

WPLYW OBRÓBKIE CIEPLNEJ NA ZDOLNOŚĆ EKSPANSJI GLUTENU

Antoni Miś, Stanisław Grundas

Instytut Agrofizyki im. Bohdana Dobrzańskiego PAN
ul. Doświadczalna 4, 20-290 Lublin
e-mail: a.mis@ipan.lublin.pl

Streszczenie. Obróbce cieplnej poddawano gluten mokry świeżo wmywany z ziarna 4 polskich odmian pszenicy charakteryzujących się wysoką (Bombona i Zebra) i przeciętną (Bogatka i Finezja) wartością wypiekową. 2-g próbki glutenu zanurzano w 2% wodnym roztworze NaCl i ogrzewano przez 15 minut w temperaturach: otoczenia (22,5°C) oraz od 45 do 95°C, w odstępach co 5 °C. Po schłodzeniu (22,5°C) próbki glutenu umieszczano w szczelinie pomiędzy płytami grzejnymi o temperaturze 150°C i używając kamery cyfrowej określano przyrosty względne objętości glutenu w czasie ich ekspansji. Uzyskane dane opisano modelem regresji, który umożliwił wyróżnienie dwóch rodzajów ekspansji: quasi-liniowej i hiperbolicznej, charakteryzujących właściwości lepkie i sprężyste glutenu. Wzrost temperatury obróbki glutenu powodował istotne modyfikowanie właściwości mechanicznych błon glutenowych. Stosowanie temperatur w zakresie od 75 do 95°C powodowało obniżanie przyrostów względnych objętości glutenu, przeciętnie o 0,1°C⁻¹ i wydłużanie połowicznego czasu ekspansji hiperbolicznej glutenu, przeciętnie z 32 do 37 s. Odmiany o wysokiej jakości, w porównaniu do tych o przeciętnej jakości, odznaczały się istotnie krótszymi czasami połowicznymi obu typów ekspansji oraz większymi przyrostami objętości glutenu.

Słowa kluczowe: gluten mokry, błony glutenowe, obróbka cieplna, zdolność ekspansji

WSTĘP

Technologiczna użyteczność glutenu wynika w dużej mierze z jego zdolności do przeobrażania właściwości mechanicznych błon glutenowych pod wpływem ciepła, określanej termoutwardzalnością lub termoplastycznością. Błony glutenowe, początkowo mające lepkosprężystą konsystencję, pod wpływem wysokich temperatur na etapie wypieku, podlegają ekspansji i równocześnie przekształcają się w nielepki i elastyczny szkielet mięksizu produktu finalnego, zachowując tak charakterystyczną pęcherzykową jego teksturę (Gan i in. 1995, Mondal i Datta 2008). W efekcie modyfikacji cieplnej glutenu, finalny produkt wyróżnia się ak-

ceptowalnymi przez konsumentów cechami organoleptycznymi i wydłużoną przydatnością do spożycia (Gąsiorowski 2004, Fik 2004).

W badaniach nad modyfikacjami cieplnymi błon glutenowych powszechnie wykorzystywanym obiektem badań jest gluten mokry, substancja posiadająca właściwości i strukturę zbliżoną do matrycy błon glutenowych ciasta chlebowego, z którego została wyizolowana. Zaś podstawowymi narzędziami pomiarowymi w tych badaniach są standardowe techniki reometryczne (Miś 2005). Przy ich użyciu określone są cieplne zmiany we właściwościach reologicznych glutenu pod wpływem jego ogrzewania w temperaturach, których górny zakres nie przekracza najczęściej 100°C (Dobraszczyk i in. 2003, Hayta i Schofield 2005, Pommet i in. 2005, Staphopoulos i in. 2006, Staphopoulos i in. 2008, Weegels i in. 1994). Unika się w ten sposób zjawiska wrzenia wody, które występuje podczas ogrzewania glutenu mokrego do temperatur wyższych niż 100°C i powoduje przyrost objętości (ekspansję) badanej próbki, zakłócający prawidłowy odczyt wskaźników reologicznych.

Niemniej jednak, badania Misia i Rusinka (2004) i Misia i Grodka (2007) wykazały, że pomiar przebiegu zjawiska ekspansji glutenu w warunkach modelowych może być miarodajnym narzędziem poznawania skutków modyfikacji termicznych błon glutenowych. Test ten przeprowadza się na glutenie mokrym umieszczonym w szczelinie między równoległymi płytami grzejnymi. Pod wpływem ogrzewania, powodującego wrzenie wody zawartej w tej próbce, uwalniana jest para wodna zatrzymywana przez błony glutenowe w pęcherzykach. Pęcherzyki zwiększając swoją objętość wymuszają określony przebieg ekspansji próbki. Zachowując identyczne warunki przeprowadzania testu ekspansji, wszelkie różnice w przebiegu ekspansji są odzwierciedleniem właściwości mechanicznych błon glutenowych, jak i podatności tych błon na przemiany indukowane ogrzewaniem i dehydratacją. Dla oszacowania tych różnic wykonuje się w trakcie testu rejestrację obrazów próbki w szczelinie, na podstawie których określa się względne przyrosty objętości glutenu w funkcji czasu trwania testu ekspansji ($\theta(t)$). Miś i Grodek (2007) do interpretacji tych danych wykorzystywali 4-parametrowy model regresji ekspansji mający postać:

$$\theta(t) = a \cdot (1 + \tanh(b \cdot (t - c))) + d \cdot t, \quad (-), \quad (1)$$

gdzie: a , b , c , d oznaczają parametry równania, \tanh jest tangensem hiperbolicznym. Zgodnie z tym modelem, lepkie płynięcie glutenu podczas ekspansji charakteryzowane jest przy pomocy funkcji liniowej (parametr d), zaś zachowanie glutenu wynikające z jego sprężystych właściwości opisują parametry funkcji hiperbolicznej (a , b i c).

Lepkie i sprężyste zachowanie się glutenu podczas ekspansji znajduje odzwierciedlenie w składzie frakcyjnym białek glutenowych, jak również w skła-

dzie chemicznym glutenu mokrego. Gluten tworzą dwie zasadnicze frakcje białek: gliadyny – determinujące lepkie właściwości, i gluteniny – nadające sprężyste właściwości. Te dwie frakcje podczas ekspansji termicznej podlegają modyfikacjom cieplnym z różnym nasileniem. Mogą na to wskazywać wyniki badań Autran'a i in. (1989), Pommet'a i in. (2005) i Singh'a i MacRitchie'ego (2004), którzy obserwowali większą reaktywność cieplną (zdolność agregacji) białek gluteninowych niż gliadynowych. Dlatego też można założyć, że w zależności od składu frakcyjnego białek glutenowych, w następstwie odmiennej modyfikalności cieplnej frakcji lepkich (gliadyn) i sprężystych (glutenin), będzie zmieniała się w sposób istotny dynamika ekspansji próbki.

