

LEPKOŚĆ POZORNA WODNYCH ZAWIESIN PEŁNOZIARNOWEJ MAKI
JĘCZMIENNEJ O ZRÓŻNICOWANEJ ZAWARTOŚCI BŁONNIKA
POKARMOWEGO

Piotr Zarzycki, Anna Wirkijowska, Anna Niemiec

Katedra Inżynierii i Technologii Zbóż, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie
ul. Skromna 8, 20-704 Lublin
e-mail: piotr.zarzycki@up.lublin.pl

Streszczenie. W pracy przedstawiono wyniki pomiarów lepkości pozornej wodnych zawiesin pełnoziarnowych mąk jęczmiennych. W badaniach wykorzystano mąkę pełnoziarnową otrzymaną w wyniku przemiału laboratoryjnego 6 odmian jęczmienia o zróżnicowanej zawartości błonnika pokarmowego i jego składników, w tym frakcji rozpuszczalnej (1-3) (1-4) β -D glukanów. Badania reologiczne przeprowadzono stosując 10 i 15% stężenia zawiesin mąki jęczmiennej, zmienny czas stabilizacji zawiesin (0,5-4 h) oraz zmienny gradient prędkości ścinania (200-1200 s^{-1}). W badaniach zastosowano reometr rotacyjny o współosiowym układzie cylindrów – Mettler Rheomat RM 180. Wodne zawiesiny pełnoziarnowej mąki jęczmiennej wykazywały cechy cieczy pseudoplastycznej, odnotowano także wzrost lepkości pozornej w czasie stabilizacji zawiesin. Przeprowadzona analiza korelacji (Pearsona, $p \leq 0,05$) pomiędzy zawartością frakcji błonnika pokarmowego, a lepkością pozorną zawiesin wykazała, że lepkość pozorna zawiesin w największym stopniu skorelowana była z zawartością rozpuszczalnej frakcji błonnika pokarmowego (SDF), natomiast w mniejszym stopniu z zawartością (1 \rightarrow 3) (1 \rightarrow 4) β -D-glukanów.

Słowa kluczowe: lepkość pozorna, błonnik pokarmowy, pełnoziarnowa mąka jęczmienna

WSTĘP

Obserwowane w ostatnich latach drastyczne nasilenie występowania chorób cywilizacyjnych, spowodowało, że w jednym z obszarów zainteresowań badań naukowych znalazło się poszukiwanie sposobów ograniczenia tego zjawiska (Jones 2001). Powszechnie uznaje się, że główną przyczyną „pandemii” chorób cywilizacyjnych była zmiana stylu życia społeczeństw w krajach rozwiniętych. Najczęściej wymienia się siedzący tryb życia i złą dietę, kojarzoną przede wszystkim ze spożywaniem żywności wysoko przetworzonej, ubogiej w błonnik pokarmowy, a jedno-

częściej wysokokalorycznej i o znacznej zawartości tłuszczu (Jenkins i in., 1995). Prowadzone badania naukowe wykazały, że pewne komponenty żywności, racjonalnie spożywane, mogłyby w znacznym stopniu ograniczyć pandemię chorób cywilizacyjnych. Jednym z cenniejszych składników żywności należących do tej grupy związków jest błonnik pokarmowy. Dużą rolę profilaktyczną przypisuje się głównie frakcji rozpuszczalnej, w tym (1→3) (1→4) β -D-glukanom. Udowodniono, że posiadają one zdolność stabilizowania poziomu glukozy we krwi, przyczyniają się do obniżenia poziomu cholesterolu ogólnego, przy jednoczesnym obniżeniu poziomu cholesterolu o niskiej i bardzo niskiej gęstości (LDL i VLDL) oraz podniesieniu poziomu cholesterolu o wysokiej gęstości (HDL) (Friedrich 2003, Gerhardt i Gallo 1998). Powszechnie za dwie główne cechy fizykochemiczne błonnika rozpuszczalnego odpowiedzialne za efekt fizjologiczny, uznaje się zdolność do tworzenia lepkich roztworów oraz podatność na fermentację (Dikeman i Fahey 2006, Jenkins i in. 2004, Wood 2004, Johnson 2004). Zdolność do tworzenia lepkich roztworów wynika głównie z zawartości gum, pektyn oraz (1-3) (1-4) β -D glukanów (Hallfrisch i Behall 2000). Na ważną rolę „lepkości błonnika” w redukcji poziomu glukozy wskazują m.in. badania przeprowadzone przez Reppas i Dressman (1992) oraz Brenelli i in. (1997), z kolei Danielson i in. (1997) podkreśla istotny wpływ lepkości na redukcję stężenia cholesterolu. Prace Danielson’a i in. (1997) oraz Wood’a i in. (1994) wskazują na występowanie nieliniowej zależności pomiędzy wzrostem lepkości a obserwowanym efektem fizjologicznym.

