

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

PORÓWNANIE WŁAŚCIWOŚCI FUNKCJONALNYCH GLUTENU Z PSZENICY SAMOPSZY I PSZENICY ZWYCZAJNEJ

Streszczenie

Badano skład frakcyjny białek mąki z ziarna samopszy (*Triticum monococcum* L. ssp. *monococcum*) odmiany Svenskaja, Terzino i Tifi oraz pszenicy zwyczajnej (*T. aestivum* L. ssp. *aestivum*) odmiany Figura oraz właściwości reologiczne glutenu wymytego z tych mąk. Skład frakcyjny białek mąki z samopszy i pszenicy zwyczajnej oznaczono metodą ekstrakcji trójstopniowej. Białka glutenowe stanowiły od 79,9 (Terzino) do 81 % (Tifi) układu białkowego mąki z samopszy i wykazały całkowitą zdolność dyspergowania. Wyznaczono spektra mechaniczne glutenu w zakresie ω 0,001 - 200 rad/s, w temperaturze 20 °C. Spektra mechaniczne opisano za pomocą równań Cole-Cole i wyznaczono moduł plateau lepkosprężystego G_N^0 , podatność J_N^0 , częstotliwość charakterystyczną ω_0 i parametr n . W porównaniu z glutenem z pszenicy zwyczajnej gluten z samopszy wykazał większy udział cech lepkich w ogólnej lepkosprężystości układu. Gluten z poszczególnych odmian samopszy różnił się w istotny sposób zakresem cech lepkich i sprężystych w ogólnej lepkosprężystości, o czym świadczą różnice kąta opóźnienia fazowego δ w badanym zakresie częstotliwości oscylacji. Różnice wielkości G_N^0 , J_N^0 oraz ω_0 i n glutenu trzech badanych odmian samopszy wskazują na duże zróżnicowanie gęstości sieci matrycy glutenowej, przy czym najsłabszą strukturę sieci wykazał gluten z samopszy odmiany Tifi. Podczas ścinania oscylacyjnego w zakresie najmniejszych badanych częstotliwości oscylacji ujawnia się pewna labilność struktury sieciowej glutenu z samopszy.

Słowa kluczowe: pszenica samopsza, pszenica zwyczajna, gluten, reologia, równania Cole-Cole, lepkosprężystość, prolaminy, gluteniny

Wprowadzenie

Od początku lat 90. XX w. narasta zainteresowanie uprawą pszenic pierwotnych, tj. diploidalnej samopszy (*Triticum monococcum* L. ssp. *monococcum*), tetraploidalnej płaskurki (*T. turgidum* ssp. *dicoccum* (Schrank ex Schubler) Thell.) i heksaploidalnego

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

orkiszu (*T. aestivum* ssp. *spelta* (L.) Thell.). W rozwoju tych upraw upatruje się szansy na podtrzymanie bioróżnorodności środowiska rolniczego [4, 28, 29] oraz pozyskania ziarna konsumpcyjnego o potencjalnie większej zawartości składników biologicznie czynnych, korzystnych w żywieniu człowieka, niż wynosi ich zawartość w ziarnie pszenicy zwyczajnej [4, 15, 17, 20, 21, 25, 26].

Mąka z samopszy ma niską wartość wypiekową, co oznacza, że konieczne jest dostosowanie procesu prowadzenia ciasta i wypieku pieczywa do specyfiki tego surowca [1, 10, 13, 30]. Jednym z czynników determinujących właściwości technologiczne mąki z samopszy jest skład frakcyjny zespołu białek glutenowych i determinowane przez ten czynnik właściwości fizykochemiczne matrycy glutenowej. Jeżeli badaniami składu frakcyjnego białek samopszy poświęcono wiele uwagi [3, 8, 30], to nadal nieopoznane pozostają podstawowe właściwości reologiczne glutenu z samopszy.

Celem pracy było scharakteryzowanie właściwości reologicznych glutenu z samopszy za pomocą metody reologii oscylacyjnej z uwzględnieniem wpływu składu frakcyjnego układu białek glutenowych na lepkość matrycy glutenowej.

Materiał i metody badań

Materiał wyjściowy do badań stanowiło ziarno trzech odmian ozimych samopszy (*Triticum monococcum* L. ssp. *monococcum*): Svenskaja, Terzino i Tifi (K.-J. Mueller Getreidezüchtungsforshung Darzau, 29490 Neu Darchau, Niemcy) oraz ziarno pszenicy zwyczajnej (*T. aestivum* L. ssp. *aestivum*) odmiany Figura (DANKO, Hodowla Roślin Sp. z o.o. w Choryni).

Ziarno obu gatunków pszenic przemielono na mąkę w młynie laboratoryjnym Brabender, model Quadrumat Senior. Na dobę przed przemiałem wilgotność prób ziarna przeznaczonych do przemiału doprowadzono do poziomu 14,75 %.

Wilgotność surowców oznaczano metodą suszarkową wg Polskiej Normy [19]. Zawartość białka w surowcach oznaczano metodą Kjeldahla stosując przelicznik N×5,7. Dokonano ogólnej charakterystyki technologicznej otrzymanych mąk laboratoryjnych, oznaczając liczbę sedymentacyjną wg Zeleny'ego, wydajność i rozplywalność glutenu oraz liczbę opadania.