Aby w pełni uchwycić dwumodalny pod względem właściwości reologicznych charakter glutenu mokrego i umożliwić opisywanie ciągu przemian począwszy od rozpoczęcia ogrzewania glutenu, poprzez etap jego ekspansji, a skończywszy w momencie pełnego termicznego utwardzenia błon glutenowych, powinno się zrezygnować z funkcji liniowej, która zakłada stałą szybkość składowej lepkiej ekspansji glutenu. W rzeczywistości obie składowe ekspansji: lepka i sprężysta pod wpływem temperatury wypieku podlegają podobnym zmianom. Najpierw szybkość ekspansji, zarówno typu lepkiego, jak i sprężystego, zaczyna stopniowo wzrastać. Po osiągnięciu maksimum następuje stopniowe obniżanie szybkości aż do momentu kompletnego ustania ekspansji. Jednakże, ze względu na opisaną powyżej odmienną modyfikowalność lepkich i sprężystych składników błon glutenowych, ekspansja typu lepkiego z dużym prawdopodobieństwem będzie istotnie różnić się od ekspansji typu sprężystego, przede wszystkim dynamiką i momentem wystąpienia wartości maksymalnych. Zatem do opisu dynamiki ekspansji glutenu mokrego bardziej przydatne byłyby modele regresji złożone z dwóch funkcji hiperbolicznych, z których jedna odzwierciedlałaby specyfikę termicznego przeobrażania lepkich właściwości błon glutenowych, a druga funkcja – tych sprężystych.

Mając na uwadze te przesłanki przeprowadzono badania, w których do interpretacji skutków modyfikacji cieplnych glutenu mokrego wykorzystano model regresji ekspansji zbudowany z dwóch funkcji sigmoidalnych, przy założeniu, że ekspansja typu lepkiego odznacza się kilkakrotnie mniejszą szybkością tego procesu niż ta typu sprężystego. Wyniki badań uwzględniających powyższe założenia są przedmiotem prezentowanego artykułu.

MATERIAŁ I METODY

W badaniach stosowano gluten świeżo wmywany z młewa pszenicy ozimej, odmian Bogatka i Finezja, oraz jarej, odmian Bombona i Zebra. Próby ziarna pochodziły z kolekcji Hodowli Roślin Danko w Laskach, ze zbioru 2007r. Zgodnie z klasyfikacją COBORU, odmiany pszenicy jarej: Bombona i Zebra zostały

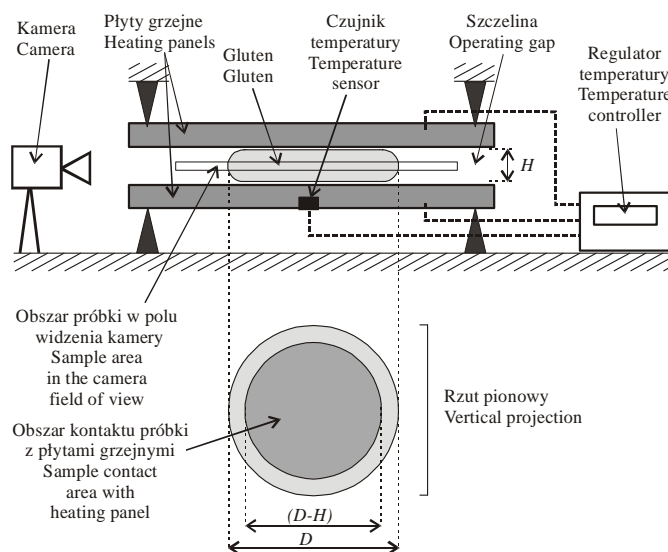
zaliczone do najlepszej grupy jakościowej (E). Zaś odmiany pszenicy ozimej: Finezja i Bogatka, zaklasyfikowano do grup o niższej jakości: A i B, odpowiednio (tab. 1).

Wymywanie i wirowanie glutenu przeprowadzano zgodnie ze standardową procedurą ICC nr 155, stosując Glutomatic 2200 i Centrifuge 2015 (Pertin Instruments, Huddinge, Szwecja). Celem wirowania było usunięcie wody niezwiązanej z glutenu. Z odwirowanego glutenu odważano z dokładnością do 0,01g 2-g próbki, którym ręcznie nadawano kształt kulki.

Obróbkę cieplną glutenu przeprowadzano z użyciem łaźni wypełnionej 2% wodnym roztworem NaCl i utrzymującej stałą cyrkulacją i założoną temperaturę tego roztworu. Naczynko o drucianych ściankach, do którego wkładano uformowaną kulkę glutenu, zanurzano w łaźni na 15 minut. Przyjęto 11 poziomów temperatury roztworu w przedziale 45-95°C z krokiem 5°C. Po zakończeniu ogrzewania kulkę glutenu wraz z naczynkiem przenoszono na okres 15 minut do drugiej łaźni utrzymującej temperaturę roztworu solanki na poziomie 22,5°C. Po zakończeniu schładzania kulkę glutenu wyjmowano i usuwano z jej powierzchni krople wody przy użyciu bibuły filtracyjnej. Po czym niezwłocznie rozpoczynano test ekspansji termicznej, zgodnie z przyjętą procedurą (Miś i Grodek, 2007). Kulkę glutenu umieszczano w strefie centralnej szczeliny pomiędzy płytami grzejnymi o ustabilizowanej temperaturze na poziomie 150°C (rys. 1). Powierzchnia wewnętrzna tych płyt była wyłożona okładziną teflonową, zapobiegającą przywieraniu glutenu. Szerokość szczeliny (H) w trakcie ekspansji glutenu była stała i wynosiła $H = 5\text{mm}$. Próbką w szczelinie przyjmowała kształt beczki, której wysokość była ograniczona szerokością szczeliny. Dla ułatwienia pomiaru objętości glutenu, przyjęto zgodne z rzeczywistością założenie, że średnica maksymalna beczki (D), mierzonej w centralnej płaszczyźnie szczeliny, była większa dokładnie o wartość szczeliny (H) od jej średnicy minimalnej ($D-H$), mierzonej w płaszczyźnie przylegania próbki do płyt grzejnych. Próbką w szczelinie była równomiernie oświetlona światłem rozproszonym. Ponadto, rejestrowanie jej obrazu odbywało się na tle białego kolistego ekranu, umieszczonego w odległości 2 cm wokół płyt grzejnych. Zabezpieczało to duży kontrast między powierzchnią próbki a jej otoczeniem. Rejestrowano jedynie wycinek obrazu, poziomy pasek o szerokości 5 pikseli, odpowiadający centralnej strefie szczeliny (rys. 1). W czasie testu ekspansji rejestrację tego wycinka prowadzono z częstotliwością 11 s⁻¹ i rozdzielczością 4 piksele s⁻¹, stosując cyfrową kamerę, model VF0420, Creative. Przy użyciu programu komputerowego Image J, zapisane wycinki obrazów najpierw binaryzowano, a następnie odczytywano ilości pikseli wypełniających powierzchnię tych wycinków i przyjmowano je za średnice maksymalne próbki glutenu (D). Na podstawie tych pomiarów wyznaczano względne przyrosty objętości próbki – $\theta(t)$ w funkcji czasu testu ekspansji – t , zgodnie z poniższym równaniem:

