

¹ Katedra Biotechnologii, Żywienia Człowieka i Towaroznawstwa Żywności
Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, ul. Skromna 8, 20-704 Lublin
e-mail: marta.wesolowska-trojanowska@up.lublin.pl

² Instytut Genetyki, Hodowli i Biotechnologii Roślin, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie
ul. Akademicka 15, 20-950 Lublin, e-mail: martamleko@tlen.pl

MARTA WESOŁOWSKA-TROJANOWSKA¹,
MARTA TOMCZYŃSKA-MLEKO², JAROSŁAW MAZURKIEWICZ¹,
KRZYSZTOF KOWALCZYK², JUSTYNA LEŚNIEWSKA-NOWAK²,
MAŁGORZATA SZAFRANEK¹, SYLWIA RÓG², STANISŁAW MLEKO¹

Wybrane właściwości fizykochemiczne glutenu otrzymanego z nowych rodów pszenicy

Selected physicochemical properties of gluten obtained from new wheat strains

Streszczenie. Celem przeprowadzonych analiz było przebadanie właściwości reologicznych glutenu otrzymanego z sześciu nowych rodów pszenicy i określenie korelacji pomiędzy tymi właściwościami. Nowe rody pszenicy charakteryzowały się dość dużym zróżnicowaniem właściwości fizykochemicznych glutenu. Gluten zachowywał się jak materiał lepkosprężysty z wartościami modułu zachowawczego kilkakrotnie większymi niż modułu stratności. Dynamiczna analiza mechaniczna wykazała, iż gluten z reologicznego punktu widzenia można zakwalifikować do słabych żeli. Stwierdzono istnienie korelacji liniowej pomiędzy wartościami modułu zachowawczego oraz siły przy rozciąganiu, co może świadczyć o tym, że ten sam czynnik jest odpowiedzialny za właściwości reologiczne glutenu w analizie reologicznej zarówno przy użyciu małych, jak i dużych odkształceń, i jest to prawdopodobnie stopień jego usieciowania.

Słowa kluczowe: pszenica, gluten, reologia, rozciąganie, moduł zachowawczy

WSTĘP

Uprawa zbóż stanowi jeden z najważniejszych kierunków rolnictwa. Ogółem w Polsce w roku 2011 wynosiła 7803 tys. ha powierzchni gruntów ornych. Zbiory zbóż wyniosły 26 767 tys. t, co stanowi 1% w skali światowej [GUS 2012]. Wśród zbóż podstawowych istotne znaczenie mają zbiory pszenicy. Gatunek ten zajmuje pierwsze miejsce w światowej produkcji zbóż i jest przede wszystkim typowym zbożem klimatu umiarkowanego. Na całym świecie pszenica jest uprawiana dla ziarna bogatego w skrobię, zawie-

rającego najwięcej białka i glutenu ze wszystkich gatunków zbóż. Światowa produkcja pszenicy w roku 2011 wyniosła ogółem 701 395 tys. t. Udział Polski w uprawie pszenicy w 2011 r. w skali światowej to 1,3%, co daje Polsce 16 miejsce w produkcji tego zboża. Swoje zastosowanie pszenica zawdzięcza przede wszystkim specyficznym właściwościom białka – glutenu znajdującego się w bielmie ziarniaków. Składa się ono z dwóch rodzajów białek: gliadyny i gluteniny. Odznacza się zdolnością wiązania wody oraz odpowiednią elastycznością i ciągliwością, co determinuje technologiczne wykorzystanie mąki. Na poziomie cząsteczkowym gluten stanowi przestrzennie ciągłą sieć zbudowaną z łańcuchów polipeptydowych, zespolonych ze sobą poprzez poprzeczne wiązania międzycząsteczkowe, z których najważniejsze to wiązania dwusiarczkowe i wodorowe, oraz oddziaływania hydrofobowe [Gaj 2009]. Gluten tworzy lepkosprężyste błony, które utrzymują właściwą konsystencję i strukturę wyrobionego ciasta podczas jego fermentacji i wypieku, przyczyniając się do wytworzenia gąbczastej tekstury miększa chleba.