Określano skład frakcyjny układu białkowego mąki z samopszy i pszenicy zwyczajnej, posługując się metodą ekstrakcji trójstopniowej wg Coatesa i Simmondsa [9] w modyfikacji Jankiewicza [14], wyodrębniając ekstrakt albumin i globulin w 0,01 M buforze pirofosforanowym o pH 7,0, ekstrakt prolamin w 0,05 M kwasie octowym oraz ekstrakt glutelin w 0,1 M NaOH.

Właściwości reologiczne glutenu z samopszy i pszenicy zwyczajnej badano za pomocą reometru oscylacyjnego o kontrolowanym naprężeniu firmy Rheometric Scientific, model DSR 500, stosując geometrię pomiarową stożek-płytką (średnica stożka 25 mm, kąt rozwarcia 0,1 rad, szczelina pomiarowa 0,056 mm). Pomiar pro-

wadzano w temp. $20 \pm 0,1$ °C. Próbkę glutenu przeznaczonego do badań zabezpieczano przed zachodzeniem spontanicznych reakcji wymiany SH - SS lub powstawania nowych wiązań SS, prowadząc końcową fazę hydratacji glutenu (30 min) i pomiary reometryczne w środowisku 0,1 M roztworu NEMI (n-etylomaleinimid) [16, 22]. W celu zapobieżenia efektom parowania roztworu NEMI i/lub wysychania próby podczas pomiarów, powierzchnię warstwy roztworu zabezpieczającego próbkę glutenu pokrywano warstwą oleju parafinowego. Wyznaczano spektra mechaniczne glutenu w zakresie częstotliwości oscylacji 0,001 – 200 rad/s. Otrzymane spektra mechaniczne poddawano analizie za pomocą funkcji Cole-Cole (równania 1 - 3), w wyniku czego wyznaczano moduł plateau lepkosprężystego G_N^0 , podatność plateau lepkosprężystego J_N^0 , częstotliwość charakterystyczną ω_0 i parametr n powiązany z szerokością piku lepkiego rozproszenia energii.

$$J' = J_N^0 \frac{\left[\left(\frac{\omega_0}{\omega} \right)^n + \cos \pi \frac{n}{2} \right]}{\left[\left(\frac{\omega_0}{\omega} \right)^n + 2 \cos \pi \frac{n}{2} + \left(\frac{\omega}{\omega_0} \right)^n \right]} \quad (1)$$

$$J'' = J_N^0 \frac{\sin \pi \frac{n}{2}}{\left[\left(\frac{\omega_0}{\omega} \right)^n + 2 \cos \pi \frac{n}{2} + \left(\frac{\omega}{\omega_0} \right)^n \right]} \quad (2)$$

$$J'' = \left(\frac{J_N^0}{2 \tan \left(\pi \frac{n}{2} \right)} \right) \left[\left(1 + 4 \frac{J'}{J_N^0} \left(1 - \frac{J'}{J_N^0} \right) \tan^2 \left(\pi \frac{n}{2} \right) \right)^{\frac{1}{2}} - 1 \right] \quad (3)$$

Wszystkie oznaczenia chemiczne i technologiczne, bilans ekstrakcyjny białka, jak również doświadczenia reologiczne wykonano co najmniej w dwóch powtórzeniach.

Wyniki i dyskusja

W mące laboratoryjnej z samopszy oznaczono zawartość białka od ok. 10,5 % (Terzino i Tifi) do 11,1 % (Svenskaja). Nie stwierdzono znaczącej różnicy pomiędzy zawartością białka w mące z pszenicy zwyczajnej odmiany Figura i z samopszy odmiany Svenskaja w granicach dokładności oznaczenia (tab. 1).

Choć ziarno samopszy zawiera zwykle więcej białka niż ziarno pszenicy zwyczajnej, od 12,5 do ponad 22 % [5, 6, 11, 18], to zawartość białka w mące jasnej z samopszy wg różnych autorów [2, 11] wynosi od 11,3 do 18,3 % przy wyciągu mąki powyżej 70 %. Wyciąg mąki uzyskanej w tej pracy z ziarniaków samopszy różnych odmian wynosił 67 ± 3 %, co tłumaczy nieco mniejszą zawartość białka od wartości podawanych w literaturze.

Zdolność pęcznienia białek glutenowych samopszy jest mała, co w teście sedymentacyjnym Zeleny'ego wyraziło się wartością liczby sedymentacyjnej 9,1 do 10,6 (tab. 1). Podobny wynik odnotował Abdel-Aal [1]. Również mniejsza jest wydajność glutenu mokrego z samopszy niż z pszenicy zwyczajnej. W badanych próbach wynosiła ona od 24,5 (Tifi) do 30,8 % (Terzino) i była znacznie mniejsza niż z pszenicy chlebowej o dobrej wartości wypiekowej. Gluten z samopszy cechowała duża rozpląwalność (10,2 - 12). Liczba opadania badanych mąk z samopszy mieściła się w przedziale od 334 do 365 i była zbliżona do wyników innych autorów [1, 5, 7, 18]. Należy podkreślić, że dotychczas nie opracowano skali oceny technologicznej jakości ziarna i mąki z samopszy na podstawie oznaczenia wydajności i rozpląwalności glutenu, liczby sedymentacyjnej lub liczby opadania.