$$\theta(t) = (2D(t)^2 + (D(t) - H)^2)(2D_0^2 + (D_0 - H)^2)^{-1}, (-) \quad (2)$$

gdzie: $D(t)$ – średnica maksymalna próbki glutenu po czasie t testu ekspansji (liczba pikseli), D_0 – średnica maksymalna próbki glutenu w chwili rozpoczęcia testu ($t = 0$) (liczba pikseli).



Rys. 1. Schemat stanowiska do badania ekspansji termicznej glutenu i geometria próbki
Fig. 1. Schematic of the apparatus for testing gluten thermal expansion and geometry of the sample

Opisaną powyżej procedurę dla każdej z 48 kombinacji eksperymentalnych (4 odmiany pszenicy x 12 temperatur obróbki glutenu) wykonywano w 6 powtórzeniach. Analizę statystyczną wyników przeprowadzono z użyciem Statistica v.8.0 (Statsoft). Do opisu zależności $\theta(t)$ użyto modelu matematycznego, którego parametry odnajdowano przy pomocy metody analizy regresji nieliniowej. Istotność zróżnicowania wyznaczonych wskaźników do charakteryzowania przebiegu ekspansji oceniono stosując 95% przedziały ufności dla wartości średnich (NIR).

WYNIKI

Charakterystyka glutenu mokrego (nieogrzewanego)

Charakterystykę właściwości glutenu mokrego „w stanie surowym” zestawiono w tabeli 1. Odmiany pszenicy jarej (Bombona i Zebra), w porównaniu z odmianami pszenicy ozimej (Bogatka i Finezja), wyróżniały się istotnie wyższymi ilościami glutenu mokrego i jego wodochłonnością (wilgotnością), natomiast

charakteryzowały się one zdecydowanie niższymi indeksami glutenu. Najbardziej zwięzłą strukturą glutenu wyróżniała się odmiana Finezja, wskazują na to wyjątkowo wysoka wartość indeksu glutenu (92%) i zarazem niska zawartość wody niezwiązanej (1,2%). Aktywność amylolityczna wszystkich badanych odmian była na niskim poziomie (liczba opadania powyżej 400 s).

Tabela 1. Charakterystyka technologicznych właściwości glutenu mokrego wyizolowanego z ziarna badanych odmian pszenicy

Table 1. Characteristics of technological properties of wet gluten isolated from grain of the studied wheat cultivars

Odmiana pszenicy Wheat cultivar	Grupa jakościowa Quality group*	Liczba opadania Falling number	Gluten świeżo wymyty Freshly washed out gluten		Gluten odwirowany Centrifuged gluten	
			Woda niezwiązana Unbound water content	Indeks glutenu Gluten index	Zawartość glutenu Gluten yield	Wilgotność Moisture content
	–	s	%	%	%	%
Bogatka	B	416	1,9	76	28,8	67,0
Finezja	A	445	1,2	92	27,7	66,6
Bombona	E	444	2,4	62	35,7	68,0
Zebra	E	410	2,4	58	40,3	68,3
LSD		23	0,6	5	0,9	0,7

* – klasyfikacja COBORU, kierunek obniżania jakości technologicznej: od E (odmiana elitarna), poprzez A (odmiana jakościowa) do B (odmiana chlebowa),

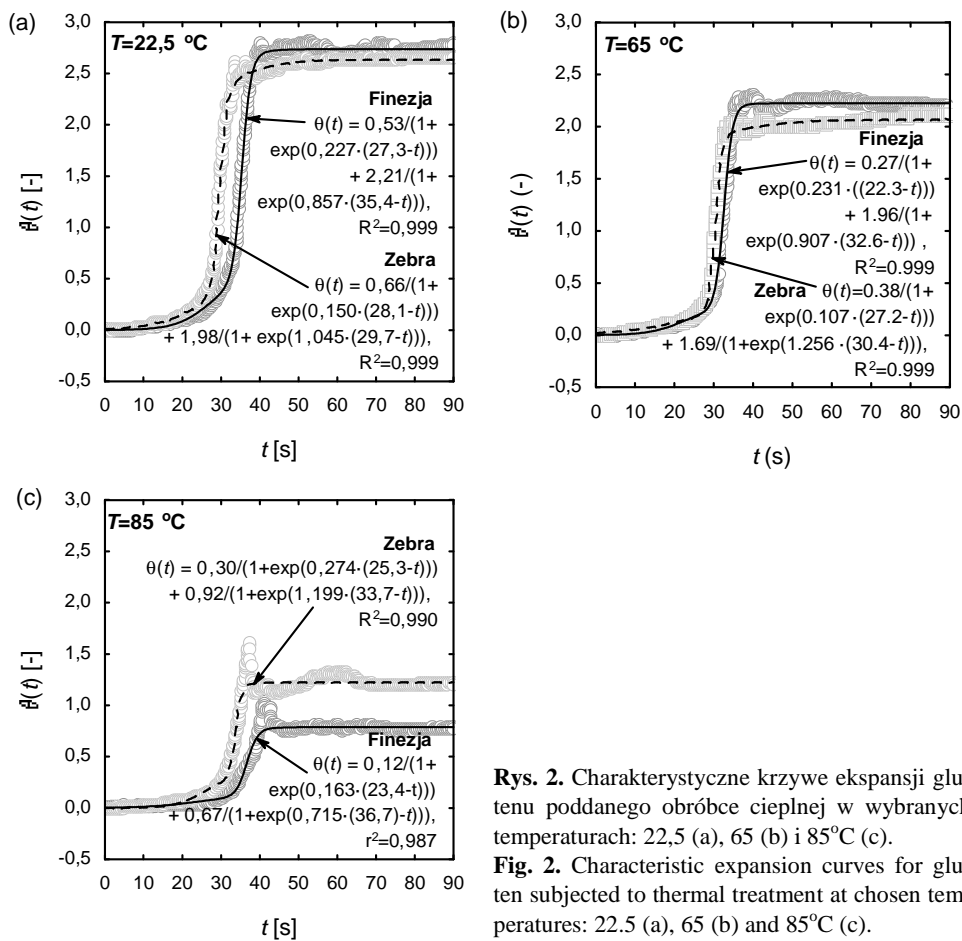
* – classification of COBORU, direction of decreasing baking quality: from E (elite cultivar), through A (quality cultivar) to B (bread cultivar).