Głównym celem współczesnej hodowli pszenicy jest uzyskanie plennych odmian o ulepszonych cechach jakościowych i wysokiej wartości odżywczej, a także odpornych na choroby. Jednym z ważniejszych zadań hodowli jest pozyskanie dużej zawartości białka w ziarnie, co nie jest wyłącznie cechą odmianową, ale również zależy od warunków klimatyczno-glebowych, nawożenia oraz ochrony chemicznej. Wymogi te skłaniają do stałej weryfikacji zarówno wartości technologicznej, jak i jakości nowych odmian pszenicy. Opracowywane nowe metodyki badawcze umożliwiają typowanie linii/rodów o pożądanym własnościach użytkowych na wstępnych etapach selekcji hodowlanej [Szafrńska 2012].

Zarówno w laboratoriach przemysłu zbożowo-młynarskiego, jak i w pracach hodowlanych nad nowymi odmianami pszenicy ocena jakości ziarna przeprowadzana jest zazwyczaj na podstawie takich wyróżników jakościowych, jak: zawartość białka, ilość i jakość glutenu, wskaźnik sedimentacyjny Zeleny'ego oraz liczba opadania. Coraz częściej wykonywana jest także ocena cech reologicznych za pomocą specjalistycznego sprzętu, takiego jak farinograf, alveograf, ekstensograf czy amylograf [Szafuła 2010]. Mało jest publikacji, w których stosuje się bardziej uniwersalne metody badań reologicznych, w których otrzymuje się wyniki w jednostkach SI.

Celem pracy było przebadanie właściwości reologicznych glutenu otrzymanego z sześciu nowych rodów pszenicy i poszukiwanie korelacji pomiędzy tymi właściwościami.

MATERIAŁ I METODY

Materiał do badań stanowiły próbki 6 rodów pszenicy ozimej pochodzących z „Hodowli Roślin Danko” Zakład Hodowli Roślin, Oddział Laski, 05-660 Warka (próbka 1: ród 2631; próbka 2: ród 2636; próbka 3: ród 2640; próbka 4: ród 2641; próbka 5: ród 2650; próbka 6: ród 2652).

Pomiar wilgotności wykonano za pomocą wilgotnościomierza elektronicznego Dramiński GMMpro (Dramiński SA, Olsztyn). Przemiał wykonano młynkiem laboratoryjnym Quadrumat Junior QC (Brabender, Duisburg, Niemcy). Ziarno przed przemiałem nawilżono do wilgotności 15%. Po przemiale określono wyciąg mąki, a następnie przesiano ją przez sito o wielkości oczek 250 µm.

Po wymyciu glutenu z ciasta określono jego ilość i jakość (elastyczność i rozplywalność) oraz liczbę glutenową (LG) [PN-A-74043-1:1994; PN-A-74043-3:1994].

Uformowane walce z glutenu umocowano w uchwytych odległych o 30 mm. Przed testem wymiary walców wynosiły 50 mm długości i 13 mm średnicy. Próbkę były rozciągane przy użyciu teksturometru TA-XT2i (Stable Micro Systems, Godalming, UK). Walce były rozciągane przez 50 s z prędkością 1 mm/s. Analizy wykonano w 6 powtórzeniach i analizowano uśrednione krzywe rozciągania.

Dokonano pomiarów właściwości lepkosprężystych glutenu przy użyciu reometru oscylacyjnego RS 300 (ThermoHaake, Karlsruhe, Niemcy) w układzie płytka – płytka przy 2 mm szczelinie. W celu zredukowania „poślizgu” wykorzystano do badania ponacinaną płytkę górną (serrated). Badania właściwości lepkosprężystych glutenu wykonywano w temperaturze 20°C przy zakresie częstotliwości drgań 0,1–100 Hz, przy odkształceniu 5%, które znajdowało się w zakresie liniowej lepkosprężystości. Analiza miała na celu określenie zależności modułu zachowawczego G' i modułu stratności G'' od częstotliwości drgań. Wyniki rejestrowano komputerowo, wykorzystując program RheoWin Pro (ThermoHaake, Karlsruhe, Niemcy).

Wyniki analizowano przy użyciu programu komputerowego Office Excel 2007 (Microsoft, Redmond, USA).