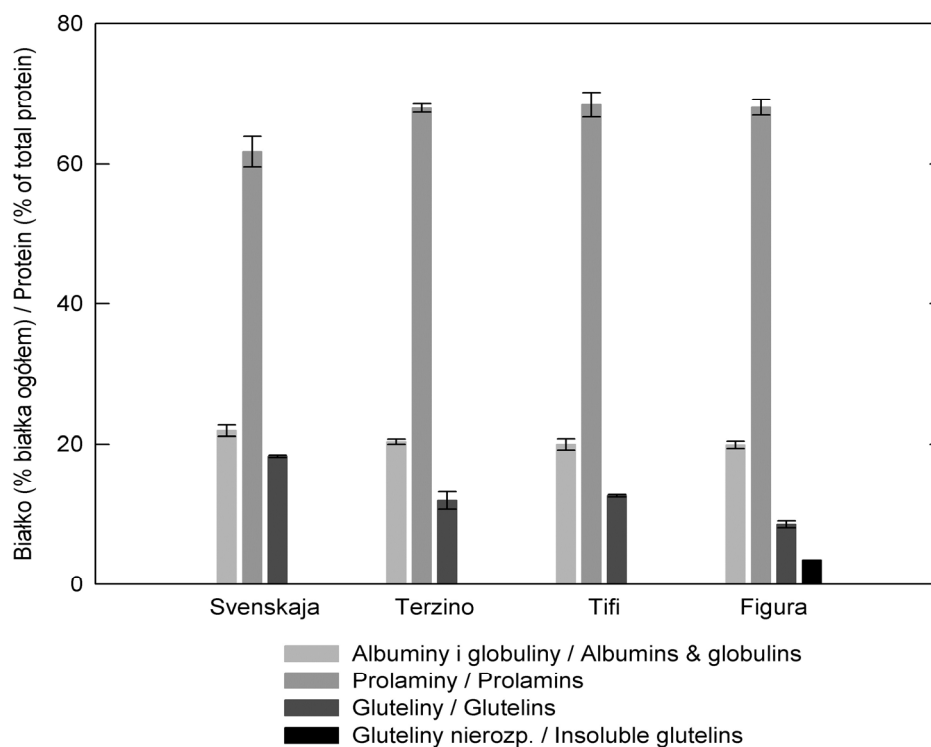
Tabela 1

Ogólna charakterystyka chemiczna i technologiczna mąki z pszenicy samopszy i pszenicy zwyczajnej.
Proximate and technological analysis of einkorn and common wheat flours.

Odmiana Variety	Wilgotność Moisture [%]	Białko (N×5,7) Protein (N×5,7) [% s.m / d.m.]	Liczba sedymenta- cyjna Sedimentation Number [ml]	Charakterystyka glutenu Gluten Profile			Liczba opadania Falling number [s]
				Wydajność Yield [%]	Rozpląwal- ność Spreadability [mm]	Liczba glutenowa Gluten number	
Svenskaja	14,6 ± 0,2	11,07 ± 0,20	10,6 ± 0,7	26,9 ± 1,6	10,2 ± 0,8	36,1 ± 3,1	334,3 ± 5,5
Terzino	14,5 ± 0,2	10,64 ± 0,16	9,1 ± 0,1	30,8 ± 0,6	12,0 ± 1,7	37,6 ± 1,0	364,5 ± 5,5
Tifi	14,6 ± 0,1	10,44 ± 0,13	9,1 ± 0,1	24,5 ± 0,2	10,8 ± 0,6	31,7 ± 0,4	337,3 ± 1,5
Figura	12,3 ± 0,2	11,15 ± 0,13	31,7 ± 0,7	38,0 ± 1,0	8,3 ± 0,4	55,6 ± 2,0	279,3 ± 5,5

Wartość średnia ± odchylenie standardowe / mean value ± standard deviation; n = 3

Mąki z trzech badanych odmian samopszy wykazały duże podobieństwo składu frakcyjnego układu białkowego i zarazem wyraźnie różniły się od mąki z pszenicy zwyczajnej, w której występowała kilkuprocentowa frakcja glutelin nierozpuszczalnych w 0,1 M NaOH, mająca duży wpływ na kształtowanie cech sprężystych struktury glutenowej (rys. 1).



Rys. 1. Porównanie składu frakcyjnego białek mąki z pszenicy samopszy i pszenicy zwyczajnej.

Fig. 1. Comparing fractional composition of proteins in einkorn and common wheat flour.