Zdolność błonnika do tworzenia roztworów o dużej lepkości próbuje wykorzystać się przy określaniu zawartości błonnika pokarmowego, a zwłaszcza frakcji rozpuszczalnych, w surowcach, półproduktach oraz produktach końcowych. Pomiary lepkości zawiesin oraz ekstraktów np. jęczmiennych i owsianych, mogą być wykorzystane, np. w szacowaniu zawartości (1→3) (1→4) β -D-glukanów, wszędzie tam gdzie dotychczasowe metody, ze względu na wysokie koszty bądź wymaganą pracochłonność nie w pełni się sprawdzają, np. przy wstępnej selekcji materiału, czy bieżącej kontroli procesu produkcji (Vis i Lorenz 1997, Mager i in. 2003). Takie wykorzystanie pomiarów reologicznych wymaga dokładnego określenia właściwości reologicznych zawiesin i ekstraktów, a w szczególności ustalenie wpływu parametrów pomiaru na zmiany lepkości. Lepkość, zwłaszcza w przypadku cieczy nienewtonowskich, zależy może od bardzo dużej ilości czynników wynikających z właściwości badanego materiału, sposobu przygotowania próbki do badań oraz warunków pomiaru, m.in. stosowanego gradientu prędkości ścinania, temperatury, stężenia, czasu, wielkości cząstek (masa cząsteczkowa), stopnia rozdrobnienia materiału oraz pH (Svihus i in. 2000, Vis i Lorenz 1997). Duża liczba zmiennych oraz brak standardowych metod pomiaru sprawiają, że w wypadku braku pełnej informacji na temat warunków, w jakich dokonano pomiaru lepkości, porównywanie wyników badań związanych zarówno z aspektami

fizjologicznymi błonnika jak też wykorzystaniem pomiarów reologicznych do określenia zawartości błonnika w produktach, jest utrudnione, a czasem wręcz niemożliwe (Svihus i in. 2000, Dikeman i Fahey 2006, Dikeman i in. 2007, Mager i in. 2003).

Celem przeprowadzonych badań było określenie wpływu parametrów pomiaru na zmiany lepkości pozornej wodnych zawiesin pełnoziarnowych mąk jęczmiennych o zróżnicowanej zawartości poszczególnych frakcji błonnika pokarmowego. Określono wpływ stężenia, czasu stabilizacji zawiesin oraz gradientu prędkości ścinania na zmiany lepkości pozornej. Szczegółowej analizie poddano zależności pomiędzy zawartością błonnika pokarmowego całkowitego (TDF), frakcji rozpuszczalnej (SDF), w tym (1-3) (1-4) β -D glukanów oraz frakcji nierozpuszczalnej (IDF), a lepkością zawiesin. Celem przeprowadzonych analiz było określenie optymalnych warunków pomiaru lepkości, gdzie, jako główne kryterium przyjęto występowanie wysokiej korelacji pomiędzy lepkością, a zawartością frakcji błonnika pokarmowego.

MATERIAŁ I METODY

W badaniach wykorzystywano 6 odmian jęczmienia nagonasiennego pochodzących z sekcji badawczej Hodowli Roślin w Strzelcach: 1- STH 4480, 2- STH 4510, 3- STH 4476, 4- STH 5026, 5- STH 5206, 6- STH 5029. Zawartość błonnika pokarmowego całkowitego (TDF), nierozpuszczalnego (IDF) oraz rozpuszczalnego (SDF), w tym (1→3) (1→4) β -D-glukanów przedstawiono w tabeli 1. Mąki pełnoziarnowe otrzymano w wyniku przemiału ziarna jęczmienia na młynku laboratoryjnym (ML-155) o szczelinie roboczej 0,2 mm.