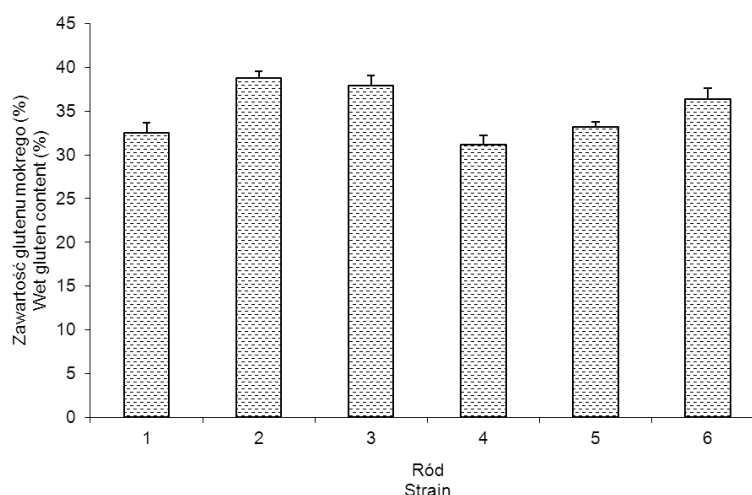
WYNIKI I DYSKUSJA

Wilgotność ziarna ma duży wpływ na jego wartość technologiczną i trwałość w czasie przechowywania. Na wilgotność ziarna duży wpływ mają czynniki zewnętrzne, takie jak warunki pogodowe w czasie zbioru ziarna oraz sposób i warunki jego magazynowania [Cacak-Pietrzak 2008]. Wszystkie pszenice cechowały się wyrównaną wilgotnością: 12,5%.

Stosunek masy mąki uzyskanej podczas przemiału do masy ziarna wyniósł 97,14%.

Tabela 1. Właściwości fizyczne glutenu
Table 1. Physical properties of gluten

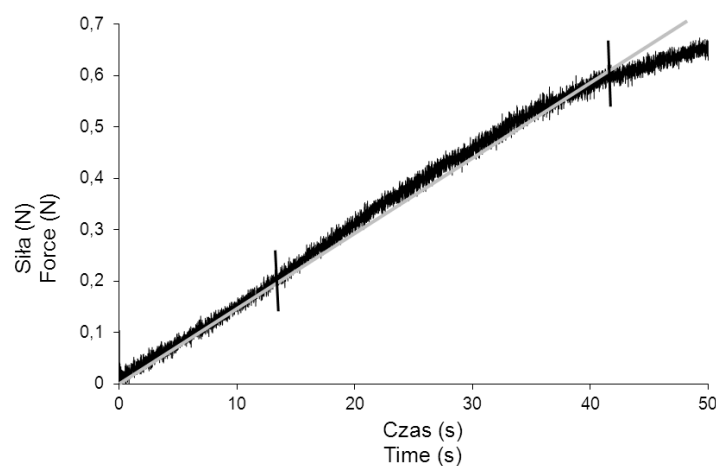
Ród Strain	Elastyczność Elasticity	Maks. siła rozciągania Max. extensional force (N)	Rozplywalność Flowability (mm)	Liczba glutenowa Gluten number	Jakość mąki Flour quality
1	1	0,71 (0,06)	5,5	53	średnia average
2	2	0,65 (0,02)	15	40	średnia average
3	1	0,29 (0,01)	16,5	35	słaba low
4	2	0,48 (0,04)	9	44	średnia average
5	1	0,27 (0,03)	15	34	słaba low
6	1	0,25 (0,06)	12,5	43	średnia average



Rys. 1. Zawartość glutenu mokrego w badanych rodach pszenicy (% wag.)
Fig. 1. Content of wet gluten in investigated wheat strains (% w/w)