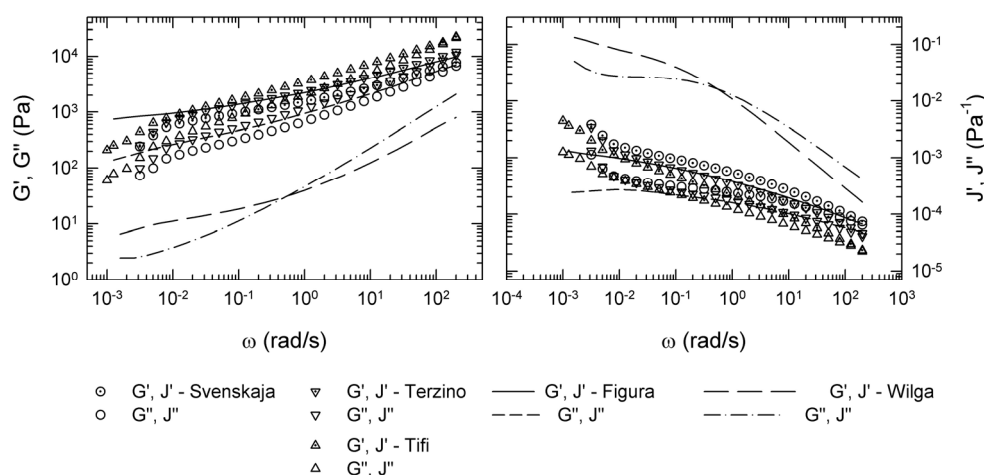
Mąka z samopszy nieznacznie różniła się łączną zawartością albumin i globulin, od 20 (Tifi) do 21,9 % (Svenskaja). Zawarość prolamin rozpuszczalnych w 0,05 M kwasie octowym zmieniała się w zakresie od 61,8 (Svenskaja) do 68,5 % (Tifi), a glutelin od 11,9 (Terzino) do 18,3 % (Svenskaja). Łącznie białka glutenowe stanowiły 79,9 (Terzino) do 81 % (Tifi) układu białkowego mąki z samopszy i wykazały całkowitą zdolność dyspergowania. Mimo odmienności metody analitycznej oraz innego rocznika zbioru samopszy, otrzymane wyniki są bardzo podobne do wyników oznaczenia składu frakcyjnego białek tych trzech odmian samopszy uzyskanych metodą RP-HPLC przez Wiesera i wsp. [30]. Sumując zawartość poszczególnych frakcji albumin i globulin oraz gliadyn i podjednostek LMW i HMW glutenin autorzy ci ustalili, że albuminy i globuliny stanowiły od 14,1 (Terzino) do 16,8 % (Tifi), prolaminy (gliadyny) od 68,4 (Svenskaja) do 76,8 % (Tifi), a gluteniny od 9,1 (Terzino) do 15,6 % (Svenskaja); łącznie białka glutenowe stanowiły od 83,2 (Tifi) do 85,9 % (Terzino). Przy tak znacznym podobieństwie ogólnego składu frakcyjnego białek glutenowych samopszy trzech badanych odmian przyczyn zróżnicowania właściwości fizykochemicznych otrzymanego z nich glutenu należy upatrywać w różnicach zawartości i wla-

ściwości fizykochemicznych poszczególnych frakcji gliadyn i podjednostek LMW i HMW glutenu.

Badania właściwości reologicznych glutenu z samopszy wykonano w zakresie bardzo małych odkształceń względnych metodą dynamicznego ścinania oscylacyjnego, stosując amplitudę odkształcenia $\gamma = 3\%$.

W badaniach wstępnych zweryfikowano zakres lepkości liniowej ciast glutenowych przy częstotliwości oscylacji $\omega = 1$ rad/s oraz metodą Kroniga-Kramersa [22]. We wszystkich badanych preparatach glutenu stwierdzono zachowanie liniowe w całym zakresie częstotliwości oscylacji.

Na rys. 2. przedstawiono spektra mechaniczne glutenu w układzie współrzędnych $G', G'' = f(\omega)$ oraz $J', J'' = f(\omega)$. Podatność zachowawczą J' wiąże z modulem zachowawczym G' zależność $J' = G'/(G'^2 + G''^2)$, a podatność stratności J'' z modulem stratności zależność $J'' = G''/(G'^2 + G''^2)$.



Rys. 2. Spektra mechaniczne glutenu otrzymanego z pszenicy samopszy i pszenicy zwyczajnej.

Fig. 2. Mechanical spectra of gluten obtained from einkorn and common wheat.

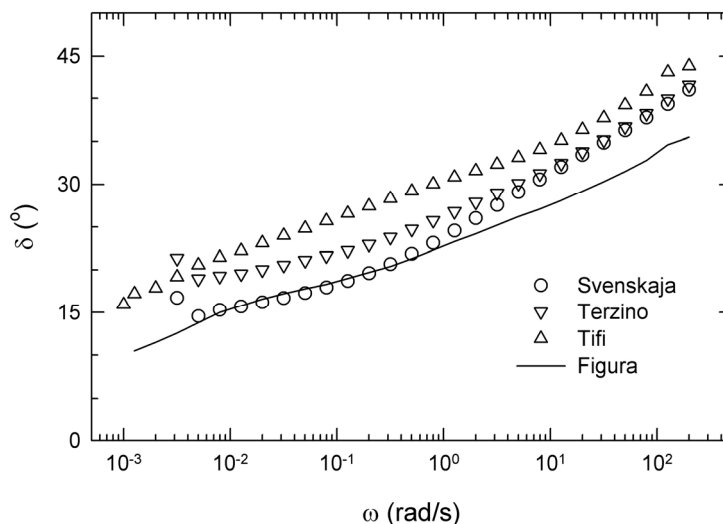
Spektra mechaniczne glutenu z samopszy zajmują obszar wartości modułów G' i G'' oraz podatności J' i J'' typowy dla glutenu z pszenicy zwyczajnej o przeciętnej lepkości. Dla porównania, na wykresach umieszczono również spektrum mechaniczne glutenu z badanej w tej pracy pszenicy o dobrej wartości wypiekowej (Figura) oraz bardzo słabej pszenicy zwyczajnej odmiany Wilga [22, 24]. Jak wykazano [24], spektra mechaniczne glutenu z pszenicy zwyczajnej o bardzo dobrej wartości wypiekowej, jak np. odmiana Begra, przebiegają w układzie współrzędnych $G', G'' = f(\omega)$ powyżej obszaru zajętego na rys. 2. przez spektrum mechaniczne glutenu z pszenicy 'Figura'.