Zawartość TDF, SDF i IDF w mąkach określano wg metod AOAC, Method 991.43; AOAC Method 985.29; AACC, Method 32-07; AACC, Method 32-21; AACC, Method 32-05. Do oznaczenia zawartości (1→3) (1→4) β -D glukanów zastosowano metody AACC Method 32-23 i AOAC Method 995.16. Oznaczenia przeprowadzono wg procedur i z wykorzystaniem enzymów firmy Megazyme.

Z otrzymanych pełnoziarnowych mąk jęczmiennych sporządzano 10 i 15% zawiesiny w wodzie destylowanej o temperaturze 50°C. Zawiesiny umieszczano w łaźni wodnej wstrząsanej (Elpan typ 357, Poland, częstotliwość 200 obr·min⁻¹, amplituda 3) i stabilizowano przez okres od 0,5 do 4 h. Lepkość pozorną zawiesin mierzono po czasie stabilizacji wynoszącym kolejno 0,5; 1; 2; 3 i 4 h, każdorazowo stosując prędkość ścinania w zakresie od 200 do 1200 s⁻¹, ze skokową zmianą wartości co 200 s⁻¹, pomiary dla każdej prędkości ścinania wykonywano przez 10 s. W badaniach zastosowano reometr rotacyjny Mettler Rheomat RM 180 wraz z oprogramowaniem RSI Orchestrator wersja V6.5.8., stosując jako system pomiarowy współosiowy układ cylindrów (średnice cylindrów: 32,54 mm i 30 mm). Pomiary lepkości oraz składu chemicznego wykonano w 3 powtórzeniach.

Otrzymane wyniki poddano analizie w programie statystycznym SAS ver. 9.2. Określano wartości średnie, odchylenia standardowe oraz istotność różnic pomiędzy wartościami średnimi (test Duncana, $p \leq 0,05$). Określono także współczynniki korelacji liniowej (Pearsona, $p \leq 0,05$) pomiędzy lepkością pozorną zawiesin, o stężeniu 10 i 15%, a zawartością poszczególnych frakcji błonnika pokarmowego.

Tabela 1. Zawartość błonnika pokarmowego i jego składników w pełnoziarnowych mąkach jęczmiennych (% s.m.)

Table 1. Content of particular dietary fibre fractions in wholemeal barley flour (% d.b.)

Nr próby Sample no.	(1-3) (1-4) β -D glucan	TDF	SDF	IDF
1	6,02 \pm 0,05	17,97 \pm 0,07	6,9 \pm 0,23	11,07 \pm 0,3
2	5,42 \pm 0,08	16,82 \pm 0,49	7,11 \pm 0,39	9,71 \pm 0,1
3	4,79 \pm 0,09	15,96 \pm 0,44	6,59 \pm 0,39	9,38 \pm 0,05
4	4,37 \pm 0,13	16,72 \pm 0,3	6,65 \pm 0,21	10,06 \pm 0,09
5	3,8 \pm 0,1	15,74 \pm 1,06	3,9 \pm 0,76	11,84 \pm 0,31
6	4,9 \pm 0,12	16,07 \pm 0,76	5,32 \pm 0,44	10,75 \pm 0,32

Objaśnienia – Explanatory notes:

TDF – błonnik pokarmowy całkowity/total dietary fibre; SDF – błonnik pokarmowy rozpuszczalny/soluble dietary fibre; IDF – błonnik pokarmowy nierozpuszczalny/insoluble dietary fibre; \pm odchylenie standardowe/standard deviation