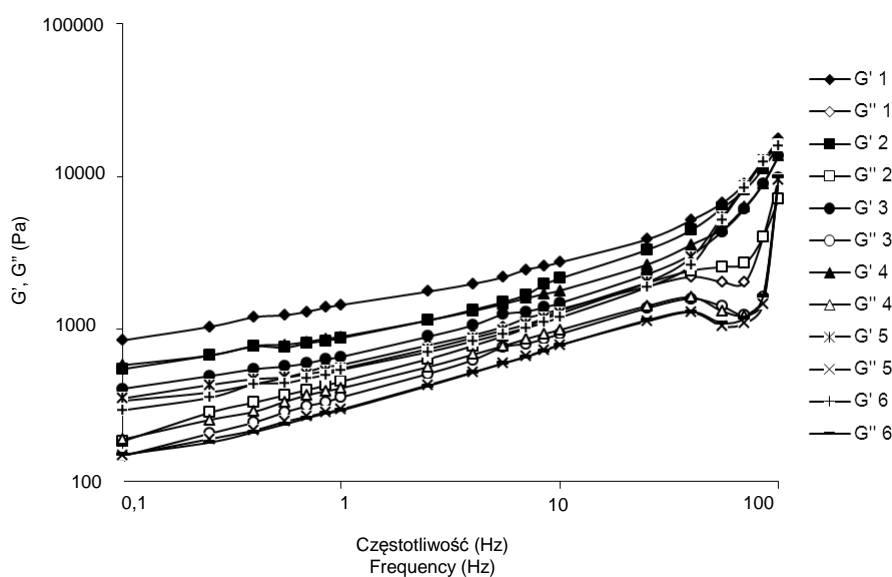
Rysunek 1 przedstawia zawartość glutenu mokrego w próbkach pszenicy. Najwięcej glutenu zawierała próbka 2 – 38,8%, najmniej zaś próbka 4 – 31,2%. Zarówno elastyczność, jak i rozpląwalność glutenu decydują o właściwościach ciasta i pieczywa. Analiza wykazała, że większość badanych rodów pszenicy charakteryzowała się mocnym glutenem (tab. 1). Drugi stopień nie dyskwalifikuje pszenicy jako surowca dla piekarnictwa, ale w przypadku produkcji wyrobów o skomplikowanych kształtach większa plastyczność glutenu może ułatwiać cały proces. W tabeli 1 przedstawiono, jak kształtuje się rozpląwalność glutenu dla poszczególnych rodów. Parametr ten powinien zawierać się w przedziale od 5 do 8 mm. Zbyt niska rozpląwalność może skutkować trudnością w kształtowaniu różnych wyrobów, ich nierównomierną powierzchnią i mało atrakcyjnym wyglądem. Wysoka rozpląwalność będzie z kolei prowadziła do deformacji wyrobów po uformowaniu. Najwyższą rozpląwalnością charakteryzowała się próbka 3, natomiast najniższą, wynoszącą 5,5 mm, cechowała się próbka 1. Liczba glutenowa charakteryzuje jakość mąki pszennej, określa tzw. siłę mąki, czyli jej zdolność do tworzenia określonej struktury ciasta, od której zależy jakość pieczywa. Siła mąki decyduje o różnych właściwościach fizycznych ciasta, takich jak: zdolność do wytwarzania i zatrzymywania CO₂; zachowanie się ciasta w procesie mechanicznej obróbki; struktura kęsów, od której zależy czas ich fermentacji. W zależności od wartości LG jakość mąki pszennej określa się jako: słabą, średnią, mocną. Wśród próbek przebadanych rodów pszenicy nie występowała mąka mocna, której liczba glutenowa wynosi powyżej 60. Dwa spośród analizowanych rodów pszenicy (3 i 5) charakteryzowały się niską liczbą glutenową. Wyróżniki jakościowe, np. zawartość białka, ilość i jakość glutenu, należą do pośrednich metod oceny jakości ziarna pszenicy oraz mąki i nie zawsze pozwalają na wystarczające określenie ich jakości. Do pełnej charakterystyki tych surowców służą metody badania właściwości reologicznych ciasta i glutenu. Gluten poddano testowi rozciągania. Ten test jest stosunkowo często używany w odniesieniu do ciasta [Dobraszczyk i Morgenstern 2003]. Rysunek 2 przedstawia typową krzywą rozciągania. W pierwszym etapie rozcią-