Krzywe modułów G' i G'' oraz podatności J' i J'' w całym badanym zakresie częstotliwości oscylacji są nachylone do osi ω bardziej stromo niż w przypadku glutenu z pszenicy Figura, a w zakresie ω między 100 a 200 rad/s zbliżają się do punktu przecięcia, lecz go nie osiągają, powyżej którego krzywa G'' biegnie powyżej G' (J'' biegnie poniżej J').

W zakresie małych częstotliwości oscylacji ω na spektrach mechanicznych glutenu z pszenicy zwyczajnej zaznacza się początek obszaru plateau lepkosprężystego, podczas gdy w glutenie z samopszy zaznacza się pewne osłabienie struktury glutenu o niewyjaśnionym podłożu, najprawdopodobniej związanym z labilnością sieci wiązań wodorowych.

Na rys. 3. przedstawiono spektra mechaniczne glutenu z samopszy i pszenicy zwyczajnej jako zależność kąta opóźnienia fazowego δ od częstotliwości oscylacji. Ciała lepkosprężyste wykazujące wielkość kąta fazowego $0 < \delta \leq 45^\circ$ mają przewagę cech sprężystych tym większą, im bardziej wartość δ maleje [12].

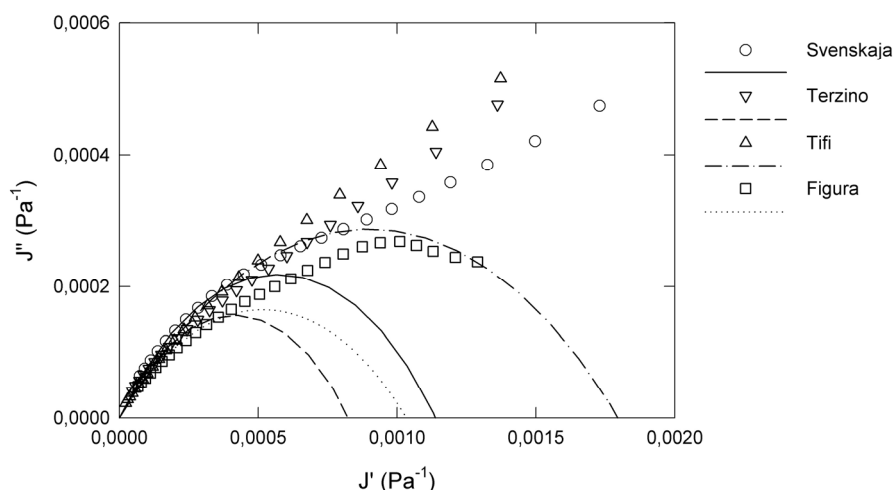
Gluten z samopszy w całym badanym zakresie częstotliwości oscylacji wykazał mniej cech sprężystych niż gluten z pszenicy zwyczajnej. Tylko w zakresie częstotliwości oscylacji 0,007 do 0,03 rad/s krzywe kąta δ glutenu z samopszy 'Svenskaja' i pszenicy 'Figura' pokrywały się. Największy udział cech lepkich w całym badanym zakresie częstotliwości oscylacji wykazał gluten z samopszy 'Tifi', osiągając przy $\omega = 200$ rad/s wartość $43,7^\circ$, a zatem blisko granicy przejścia do obszaru przewagi właściwości lepkich nad sprężystymi.



Rys. 3. Spektra mechaniczne glutenu z pszenicy samopszy i pszenicy zwyczajnej jako funkcja $\delta=f(\omega)$.

Fig. 3. Mechanical spectra of einkorn and common wheat gluten as a function of $\delta=f(\omega)$.

Na rys. 4. spektra mechaniczne glutenu z samopszy i pszenicy zwyczajnej przedstawiono na płaszczyźnie zespolonej z zaznaczonymi łukami dopasowania funkcji Cole-Cole do danych doświadczalnych. Dzięki liniowej skali osi J' i J'' silniej wyeksponowane zostały różnice ilościowe i jakościowe w przebiegu spektrów mechanicznych. W pewnym obszarze dużych i największych częstotliwości oscylacji ω punkty doświadczalne układają się na łuku przechodzącym przez początek układu, który można opisać równaniami Cole-Cole [24, 27]. Uzyskano bardzo dobre dopasowanie parametrów równań Cole-Cole do danych doświadczalnych, wyrażające się współczynnikiem determinacji $R^2 > 0,99$ (tab. 2).



Rys. 4. Spektra mechaniczne glutenu z pszenicy samopszy i pszenicy zwyczajnej przedstawione na płaszczyźnie zespolonej z zaznaczonymi łukami dopasowania funkcji Cole-Cole (linie) do danych doświadczalnych (punkty).