WYNIKI I DYSKUSJA

Przeprowadzone badania wykazały, że lepkość pozorną badanych zawiesin pełnoziarnowej mąki jęczmiennej w znacznym stopniu uzależniona była zarówno od zawartości frakcji błonnika pokarmowego jak i zastosowanych parametrów pomiaru (tab. 1-3). Wykazano m.in. niestabilność lepkości pozornej badanych zawiesin mąki jęczmiennej. Dla wszystkich badanych zawiesin odnotowano wyższą lepkość pozorną po 4 h czasie stabilizacji, w porównaniu do lepkości mierzonej po 0,5 h. Wyniki takie uzyskano niezależnie od stosowanego stężenia, przy czym największe różnice wystąpiły w przypadku stosowania 10% stężenia zawiesin (tab. 2). Lepkość pozorną 10% zawiesiny mąki jęczmiennej, o najwyższej zawartości (1 \rightarrow 3) (1 \rightarrow 4) β -D-glukanów (próbka nr 1), po 4h czasie stabilizacji zwiększyła się o 168% w porównaniu do lepkości zmierzonej po 0,5 h (prędkość ścinania 200 s⁻¹). W tym samym czasie lepkość 10% zawiesiny mąki o najniższej zawartości (1 \rightarrow 3) (1 \rightarrow 4) β -D-glukanów (próbka nr 5), zwiększyła się o 511%. Zmiany lepkości, w czasie stabilizacji były znacznie niższe przy stosowaniu wyższych wartości prędkości ścinania. Dla analizowanych prób przy zastosowaniu prędkości ścinania 1200 s⁻¹, zmiany lepkości wyniosły odpowiednio 93 i 131%.

Tabela 2. Lepkość pozorna (Pa·s) 10% wodnych zawiesin pełnoziarnowych mąk jęczmiennych
Table 2. Apparent viscosity (Pa·s) of 10% wholemeal barley flour water slurries

Nr próby Sample no.	Czas stabilizacji – Time of stabilisation (h)				
	0,5	1	1,5	2	2,5
Prędkość ścinania – Shear rate 200 s ⁻¹					
1	0,015±0,006a	0,018±0,002b	0,04±0,003b	0,04±0,002c	0,041±0,003bc
2	0,013±0,003a	0,024±0a	0,046±0,008a	0,077±0,01a	0,072±0,011a
3	0,007±0,002bc	0,019±0,004b	0,027±0,003c	0,034±0,016cd	0,035±0,014cd
4	0,009±0,001b	0,019±0,005b	0,041±0,005b	0,049±0,002b	0,047±0,004b
5	0,004±0,001c	0,01±0,001c	0,022±0,002d	0,027±0,001d	0,027±0,003de
6	0,005±0c	0,013±0,002c	0,023±0,002cd	0,025±0,005d	0,024±0,002e
Prędkość ścinania – Shear rate 400 s ⁻¹					
1	0,014±0,005a	0,016±0,002b	0,033±0,002a	0,035±0,001bc	0,036±0,003bc