gania próbka zachowuje się jak substancja elastyczna – obserwujemy w przybliżeniu liniowy wzrost siły. Natomiast w drugiej części wykresu krzywa wznosi się lekko, co świadczy o zachodzeniu zjawiska umocnienia odkształceniowego materiału. Prawdopodobnie podczas rozciągania następuje krzyżowanie się pasm poślizgu warstw materiału. Podczas rozciągania potrzebne jest wówczas przyłożenie większej siły, aby rozerwać te krzyżujące się pasma poślizgu. Jest to związane z usieciowanym charakterem budowy glutenu. Zjawisko umocnienia odkształceniowego materiału wpływa na właściwości wypiekowe mąki i pomaga w zatrzymaniu banieczek powietrza w cieście [van Vliet i in. 1992]. Dobraszczyk i Morgenstern [2003] również zaobserwowali to zjawisko podczas rozciągania ciasta. Nicolas i in. [2003] stwierdzili, iż większa siła podczas rozciągania świadczy o większym usieciowaniu glutenu. Dla różnych rodów pszenicy zaobserwowano różne wartości siły rozciągania (tab. 1). Największą wartość stwierdzono dla rodu 1. Edwards i in. [2003] zauważyli, iż zarówno genotyp zboża, jak i warunki uprawy wpływają na właściwości reologiczne ciasta. Związane jest to ze zróżnicowanym stopniem usieciowania białek glutenu. Różny stopień usieciowania białek gluten wpływa na jego właściwości lepkosprężyste [Lefebvre i in. 2003]. Własności te zmierzono przy użyciu reometru oscylacyjnego. Rysunek 3 przedstawia zmiany modułu zachowawczego oraz modułu stratności wraz z częstotliwością drgań sinusoidalnych. Gluten zachowywał się jak substancja ze znaczną przewagą cech sprężystych nad lepkimi. Można go traktować jako słaby żel, w którym cząsteczki są zagregowane za pomocą wiązań wodorowych oraz oddziaływań hydrofobowych [Lefebvre i in. 2003].



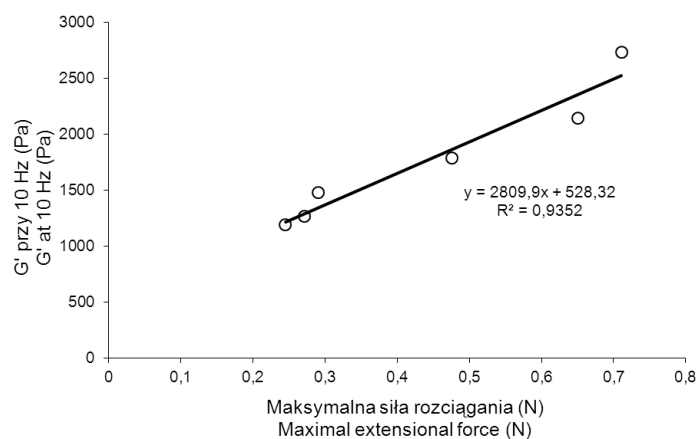
Rys. 2. Zależność pomiędzy czasem rozciągania a siłą dla próbki pszenicy numer 2
Fig. 2. Relationship between time of extension and force for the gluten of sample 2

Wraz ze wzrostem częstotliwości drgań następował wolniejszy wzrost wartości modułu zachowawczego w stosunku do modułu stratności, co świadczy o wzroście lepkości próbki w stosunku do jej sprężystości. Związane jest to prawdopodobnie z częściowym rozrywaniem się wiązań przy wyższych częstotliwościach, przy których próbki poddawane były działaniu większych energii. Santos i in. [2005] zaobserwowali podobne zjawisko. Odczytane wartości modułu zachowawczego przy częstotliwości 10 Hz skorelowano



Rys. 3. Zmiany wartości modułu zachowawczego (G') i modułu stratności (G'') wraz z częstotliwością

Fig. 3. Changes in storage modulus (G') and loss modulus (G'') with frequency



Rys. 4. Korelacja pomiędzy maksymalną siłą rozciągania a wartościami modułu zachowawczego przy 10 Hz

Fig. 4. Correlation between maximal extensional force and storage modulus at 10 Hz

z wartościami maksymalnej siły obserwowanej podczas rozciągania próbki na odległość 50 mm (rys. 4). Stwierdzono, iż istnieje korelacja liniowa pomiędzy tymi wielkościami ($R^2 = 0,94$). Wystąpienie takiej zależności nie jest oczywiste, gdyż w przypadku pomiarów wartości modułu zachowawczego mamy do czynienia z metodą małych odkształceń, gdzie próbka jest poddawana sprężystym odkształceniom w zakresie liniowej lepkości.

żystości, natomiast w przypadku rozciągania próbka ulega nieodwracalnemu odkształceniu. Prawdopodobnie jednak w obu przypadkach za właściwości reologiczne odpowiedzialny jest stopień usieciowania białek glutenu. Bardziej usieciowane białko jest bardziej sprężyste (większa wartość modułu zachowawczego), a podczas rozciągania usieciowanie będzie powodowało większy opór próbki podczas rozciągania, co przekłada się na większe siły potrzebne do jej odkształcenia.