Fig. 4. Mechanical spectra of einkorn and common wheat gluten in the complex plane with marked Cole-Cole arcs (lines) fitted to experimental data (points).

Największą wartość modułu plateau lepkościowego G_N^0 , ~ 1210 Pa wykazał gluten z samopszy ‘Terzino’, a najmniejszą, ~ 556 Pa, gluten z odmiany ‘Tifi’ (tab. 2, rys. 5). Z dotychczasowych badań wynika, że rozpiętość G_N^0 glutenu z pszenicy zwyczajnej, wyznaczonego w temp. 20 °C, mieści się w przedziale od 14 do ~ 3300 Pa, podczas gdy w przypadku glutenu z krajowych odmian pszenicy stwierdzono rozpiętość od 96 do ~ 2000 Pa [16, 22 - 24].

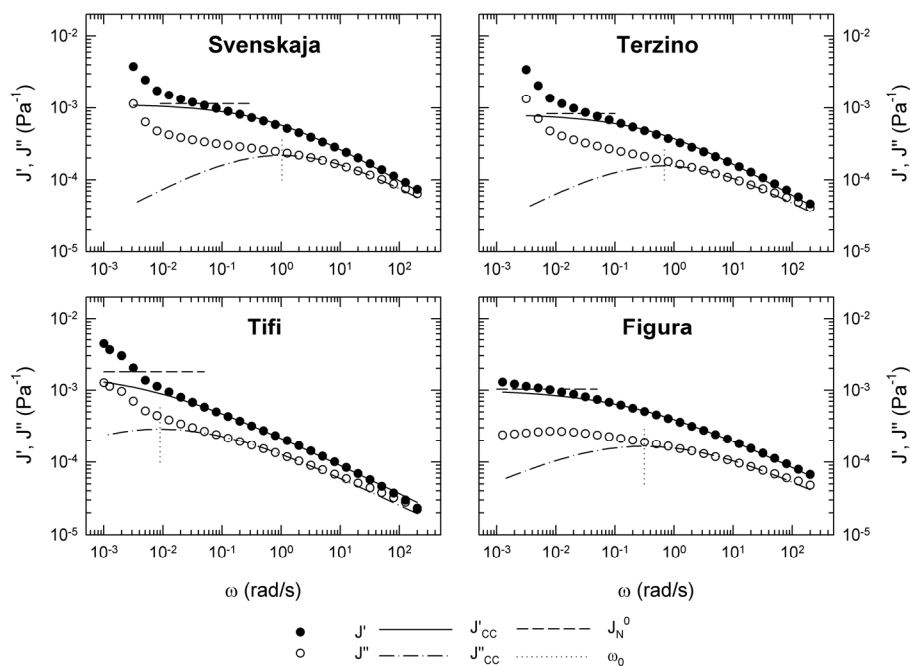
Wystąpiło bardzo silne zróżnicowanie wartości częstotliwości charakterystycznej ω_0 między poszczególnymi preparatami glutenu z samopszy, obejmujące trzy rzędy wielkości, co wiąże się z szerokością piku stratności na krzywej J'' (tab. 2, rys. 5).

Tabela 2

Parametry reologiczne glutenu z pszenicy samopszy i pszenicy zwyczajnej wyznaczone z równań Cole-Cole.

Rheological parameters of gluten obtained from einkorn and common wheat computed using Cole-Cole equations.

Gluten	G_N^0 [Pa]	J_N^0 [Pa ⁻¹]	ω_0 [rad s ⁻¹]	n	r
Svenskaja	877,7	$1,139 \cdot 10^{-3}$	1,03	0,467	0,9985
Terzino	1209,6	$8,267 \cdot 10^{-4}$	0,68	0,460	0,9977
Tifi	556,4	$1,797 \cdot 10^{-3}$	0,01	0,395	0,9985
Figura	967,2	$1,034 \cdot 10^{-3}$	0,31	0,393	0,9970



Rys. 5. Spektra mechaniczne glutenu z pszenicy samopszy i pszenicy zwyczajnej jako funkcja $J', J'' = f(\omega)$ z zaznaczonymi, obliczonymi z równań Cole-Cole, krzywymi J' (J'_{CC}) i pikiem stratności (J''_{CC}) na krzywej J'' oraz zaznaczonym położeniem parametrów J_N^0 i ω_0 .

Fig. 5. Mechanical spectra of gluten from einkorn and common wheat as a function $J', J'' = f(\omega)$. The curves computed using Cole-Cole equations, i.e. J'_{CC} and loss peak J''_{CC} , as well as the position of the parameters: J_N^0 on J' curve and J_N^0 on J'' curve are shown.

Im szerszy jest pik stratności (lepkiego rozproszenia energii) na krzywej J'' , a jego częstotliwość charakterystyczna (środkowa) ω_0 przesunięta w lewo, tym większą ruchliwość wykazują elementy strukturalne sieci lepkosprężystej [27], w tym przypadku glutenowej. Wielkość tego łuku w odniesieniu do glutenu z samopszy Tifi (rys. 5) wskazuje na wyjątkowo słabą strukturę sieci wiązań w matrycy glutenowej. Równie małą wartość ω_0 , jak na spektrum mechanicznym glutenu z samopszy Tifi, tj. 0,01 rad/s, zaobserwowano również w przypadku glutenu z orkiszu odmiany Schwabenkorn [22]. Porównanie wyników badań 14 próbek glutenu z pszenicy zwyczajnej odmiany Begra i Wilga ze zbiorów 1996 - 2002 wykazało, że wartość ta mieściła się w przedziale 0,14 - 3,8 rad/s [24].