2	0,012±0,003a	0,021±0,001a	0,037±0,006a	0,059±0,006a	0,057±0,007a
3	0,007±0,002bc	0,017±0,003b	0,024±0,002b	0,029±0,012cd	0,031±0,011c
4	0,009±0,001b	0,017±0,004b	0,034±0,004a	0,04±0,002b	0,039±0,003b
5	0,005±0c	0,01±0,001d	0,019±0,001c	0,023±0,001d	0,025±0,002d
6	0,005±0c	0,013±0,001c	0,022±0,002bc	0,023±0,004d	0,023±0,002d
Prędkość ścinania – Shear rate 600 s ⁻¹					
1	0,014±0,004a	0,016±0,002b	0,029±0,002a	0,031±0,001b	0,033±0,003b
2	0,012±0,002a	0,019±0a	0,031±0,005a	0,049±0,004a	0,048±0,005a
3	0,008±0,001bc	0,016±0,003b	0,021±0,002b	0,026±0,01c	0,028±0,01c
4	0,009±0,001b	0,016±0,003b	0,03±0,003a	0,035±0,002b	0,034±0,002b
5	0,006±0,001c	0,01±0d	0,017±0,001b	0,021±0,001c	0,022±0,001d
6	0,006±0,001c	0,013±0,001c	0,02±0,002b	0,022±0,003c	0,021±0,002d
Prędkość ścinania – Shear rate 800 s ⁻¹					
1	0,013±0,004a	0,015±0,001bc	0,028±0,001a	0,03±0,001bc	0,031±0,002b
2	0,011±0,003a	0,018±0,001a	0,029±0,004a	0,043±0,003a	0,043±0,004a
3	0,009±0,001b	0,016±0,003ab	0,021±0,003b	0,025±0,009cd	0,026±0,008c
4	0,009±0,002b	0,014±0,002cd	0,027±0,002a	0,032±0,001b	0,032±0,002b
5	0,007±0c	0,009±0,002e	0,017±0,002c	0,02±0,001d	0,021±0,001d
6	0,006±0,002c	0,013±0,002d	0,018±0,002bc	0,02±0,002d	0,021±0,002d
Prędkość ścinania – Shear rate 1000 s ⁻¹					
1	0,014±0,003a	0,015±0,001b	0,026±0,001ab	0,027±0,001b	0,029±0,002b
2	0,013±0,002ab	0,017±0a	0,027±0,003a	0,038±0,003a	0,038±0,003a
3	0,01±0,001c	0,015±0,002b	0,02±0,001c	0,023±0,008c	0,025±0,006c
4	0,011±0,002bc	0,015±0,002b	0,025±0,002b	0,029±0,001b	0,029±0,002b
5	0,008±0d	0,012±0d	0,016±0,001d	0,018±0d	0,02±0,001d
6	0,006±0,002d	0,013±0,001c	0,018±0,002c	0,02±0,002d	0,02±0,002d
Prędkość ścinania – Shear rate 1200 s ⁻¹					
1	0,014±0,002a	0,016±0,001a	0,024±0,001ab	0,026±0,001b	0,028±0,002b
2	0,013±0,002b	0,017±0,001a	0,025±0,002a	0,035±0,002a	0,035±0,002a
3	0,01±0,001c	0,016±0,001a	0,019±0,001c	0,023±0,007c	0,024±0,006c
4	0,011±0c	0,016±0,001a	0,023±0,002b	0,027±0,001a	0,027±0,001b
5	0,008±0d	0,012±0c	0,016±0,001d	0,018±0d	0,019±0,001d
6	0,009±0d	0,014±0,001b	0,018±0,001c	0,019±0,002d	0,019±0,002d

