lavenant L.: A phenomenological analysis of wheat gluten viscoelastic response in retardation and in dynamic experiments over a large time scale. *J. Cereal Sci.*, 2003, **3 (38)**, 257-267.
- [20] Lefebvre J., Mahmoudi N.: The pattern of the linear viscoelastic behaviour of wheat flour dough as delineated from the effects of water content and high molecular weight glutenin subunits composition. *J. Cereal Sci.*, 2007, **1 (45)**, 49-58.
- [21] Lefebvre J.: Nonlinear, time-dependent shear flow behaviour, and shear-induced effects in wheat flour dough rheology. *J. Cereal Sci.*, 2009, **2 (49)**, 262-271.
- [22] PN-A-74101:1992. *Pieczywo żytnie*.
- [23] PN-A-74012:1993. *Ziarno zbóż i przetwory zbożowe - oznaczanie wilgotności (podstawowa metoda odwoławcza)*.
- [24] Nowotna A., Buksa K., Gambuś H., Gnela M., Ziobro R., Sabat R., Krawontka J.: Użycie mąki całoziarnowej z różnych odmian żyta w piekarstwie. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2007, **52 (3)**, 90-97.
- [25] Pruska-Kędzior A., Kędzior Z.: Właściwości reologiczne ciasta. W: *Pszenica chemia i technologia – pod red. H. Gąsiorowskiego*. PWRiL, Poznań 2004, ss. 378-394.
- [26] Pruska-Kędzior A., Kędzior Z., Klockiewicz-Kamińska E.: Comparison of viscoelastic properties of gluten from spelt and common wheat. *Eur. Food Res. Technol.*, 2008, **1 (227)**, 199-207.

- [27] Pruska-Kędzior A.: Zastosowanie metod reologii fenomenologicznej do kwantyfikacji właściwości lepkością glutenu pszennego. Wyd. AR w Poznaniu, Rozprawy Naukowe, 2006, **(373)**, s. 141.
- [28] Repeckiene A., Eliasson A. C., Juodeikiene G., Gunnarsson E.: Predicting baking performance from rheological and adhesive properties of rye meal suspensions during heating. *Cereal Chem.*, 2001, **2 (78)**, 193-199.
- [29] Vones F., Podrazky V., Simova J., Vesely Z.: Significance of wedge protein of rye flour for dough properties. *Cereal Chem.*, 1964, **(41)**, 456-464.

CHARACTERISATION OF FRACTIONAL COMPOSITION AND RHEOLOGICAL PROPERTIES OF WEDGE PROTEINS IN RYE GRAIN

S u m m a r y

The objective of this study was to determine, by applying fundamental principles of rheology, whether or not the structure formed by hydrated rye wedge proteins shows rheological properties typical for the wheat gluten. Grains of three rye cultivars were milled into the flour that underwent an air classification process (pneumoseparation) to release a high-protein fraction of particles sized $< 15 \mu\text{m}$. The rye grain, flour, and flour fraction of particles sized $< 15 \mu\text{m}$ were technologically characterized. The flour fraction of particles sized $< 15 \mu\text{m}$ contained almost two times more protein than the initial flour. The wedge protein preparations containing $\geq 90\%$ protein ($N \times 6.25$) were prepared from the flour fraction of particles sized $< 15 \mu\text{m}$ using a differential sedimentation. Using a three-stage extraction method, determined were the contents of albumins and globulins, prolamins and glutelins in the flour protein and in the flour fractions of particles sized $< 15 \mu\text{m}$. Viscoelastic properties of the hydrated wedge protein preparations were studied using a shear oscillation dynamic rheology method. Mechanical spectra were determined within a frequency range from 0.001 to 200 rad/s, and analyzed using a Cole-Cole method to determine the following parameters: J_N^0 – viscoelastic plateau compliance; G_N^0 – viscoelastic plateau modulus; ω_0 – characteristic frequency of loss peak; n – a parameter showing the broadness of loss peak. The mechanical spectra determined explicitly prove that a structure of gluten network has been formed within the hydrated wedge protein preparations and this structure is identical with a three-dimensional network of wheat gluten; however, its bonding density is lower.

Key words: rye, wedge protein, rye gluten, dynamic rheology, mechanical spectrum, Cole-Cole method