Wnioski

1. Układ białek glutenowych mąki z pszenicy samopszy wykazuje mniejszą zdolność pęcznienia niż układ białek glutenowych mąki z pszenicy zwyczajnej; mniejsza jest wydajność glutenu mokrego oraz większa rozplywalność w porównaniu z glutenem pszenicy zwyczajnej.
2. Białka glutenowe mąki z samopszy wykazują zdolność całkowitego dyspergowania w środowisku 0,05 M kwasu octowego i 0,1 M NaOH, natomiast w skład białek glutenowych pszenicy zwyczajnej o dobrej wartości wypiekowej wchodzi pewna ilość białek glutenowych nierozpuszczalnych w tych środowiskach.
3. Gluten z samopszy odmian Svenskaja, Terzino i Tifi różni się w istotny sposób proporcjami udziału cech lepkich i sprężystych w ogólnej lepkosprężystości, o czym świadczą różnice kąta opóźnienia fazowego δ w badanym zakresie częstotliwości oscylacji. W porównaniu z glutenem z pszenicy zwyczajnej gluten z samopszy wykazuje większy udział cech lepkich.
4. Różnice wielkości modułu plateau lepkosprężystego G_N^0 , podatności plateau J_N^0 i szerokości oraz wielkości piku lepkiego rozproszenia energii na krzywej J'' , wyrażone jako częstotliwość charakterystyczna ω_0 i parametr n glutenu trzech badanych odmian samopszy wskazują na duże zróżnicowanie gęstości sieci matrycy glutenowej, przy czym najsłabszą strukturę sieci wykazuje gluten z samopszy odmiany Tifi.
5. Labilność struktury sieci matrycy glutenu z samopszy ujawnia się podczas badań metodą ścinania oscylacyjnego w zakresie najmniejszych badanych częstotliwości oscylacji, tj. $<0,007$ rad/s.

Literatura

- [1] Abdel-Aal E.S.M., Hucl P., Sosulski F.W., Bhirud P.R.: Kernel, milling and baking properties of spring-type spelt and einkorn wheats. *J. Cereal Sci.*, 1997, **3** (26), 363-370.

- [2] Abdel-Aal E.S.M., Hucl P.: Amino acid composition and in vitro protein digestibility of selected ancient wheats and their end products. *J. Food Comp. Anal.*, 2002, **6** (15), 737-747.
- [3] Alvarez J.B., Moral A., Martín L.M.: Polymorphism and genetic diversity for the seed storage proteins in spanish cultivated einkorn wheat (*Triticum monococcum* L. ssp. *monococcum*). *Genetic Resources and Crop Evolution*, 2006, **5** (53), 1061-1067.
- [4] Bavec F., Bavec M.: Organic production and use of alternative crops. CRC/Taylor & Francis, Boca Raton 2007.
- [5] Borghi B., Castagna R., Corbellini M., Heun M., Salamini F.: Breadmaking quality of einkorn wheat (*Triticum monococcum* L. ssp. *monococcum*). *Cereal Chem.*, 1996, **2** (73), 208-214.
- [6] Brandolini A., Hidalgo A., Moscaritolo S.: Chemical composition and pasting properties of einkorn (*Triticum monococcum* L. ssp. *monococcum*) whole meal flour. *J. Cereal Sci.*, 2008, **3** (47), 599-609.
- [7] Brandolini A., Hidalgo A., Plizzari L.: Storage-induced changes in einkorn (triticum monococcum L.) and breadwheat (*Triticum aestivum* L. ssp. *aestivum*) flours. *J. Cereal Sci.*, 2010, **2** (51), 205-212.
- [8] Ciaffi M., Dominici L., Lafiandra D.: Gliadin polymorphism in wild and cultivated einkorn wheats. *Theor Appl Genet*, 1997, **1** (94), 68-74.
- [9] 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.
- [10] Corbellini M., Empilli S., Vaccino P., Brandolini A., Borghi B., Heun M., Salamini F.: Einkorn characterization for bread and cookie production in relation to protein subunit composition. *Cereal Chem.*, 1999, **5** (76), 727-733.
- [11] D'Egidio M.G., Nardi S., Vallega V.: Grain, flour, and dough characteristics of selected strains of diploid wheat, *Triticum monococcum* L. *Cereal Chem.*, 1993, **3** (70), 298-303.
- [12] Ferry J.D.: Viscoelastic properties of polymers. Wiley, New York 1980.
- [13] Hidalgo A., Brandolini A.: Tocols stability during bread, water biscuit and pasta processing from wheat flours. *J. Cereal Sci.*, 2010, **2** (52), 254-259.
- [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] Lampi A.M., Nurmi T., Ollilainen V., Piironen V.: Tocopherols and tocotrienols in wheat genotypes in the HEALTHGRAIN diversity screen. *J. Agric. Food Chem.*, 2008, **21** (56), 9716-9721.
- [16] Lefebvre J., Pruska-Kedzior A., Kedzior 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.
- [17] Li L., Shewry P.R., Ward J.L.: Phenolic acids in wheat varieties in the HEALTHGRAIN diversity screen. *J. Agric. Food Chem.*, 2008, **21** (56), 9732-9739.
- [18] Løje H., Møller B., Laustsen A. M., Hansen Å.: Chemical composition, functional properties and sensory profiling of einkorn (*Triticum monococcum* L.). *J. Cereal Sci.*, 2003, **2** (37), 231-240.
- [19] PN-A-74012:1993. Ziarno zbóż i przetwory zbożowe. Oznaczanie wilgotności (podstawowa metoda odwoławcza).
- [20] Nurmi T., Nystrom L., Edelmann M., Lampi A.M., Piironen V.: Phytosterols in wheat genotypes in the HEALTHGRAIN diversity screen. *J. Agric. Food Chem.*, 2008, **21** (56), 9710-9715.
- [21] Piironen V., Edelmann M., Kariluoto S., Bedo Z.: Folate in wheat genotypes in the HEALTHGRAIN diversity screen. *J. Agric. Food Chem.*, 2008, **21** (56), 9726-9731.
- [22] Pruska-Kedzior A., Kedzior Z., Klockiewicz-Kaminska E.: Comparison of viscoelastic properties of gluten from spelt and common wheat. *Eur. Food Res. Technol.*, 2008, **1** (227), 199-207.
- [23] Pruska-Kędzior A., Kędzior Z., Bera E., Hryciuk K., Golińska-Krysztofiak J.: Application of dynamic rheology methods to describing viscoelastic properties of wheat gluten. *EJPAU*, 2005, **2** (8).