Proponowany matematyczny model ekspansji glutenu

Charakterystyczny przebieg zmian objętości glutenu mokrego podczas testu ekspansji (rys. 2a, 2b i 2c) zilustrowano na przykładzie trzech temperatur obróbki: 22,5 (kontrola), 65 i 85°C oraz dwóch odmian Finezja i Zebra, skrajnie różniących się jakością glutenu surowego pod względem indeksu glutenu (tab.1).

Autorzy zaproponowali, aby przyrosty względne objętości glutenu w funkcji czasu testu ekspansji – $\theta(t)$ wyrażać jako sumę odkształceń elementów lepkich i sprężystych glutenu, które nazwano odpowiednio ekspansją quasi-liniową – $\theta_L(t)$ i ekspansją hiperboliczną – $\theta_H(t)$. Zgodnie z ilustracją na rysunku 3, założono, że krzywe $\theta_L(t)$ i $\theta_H(t)$ pod względem charakteru przebiegu będą identyczne, a więc

opisywane przy pomocy tej samej funkcji. Do ich opisu zaproponowano dwie 3-parametrowe funkcje sigmoidalne, które po złożeniu wiernie odwzorowują przebieg procesu ekspansji (rys. 2). Za podstawowe kryterium rozróżniania obu typów ekspansji, przyjęto warunek, zgodnie z którym ekspansja quasi-liniowa odznacza się zdecydowanie mniejszą szybkością w porównaniu z ekspansją hiperboliczną.



Rys. 2. Charakterystyczne krzywe ekspansji glutenu poddanego obróbce cieplnej w wybranych temperaturach: 22,5 (a), 65 (b) i 85°C (c).

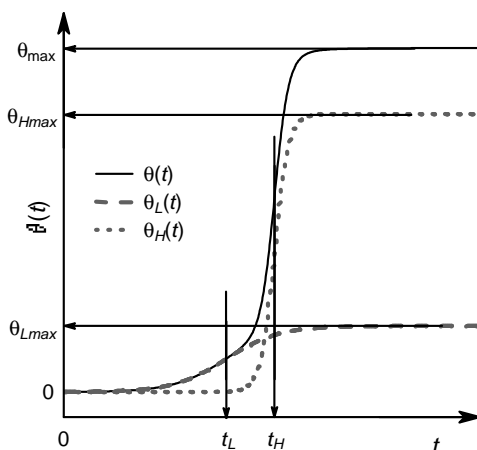
Fig. 2. Characteristic expansion curves for gluten subjected to thermal treatment at chosen temperatures: 22.5 (a), 65 (b) and 85°C (c).

Zatem zaproponowany model regresji do opisu zmian przyrostów względnych objętości glutenu $\theta(t)$ w funkcji t czasu testu ekspansji przyjął następującą postać:

$$\theta(t) = \theta_L(t) + \theta_H(t) = \theta_{Lmax} (1 + \exp(b_L(t_L - t)))^{-1} + \theta_{Hmax} (1 + \exp(b_H(t_H - t)))^{-1}, \quad (-), \quad (3)$$

gdzie: θ_{Lmax} , b_L , t_L , θ_{Hmax} , b_H i t_H – parametry równania spełniające warunek: $b_L < b_H$, θ_{Lmax} i θ_{Hmax} – maksymalne przyrosty względne objętości próbki (-), wynikające odpowiednio z ekspansji quasi-liniowej i hiperbolicznej, b_L i b_H – szybkości przyrostów względnych objętości próbki (s^{-1}) charakteryzujące odpowiednio dynamikę ekspansji quasi-liniowej i hiperbolicznej, t_L i t_H – momenty czasu testu ekspansji (s), w których występują szybkości maksymalne odpowiednio ekspansji quasi-liniowej i hiperbolicznej. Na wykresach czasom t_L i t_H odpowiadają punkty przegięcia krzywych ekspansji quasi-liniowej i hiperbolicznej, odpowiednio.

Stopień dopasowania zaproponowanego modelu regresji (3) do danych eksperymentalnych oszacowany współczynnikiem determinacji R^2 (rys. 2a, 2b i 3c) mieścił się w przedziale od 0.95 do 0.99, a wyznaczone parametry tego równania charakteryzowały się niskimi błędami estymacji.



Rys. 3. Graficzna interpretacja zaproponowanego modelu do opisu ekspansji termicznej glutenu
Fig. 3. Graphic interpretation of proposed model for describing thermal expansion of gluten

Na podstawie zmierzonych wartości parametrów θ_{Lmax} i θ_{Hmax} obliczono dodatkowe dwa wskaźniki jakościowe:

- przyrost maksymalny objętości (θ_{max}), jaki uzyskiwała próbka po zakończeniu testu ekspansji, według wzoru:

$$\theta_{max} = \theta_{Lmax} + \theta_{Hmax}, \quad (-), \quad (4)$$

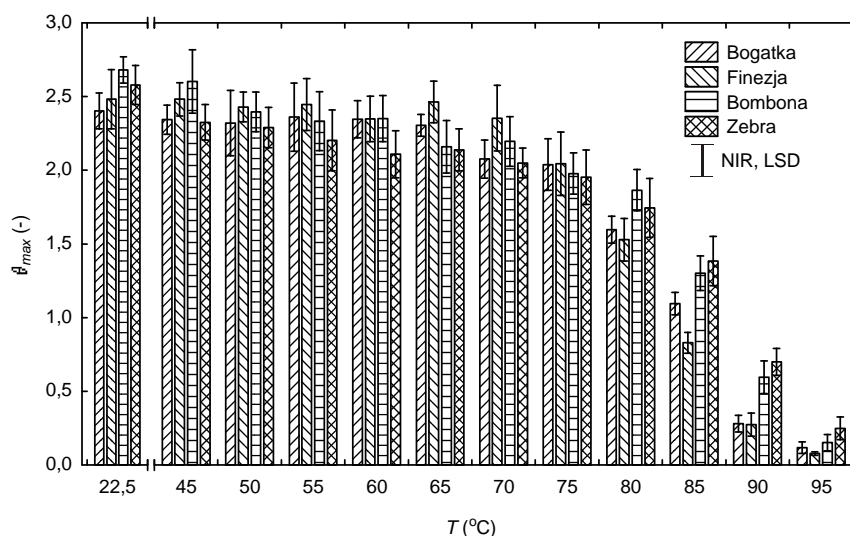
- procentowy udział ekspansji hiperbolicznej w przyroście maksymalnym objętości próbki (P_H), według wzoru:

$$P_H = 100 \theta_{Hmax} (\theta_{Lmax} + \theta_{Hmax})^{-1}, \quad (\%), \quad (5)$$

Zmiany zdolności ekspansji glutenu – θ_{max}

Gluten nie poddany obróbce cieplnej, a więc utrzymywany w roztworze o temperaturze 22,5°C odznaczał się największymi przyrostami względnymi objętości (θ_{max}) podczas testu ekspansji (rys. 4). Ich wartości wahały się w zależności od odmiany od 2,4 (Bogatka) do 2,7 (Bombona). Podwyższanie temperatury obróbki wpływało na stopniowe zmniejszanie się objętości ekspandowanego glutenu. Wartości θ_{max} obniżały się przeciętnie o 0,5 przy wzroście temperatury z 22,5 do 75°C. Pod wpływem dalszego podwyższania temperatury z 75 do 95°C odnotowywano znacznie silniejsze spadki θ_{max} , z około 2,0 do 0,1. Gluten ogrzewany w 95°C prawie całkowicie tracił zdolność ekspansji.

Gluten pszenicy ozimej (Bogatka i Finezja), w przeciwieństwie do tego pszenicy jarej (Bombona i Zebra) nie podlegał zauważalnym modyfikacjom przy temperaturach obróbki do 65°C. Natomiast nieoczekiwanie gluten pszenicy ozimej stawał się wyjątkowo wrażliwy na modyfikacje przy stosowaniu wyższych temperatur w zakresie 80-90°C. W efekcie tracił on znacznie mocniej zdolność ekspansji niż gluten pszenicy jarej. Różnice te były istotne statystycznie, a wyrażone w wartościach θ_{max} kształtowały się średnio na poziomie 0,5. Prezentowane dane mogą wskazywać na uwarunkowania genetyczne odmiennej modyfikowalności cieplnej glutenu.



Rys. 4. Zależność przyrostów względnych objętości glutenu (θ_{max}) dla badanych odmian pszenicy (Bogatka, Finezja, Bombona i Zebra) od temperatury obróbki cieplnej (T)

Fig. 4. Dependence of relative volume increments of gluten (θ_{max}) for studied wheat cultivars (Bogatka, Finezja, Bombona and Zebra) on the temperature of thermal treatment (T)

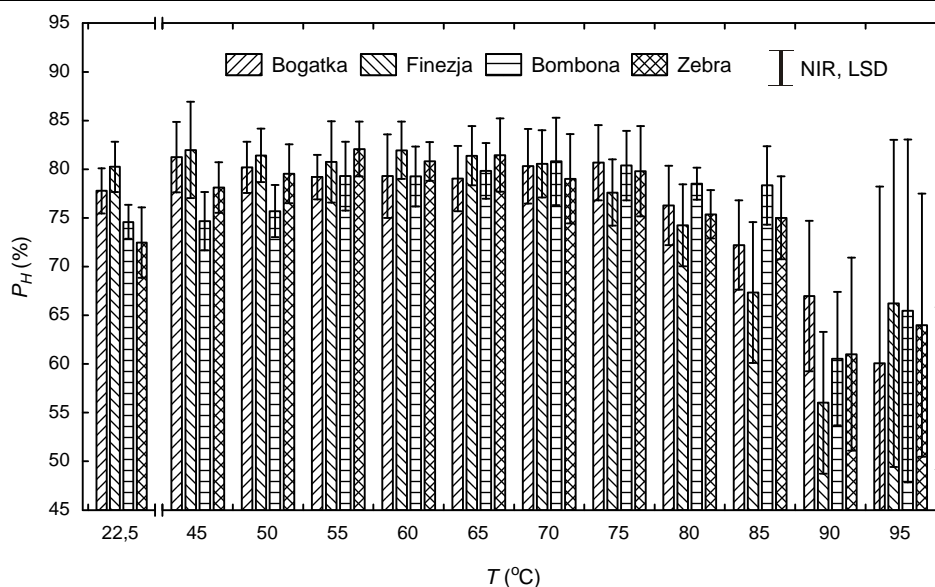
Zmiany w strukturze ekspansji – P_H

Udział ekspansji hiperbolicznej (P_H) w przyroście ekspandowanego glutenu (rys. 5) był dominujący i kształtował się średnio na poziomie 76%. Oznacza to, że podczas testu ekspansji odkształcanie lepkich składników błon glutenowych przyczyniało się zaledwie w 24% do zwiększania objętości próbki. Na różnicowanie tego wskaźnika największy wpływ wywierała temperatura obróbki glutenu. Wraz z jej wzrostem udział ekspansji hiperbolicznej zwiększał się, przeciętnie z 76 do 80%. Po czym udział ten utrzymywał się na tym samym poziomie, mimo zwiększania temperatury w zakresie od 55 do 75°C. Następnie, przy stosowaniu temperatur powyżej 75°C udziały ekspansji hiperbolicznej stopniowo obniżały się, osiągając swoje minimum (ok. 61%) przy temperaturze 90°C. Z kolei obróbka glutenu w 95°C skutkowała zapoczątkowaniem wzrostowej tendencji zmian P_H .