WNIOSKI

1. Nowe rody pszenicy charakteryzowały się dość dużym zróżnicowaniem właściwości fizykochemicznych glutenu.
2. Gluten zachowuje się jak materiał lepkosprężysty z wartościami modułu zachowawczego kilkakrotnie większymi niż modułu stratności.
3. Dynamiczna analiza mechaniczna wykazała, iż gluten z reologicznego punktu widzenia można zakwalifikować do słabych żeli.
4. Stwierdzono istnienie korelacji liniowej pomiędzy wartościami modułu zachowawczego oraz siły przy rozciąganiu, co może świadczyć o tym, że ten sam czynnik jest odpowiedzialny za właściwości reologiczne glutenu w analizie reologicznej zarówno przy użyciu małych, jak i dużych odkształceń, i jest to prawdopodobnie stopień jego usieciowania.

PIŚMIENNICTWO

- Cacak-Pietrzak G., 2008. Wykorzystanie pszenicy w różnych gałęziach przemysłu spożywczego – wymagania technologiczne. *Prz. Zboż.-Młyn.* 52, 11–13.
- Dobraszczyk B.J., Morgenstern M.P., 2003. Rheology and the breadmaking process. *J. Cereal Sci.* 38, 229–245.
- Edwards N.M., Mulvaney S.J., Scanlon M.G., Dexter J.E., 2003. Role of gluten and its components in determining durum semolina dough viscoelastic properties. *Cereal Chem.* 80, 755–763.
- Gaj R., 2009. Integrowana produkcja pszenicy ozimej i jarej. IOR – PIB, Poznań.
- GUS, 2012. Wyniki produkcji roślinnej w 2011 r. GUS, Warszawa.
- Lefebvre J., Pruska-Kędzior A., Kędzior Z., Lavenant L., 2003. A phenomenological analysis of wheat gluten viscoelastic response in retardation and in dynamic experiments over a large time scale. *J. Cereal Sci.* 38, 257–267.
- Nicolas Y., Smit R.J.M., van Aalst H., Esselink F.J., Weegels P.L., Agterof W.G.M., 2003. Effect of storage time and temperature on rheological and microstructural properties of gluten. *Cereal Chem.* 80, 371–377.
- Podolska G., 2008. Wpływ dawki i sposobu nawożenia azotem na plon i wartość technologiczną ziarna odmian pszenicy ozimej. *Acta Sci. Pol., Agricultura* 7, 57–65.
- Polska Norma PN-A-74043-1:1994. Ziarno zbóż i przetwory zbożowe – Oznaczenie glutenu mokrego – Postanowienia ogólne i zakres normy. PKN, 22.12.1994.
- Polska Norma PN-A-74043-3:1994. Ziarno zbóż i przetwory zbożowe – Oznaczenie glutenu mokrego – Mąka pszenna. PKN, 22.12.1994.

- Santos D.M.J., Monteiro S.R., da Silva J.A.L., 2005. Small strain viscoelastic behaviour of wheat gluten – pentosan mixtures. *Eur. Food Res. Technol.* 221, 398–405.
- Szafrańska A., 2012. Ocena wartości technologicznej wybranych odmian pszenicy ze zbiorów z lat 2009–2011. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 571, 115–126.
- Szafulera W., 2010. Liczba glutenowa (LG) a jakość mąki pszennej. *Prz. Piek. Cukiern.* 11, 24–25.
- van Vliet T., Janssen A.M., Bloksma A.H., Walstra P., 1992. Strain hardening of dough as a requirement for gas retention. *J. Texture Stud.* 23, 439–460.

Summary. The aim of the study was to investigate the rheological properties of gluten obtained from six new wheat strains and to determine the correlations between these properties. There were significant differences in rheological properties of gluten obtained from different wheat strains. Gluten behaved like a viscoelastic material with storage moduli several times higher than loss moduli. A dynamic mechanical analysis showed that gluten could be treated as a weak gel. There was a linear correlation between storage moduli and the maximal extensional force, which can support the thesis that the same factor is responsible for small and large strain rheological properties, which is probably the degree of gluten crosslinking.

Key words: wheat, gluten, rheology, extension, storage modulus