- [24] Pruska-Kędzior A.: Zastosowanie metod reologii fenomenologicznej do kwantyfikacji właściwości lepkością glutenu pszennego. Rozpr. nauk., Wyd. AR w Poznaniu, Poznań 2006, **(373)**, 141.
- [25] Serpen A., Gokmen V., Karagoz A., Koxsel H.: Phytochemical quantification and total antioxidant capacities of emmer (*Triticum dicocccum* Schrank) and einkorn (*Triticum monococccum* L.) wheat landraces. J. Agric. Food Chem., 2008, **16 (56)**, 7285-7292.
- [26] Suchowilska E., Wiwart M., Borejszo Z., Packa D., Kandler W., Krska R.: Discriminant analysis of selected yield components and fatty acid composition of chosen *Triticum monococccum*, *Triticum dicocccum* and *Triticum spelta* accessions. J. Cereal Sci., 2009, **2 (49)**, 310-315.
- [27] Tschoegl N.W.: The phenomenological theory of linear viscoelastic behavior: An introduction. Springer-Verlag, Berlin 1989.
- [28] Tyburski J.: Organic farming in Poland: Past, present and future perspectives. In: Organic agriculture: Sustainability, markets, and policies, OECD Ed. CABI Pub., 2003, pp. 301-309.
- [29] Tyburski J., Babalski M.: Uprawa i przetwórstwo pszenicy orkisz. CDR, Radom 2006.
- [30] Wieser H., Mueller K.J., Koehler P.: Studies on the protein composition and baking quality of einkorn lines. Eur. Food Res. Technol., 2009, **3 (229)**, 523-532.

COMPARING FUNCTIONAL PROPERTIES OF GLUTEN FROM EINKORN AND COMMON WHEAT

Summary

The research comprised the fractional composition of proteins in the flour from einkorn grain (*Triticum monococccum* L. ssp. *monococccum*) of the Svenskaja, Terzino, and Tifi cultivars, as well as in the flour from common wheat (*T. aestivum* L. ssp. *aestivum*) of the Figura cultivar; the rheological properties of gluten, washed-out from the flours studied, were also analyzed. The fractional composition of proteins in einkorn and wheat flours was determined using a three-step extraction method. The gluten proteins consisted of 79.9 (Terzino) to 81 % (Tifi) of the protein system in the flour from einkorn grain and proved to have the ability to fully disperse. Determined were the mechanical spectra of gluten within the frequency range from 0.001 to 200 rad/s, at a temperature of 20 °C. Those mechanical spectra were described using Cole-Cole equations; the following was computed: G_N^0 - viscoelastic plateau modulus; J_N^0 - plateau compliance; ω_0 - characteristic frequency; n parameter. Compared to the wheat gluten, the einkorn gluten showed a higher contribution of its viscous properties to the overall viscoelasticity. The gluten obtained from the individual einkorn cultivars significantly differed in the contribution range of its viscous and elastic properties to the overall viscoelasticity; this was proved by the differences in the values of δ phase angle in the analyzed range of the oscillation frequency. The differences in G_N^0 , J_N^0 , ω_0 , and n values of gluten found in three einkorn cultivars studied indicate a strong differentiation in their gluten matrix network density, and the weakest network structure shows gluten of Tifi einkorn cultivar. During the oscillatory shearing, in the range of the lowest oscillation frequencies analyzed, a certain lability of the network structure of the einkorn gluten is displayed.

Key words: einkorn, common wheat, gluten, rheology, Cole-Cole equations, viscoelasticity, prolamins, glutenins ☒