Genotypowe uwarunkowania zmienności P_H przejawiały się przede wszystkim w tym, że gluten o niższym indeksie glutenu (Bombona i Zebra), w swojej strukturze zawierał mniej składników nadających mu cechy sprężyste. Wskazywały na to istotnie niższe udziały ekspansji hiperbolicznej, o około 5%, w porównaniu do tych udziałów dla glutenu o wyższym indeksie glutenu (Bogatka i Finezja). W wyniku modyfikacji cieplnych różnice genotypowe w kształtowaniu zmienności wskaźnika P_H zanikały. Wyjątek stanowiły odmienne skutki obróbki przy temperaturze 85°C, kiedy odmiany Bombona i Zebra odróżniały się od pozostałych wyższymi udziałami ekspansji hiperbolicznej. Może to oznaczać, że jednym ze źródeł słabszego modyfikowania cieplnego zdolności ekspansji błon (θ_{max}) u tych odmian jest większa odporność glutenu na zmiany prowadzące do utraty jego zachowań sprężystych podczas ekspansji.

Przesunięcia czasowe w przebiegu ekspansji quasi-liniowej i hiperbolicznej – t_L i t_H

Ekspansja hiperboliczna przebiegała ze znacznym opóźnieniem względem ekspansji quasi-liniowej, wynoszącym przeciętnie 8 s (rys. 6a i 6b). Wartości t_L utrzymywały się na wyrównanym poziomie, ok. 27 s, w szerokim zakresie stosowanych temperatur obróbki, od 22,5 do 80°C. Przy czym gluten słabszy mechanicznie (Bombona i Zebra) odznaczał się średnio o 1,8 s krótszym połowicznym czasem ekspansji quasi-liniowej. TemperatURY od 80 do 95°C powodowały znaczne skrócenie tego czasu, od 27 do 16 s. Na działanie podwyższonych temperatur odporniejszy był gluten słabszy mechanicznie. Wskazują na to niższe spadki wartości t_L odnotowane dla odmian Bombona i Zebra.

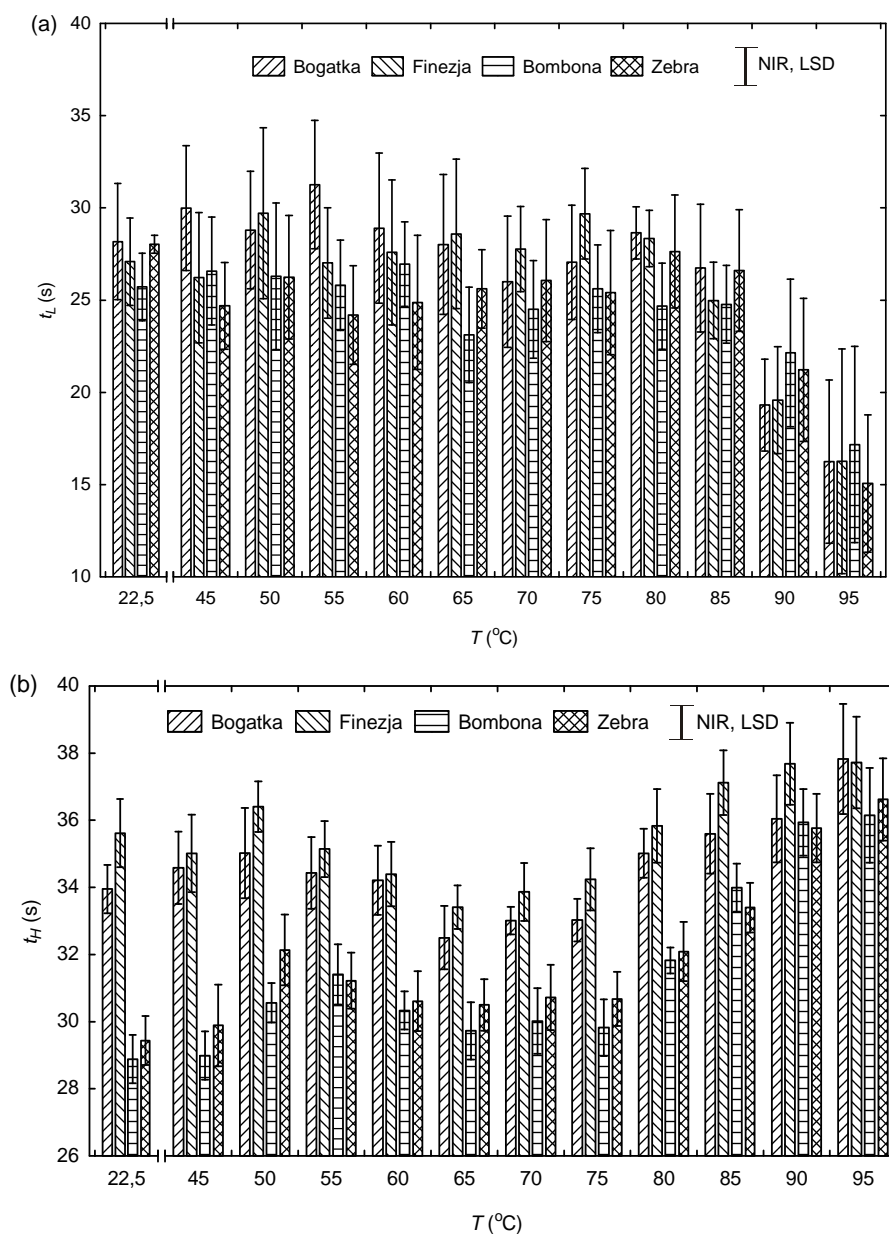


Rys. 5. Zależność udziałów ekspansji hiperbolicznej (P_H) w przyroście objętości glutenu dla badanych odmian pszenicy (Bogatka, Finezja, Bombona i Zebra) od temperatury obróbki cieplnej (T)

Fig. 5. Dependence of shares of hyperbolic expansion (P_H) in volume increment of gluten for studied wheat cultivars (Bogatka, Finezja, Bombona and Zebra) on the temperature of thermal treatment (T)

Bardziej skomplikowanym przebiegiem charakteryzowały się zmiany połowicznego czasu ekspansji hiperbolicznej pod wpływem temperatury obróbki glutenu (rys. 6b). Wzrost temperatury w zakresie od 22,5 do 50°C powodował wydłużanie czasu t_H , średnio o 2 s. Następnie na skutek ogrzewania glutenu w temperaturach od 50 do 65°C występowała odwrotna tendencja zmian tego parametru, szczególnie wyraźnie zarysowana dla odmian pszenicy ozimej (cv. Bogatka i Finezja). Z kolei dalsze podwyższanie temperatury od 75 do 95°C przyczyniało się do stopniowego wydłużania połowicznego czasu ekspansji hiperbolicznej. Czas ten wydłużał się przeciętnie o 1 s przy wzroście temperatury o każde 5°C.

W całym zakresie temperaturowym, odmiany pszenicy jarej wyróżniały się istotnie krótszymi czasami t_H (rys. 6b). Największe różnice genotypowe, dochodzące do 6,7 s, wystąpiły pomiędzy odmianami Finezja i Bombona i przy stosowaniu najniższej temperatury obróbki glutenu (22,5°C). Różnice te w miarę wzrostu temperatury obróbki łagodnie zmniejszały się. Przy temperaturze 95°C nie przekraczały one 2 s. Otrzymane wyniki wskazują jednoznacznie, że błony glutenowe słabsze mechanicznie (Bombona i Zebra), w całym zakresie temperaturowym zastosowanej obróbki, podlegały ekspansji hiperbolicznej w znacznie krótszym czasie.



Rys. 6. Zależność połowicznych czasów ekspansji quasi-liniowej (t_L), (a), i hiperbolicznej (t_H), (b) dla badanych odmian pszenicy (Bogatka, Finezja, Bombona i Zebra) od temperatury obróbki cieplnej (T)

Fig. 6. Dependence of expansion half-times of quasi-linear (t_L), (a), and hyperbolic (t_H), (b) for studied wheat cultivars (Bogatka, Finezja, Bombona and Zebra) on the temperature of thermal treatment (T)

DYSKUSJA

Z punktu technologii piekarnictwa, najistotniejsze są właściwości strukturotwórcze glutenu, odpowiedzialne za formowanie chleba o dużej objętości, z równomiernie spulchnionym i elastycznym miększem. W sensie fizycznym właściwości strukturotwórcze glutenu są bezpośrednio odzwierciedlone we właściwościach mechanicznych błon glutenowych i w ich zdolnościach termoplastycznych. Do podstawowych właściwości mechanicznych, które wpływają na przebieg ekspansji ciasta chlebowego, można zaliczyć rozciągliwość, wytrzymałość i przepuszczalność błon glutenowych. Ich wyjątkowo niska przepuszczalność sprawia, że uwalniane gazy podczas fermentacji i wypieku są zatrzymywane w pęcherzykach, otaczanych przez błony glutenowe i w ten sposób tworzących porowatą strukturę miększu ciasta i pieczywa. Z kolei duża rozciągliwość błon glutenowych ułatwia podczas tych procesów rozrost kęsa ciasta, którego elastyczna konsystencja jest utrzymywana dzięki posiadaniu przez te błony odpowiedniej wytrzymałości. W nadawaniu ostatecznej postaci wyrobom piekarskim zasadniczą rolę odgrywają właściwości termoplastyczne błon glutenowych. Dzięki nim, błony w trakcie ekspansji termicznej na etapie wypieku przechodzą ukierunkowane przemiany fizyczne i chemiczne prowadzące do wytworzenia nielepkiej i porowatej struktury miększu pieczywa (Miś i Grundas 2008).

Prezentowane wyniki wskazują, że temperatura obróbki cieplnej wpływa w sposób wielokierunkowy na kształtowanie się wyznaczonych wskaźników. Przy najniższej temperaturze obróbki (22,5°C) gluten odznaczał się największym przyrostem objętości (θ_{max}), na który składał się podwyższony udział ekspansji quasi-liniowej, kosztem obniżonego udziału ekspansji hiperbolicznej (P_H). Ponadto, taki gluten cechował się przebiegiem ekspansji hiperbolicznej o najkrótszym czasie połowicznym (t_H). Wraz ze wzrostem temperatury, skutki modyfikacji cieplnej przejawiały się w stopniowym obniżaniu objętości ekspandowanego glutenu (θ_{max}) oraz we wzroście udziału ekspansji hiperbolicznej (P_H) i opóźnianiu momentu występowania jej największej dynamiki (t_H).

Ograniczanie zdolności ekspansji glutenu pod wpływem obróbki cieplnej należy wiązać przede wszystkim z przemianami fizykochemicznymi skrobi i glutenu. Zachodzące w podwyższonych temperaturach zjawisko kleikowania skrobi podnosi znacznie lepkość glutenu, co z kolei przyczynia się do szybszego pęknięcia pęcherzyków glutenowych. W efekcie przebieg ekspansji jest powstrzymywany (Gan i in. 1995). Niemniej jednak dominujący wpływ na ograniczanie zdolności ekspansji glutenu wywierają przemiany chemiczne białek glutenowych, stanowiących główny budulec błon glutenowych. Podwyższone temperatury indukują zmiany w konformacji tych białek, polegające na rozfałdowywaniu łańcuchów polipeptydowych, a także we wzroście stopnia ich polimeryzacji wyniku zjawiska

sieciowania. Przemiany te powodują wzmocnienie struktury glutenu, mierzone w postaci wzrostu modułów zachowawczego i stratności (Hayta i Schofield 2005, Singh i Bhattacharya 2005), i równocześnie ograniczają znacznie rozciągłość błon glutenowych podczas testu ekspansji, prowadząc ostatecznie do usztywnienia ich pęcherzykowej struktury.

Prezentowane badania ujawniły również istotne różnice odmianowe (genotypowe) w modyfikowalności cieplnej glutenu. Odmiany (Bogatka i Finezja) mające gluten mechanicznie mocniejszy (o wyższym indeksie glutenu), i o bardziej zwartej sieci glutenowej (o niższej zawartości wody niezwiązanej) w porównaniu do glutenu odmian pszenicy jarej (Bombona i Zebra) charakteryzowały się wyraźnie słabszą ekspansją glutenu oraz mniejszą odpornością na modyfikacje w podwyższonych temperaturach (80-90°C). Wyniki te znajdują potwierdzenie w klasyfikacji jakościowej tych odmian dokonanej na podstawie próbnego wypieku (tab. 1).

WNIOSKI

1. Zaproponowany matematyczny model opisu zjawiska ekspansji glutenu mokrego, umożliwiający rozróżnianie dwóch rodzajów ekspansji: quasi-liniowej i hiperbolicznej znacznie usprawnił analizę wpływu obróbki cieplnej na właściwości mechaniczne błon glutenowych.

2. Zastosowana obróbka cieplna glutenu w zakresie od 22,5 do 75°C wpływała na łagodne obniżanie przyrostów względnych objętości glutenu, średnio od 2,5 do 2,0. W wyniku dalszego wzrostu temperatury do 95°C przyrosty te obniżyły się do 0,15. Odmiany pszenicy jarej (Bombona i Zebra), w porównaniu z odmianami pszenicy ozimej (Bogatka i Finezja), charakteryzowały się istotnie większymi, około 0,5, przyrostami objętości glutenu ogrzewanego w temperaturze 85-90°C.

3. Największe, dochodzące do 80%, udziały w przyroście objętości glutenu miała ekspansja hiperboliczna. Jej udziały zmniejszały się pod wpływem stosowania temperatury obróbki z poza przedziału 55-75°C. Ekspansja hiperboliczna przebiegała ze znacznym opóźnieniem względem ekspansji quasi-liniowej, wynoszącym przeciętnie 8 s.

4. Połowiczny czas ekspansji hiperbolicznej w miarę wzrostu temperatury od 22,5 do 50°C wydłużał się, średnio z 32 do 34 s. Następnie przy ogrzewaniu glutenu w temperaturach od 50 do 65°C występowała odwrotna tendencja zmian tego parametru. Stosowanie temperatur powyżej 75°C powodowało zaś stopniowe wydłużanie połowicznego czasu ekspansji, przeciętnie o 1 s przy wzroście temperatury o każde 5°C. Odmiany pszenicy jarej odznaczały się istotnie krótszymi połowicznymi czasami ekspansji hiperbolicznej, przeciętnie o 2 s.

5. Wykazane różnice między badanymi odmianami pszenicy potwierdzają duże znaczenie prowadzonych badań nad ekspansją glutenu przy wyjaśnianiu złożonych mechanizmów przemian termicznych i ich uwarunkowań.

PIŚMIENNICTWO

- Autran J.C., Ait-Mouh O., Feillet P., 1989. Thermal modification of gluten as related to end-use properties. In: *Wheat is unique*, ed Y. Pomeranz, AACC, St. Paul, 563-593.
- Bloksma A. H., Bushuk W., 1988: Rheology and chemistry of dough. In: *Wheat: Chemistry and technology*. Ed. Y. Pomeranz, AACC Inc., St. Paul, MN, 131-217.
- Dobraszczyk B.J., Smewing J., Albertini M., Aesmans G., Schofield J.D. , 2003. Extensional rheology and stability of gas cell walls in bread doughs at elevated temperatures in relation to breadmaking performance. *Cereal Chemistry*, 80, 218-224.
- Fik M., 2004. Czerstwienie pieczywa i sposoby przedłużania jego świeżości. *Zywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2(39), 5-22.
- Gan Z., Ellis P.R., Schofield J.D., 1995. Gas cell stabilization and gas retention in wheat bread dough. *Journal of Cereal Science*, 21 215-230.
- Gąsiorowski H.(red), 2004. *Pszenica – chemia i technologia*. PWRiL, Poznań.
- Hayta M., Schofield J.D., 2005. Dynamic rheological behaviour of glutes during heating. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 85, 1992-1998.
- Miś A., 2005. Wpływ wybranych czynników na wodochłonność i właściwości reologiczne glutenu pszenicy zwyczajnej (*Triticum aestivum* L.). *Acta Agrophysica, Rozprawy i Monografie*, 128 (8), 2005.
- Miś A., Grodek J., 2007. Regression equation for describing gluten thermal expansion. *International Agrophysics*, 21(4), 377-383.
- Miś A., Grundas S., 2008. Badanie właściwości mechanicznych błon glutenowych modyfikowanych termicznie. W: *Właściwości fizyczne i biochemiczne materiałów roślinnych*, Wydawnictwo Naukowe FRNA, Lublin, 109-120.
- Miś A., Rusinek R., 2004. Pomiar właściwości mechanicznych błon glutenowych podczas obróbki termicznej. *Acta Agrophysica*, 111 (2), 419-429.
- Mondal, A., Datta, A.K., 2008. Bread baking- A review. *Journal of Food Engineering*, 86, 465-474.
- Pommet, M., Redl, A., Guilbert, S., Morel, M.H., 2005. Impact of protein size distribution on gluten thermal reactivity and functional properties. *J. Agric. Food Chem.*, 53, 3943-3949.
- Singh A.P., Bhattacharya M., 2005. Development of dynamic modulus and cell opening of dough during baking. *Journal of Texture Studies*, 36, 44-67.
- Singh H., MacRitchie F., 2004. Changes in proteins induced by heating gluten dispersions at high temperature. *Journal of Cereal Science*, 39 297-301.
- Stathopoulos, C.E., Tsiami, A.A., Dobraszczyk, B.J., Schofield J.D., 2006. Effect of heat on rheology of gluten fractions from flours with different bread-making quality. *Journal of Cereal Science*, 43, 322-330.
- Stathopoulos, C.E., Tsiami, A.A., Schofield J.D., Dobraszczyk, B.J., 2008. Effect of heat on rheology, surface hydrophobicity and molecular weight distribution of gluten extracted from flours with different bread-making quality. *Journal of Cereal Science*, 47, 134-143.
- Weegels, P.L., Verhoek, J.A., Groot A.M.G., Hamer R.J., 1994. Effects on gluten of heating at different moisture content. I. Changes in functional properties. *Journal of Cereal Science*, 19, 31-38.

EFFECT OF HEAT TREATMENT ON EXPANSION CAPACITY OF GLUTEN

Antoni Miś, Stanisław Grundas

Institute of Agrophysics, Polish Academy of Sciences
ul. Doświadczalna 4, 20-290 Lublin
e-mail: a.mis@ipan.lublin.pl

Abstract. Wet gluten freshly washed out from grain of 4 Polish cultivars of high (Bombona and Zebra) and average (Bogatka and Finezja) baking value was subjected to heat treatment. 2-g gluten samples were placed in 2% NaCl water solution and heated for 15 minutes using following temperatures: ambient (22.5°C) and from 45 to 95°C, with a step by 5. After cooling (22.5°C), gluten samples were placed in a gap between heating plates with temperature of 150°C. The relative increments of gluten volume during expansion were determined using a digital camera. Experimental data were fitted by regression model that enabled to distinguish two types of expansion: the quasi-linear and hyperbolic ones, characterising viscous and elastic properties of gluten. Increase of heating temperature of gluten caused significant modifications of mechanical properties of gluten membranes. Temperature range from 75 to 95°C influenced the decrease increments of gluten volume as well as the lengthening of half-time of hyperbolic expansion. The volume increments were diminished by 0.1°C⁻¹ While the hyperbolic expansion half-time extended from 32 to 37 s. Wheat cultivars of high quality, in comparison to the ones of average quality, were characterised by significantly shorter half-times of both types of expansion and higher increments of gluten volumes.

Keyword: wet gluten, gluten membranes, heat treatment, expansion capacity