Objaśnienia – Explanatory notes:

Różnice pomiędzy wartościami średnimi w kolumnach, oznaczonymi różnymi literami, są statystycznie istotne (test Duncana, $p \leq 0,05$) – Differences between the mean values shown in columns and denoted by different letters are statistically significant (Duncan test, $p \leq 0,05$).

Tabela 3. Lepkość pozorna (Pa·s) 15% wodnych zawiesin pełnoziarnowych mąk jęczmiennych
Table 3. Apparent viscosity (Pa·s) of 15% wholemeal barley flour water slurries

Nr próby Sample no.	Czas stabilizacji – Time of stabilisation (h)				
	0,5	1	2	2,5	3
Prędkość ścinania – Shear rate 200 s ⁻¹					
1	0,08±0,001c	0,135±0,001b	0,164±0,001a	0,161±0c	0,172±0,001d
2	0,102±0,001a	0,141±0,002a	0,156±0,001c	0,177±0b	0,206±0b
3	0,072±0d	0,106±0c	0,109±0,001d	0,146±0,001d	0,188±0,001c
4	0,09±0,001b	0,094±0,0001	0,16±0b	0,227±0a	0,256±0,001a
5	0,028±0f	0,03±0f	0,056±0f	0,096±0,001f	0,102±0,001f
6	0,036±0,001e	0,055±0e	0,07±0e	0,123±0,001e	0,128±0,001e
Prędkość ścinania – Shear rate 400 s ⁻¹					
1	0,059±0,001c	0,098±0,001a	0,124±0,001a	0,126±0,001b	0,14±0d
2	0,073±0a	0,098±0a	0,11±0,001c	0,125±0,001b	0,149±0,001c
3	0,056±0,001d	0,08±0,001b	0,087±0d	0,115±0,001c	0,153±0b
4	0,066±0,001b	0,071±0c	0,113±0,001b	0,157±0,001a	0,183±0,001a
5	0,024±0,001f	0,026±0,001e	0,045±0,001f	0,072±0,001e	0,078±0,001f
6	0,031±0e	0,045±0,001d	0,058±0,001e	0,096±0,001d	0,105±0,001e
Prędkość ścinania – Shear rate 600 s ⁻¹					
1	0,049±0c	0,08±0,001a	0,1±0,001a	0,103±0,001b	0,119±0,001c
2	0,059±0a	0,077±0b	0,088±0,001c	0,1±0,001c	0,118±0,001c
3	0,047±0d	0,066±0c	0,073±0,001d	0,095±0,001d	0,131±0,001b
4	0,055±0b	0,058±0d	0,09±0,001b	0,123±0,001a	0,142±0,001a
5	0,022±0,001f	0,021±0,002f	0,038±0,001f	0,057±0,002f	0,062±0,001e
6	0,028±0e	0,039±0e	0,05±0,001e	0,078±0,001e	0,089±0,001d
Prędkość ścinania – Shear rate 800 s ⁻¹					
1	0,044±0bc	0,069±0a	0,085±0,001a	0,088±0,001b	0,104±0,001c
2	0,049±0a	0,066±0b	0,075±0,001c	0,085±0,001c	0,099±0,001d
3	0,042±0c	0,058±0,001c	0,063±0d	0,08±0d	0,114±0,001b
4	0,046±0,002b	0,051±0,001d	0,076±0b	0,103±0,001a	0,117±0,001a
5	0,019±0,003e	0,024±0,002f	0,034±0,001f	0,05±0,001f	0,054±0,001f
6	0,025±0,003d	0,035±0,001e	0,044±0,001e	0,066±0,001e	0,078±0e
Prędkość ścinania – Shear rate 1000 s ⁻¹					
1	0,039±0c	0,061±0a	0,075±0a	0,079±0b	0,094±0c
2	0,044±0a	0,058±0b	0,067±0c	0,074±0c	0,087±0d
3	0,039±0d	0,052±0c	0,057±0d	0,071±0d	0,101±0a
4	0,042±0b	0,046±0d	0,067±0b	0,089±0a	0,1±0b
5	0,019±0f	0,02±0f	0,031±0f	0,045±0f	0,048±0f
6	0,024±0e	0,032±0e	0,04±0e	0,059±0e	0,071±0e
Prędkość ścinania – Shear rate 1200 s ⁻¹					
1	0,037±0c	0,056±0a	0,069±0b	0,072±0a	0,081±0a
2	0,041±0a	0,052±0b	0,06±0a	0,068±0c	0,078±0c
3	0,036±0d	0,048±0c	0,052±0c	0,065±0d	0,073±0d
4	0,039±0b	0,042±0d	0,061±0d	0,08±0b	0,086±0b
5	0,018±0f	0,019±0f	0,029±0f	0,041±0f	0,044±0df
6	0,023±0e	0,03±0e	0,037±0e	0,054±0e	0,065±0e

Objaśnienia – Explanatory notes:

Różnice pomiędzy wartościami średnimi w kolumnach, oznaczonymi różnymi literami, są statystycznie istotne (test Duncana, $p \leq 0,05$) – Differences between the mean values shown in columns and denoted by different letters are statistically significant (Duncan test, $p \leq 0,05$).

Zwiększenie stężenia do 15%, w porównaniu do 10% zawiesin, spowodowało wzrost lepkości pozornej zawiesin, odnotowano natomiast znacznie mniejsze zmiany lepkości wraz z upływem czasu stabilizacji (tab. 2 i 3). Dla powyższych prób o największej i najmniejszej zawartości (1→3) (1→4) β -D-glukanów, zmiany pomiędzy lepkością pozorną mierzoną po czasie stabilizacji 0,5 i 4 h wyniosły odpowiednio 115 i 264% (prędkość ścinania 200 s^{-1}).

Odmienne wpływy czasu stabilizacji na zmiany lepkości podają w swojej pracy Mager i in. (2003). Autorzy wykazali, że lepkość pozorna kwaśnych ekstraktów jęczmiennych mierzona bezpośrednio po sporządzeniu była wyższa niż lepkość ekstraktów po 6 h czasie stabilizacji. Obserwowane różnice pomiędzy badaniami własnymi, a Mager i in. mogą wynikać z zastosowania krótszego czasu stabilizacji w badaniach własnych. Uzyskane zależności prezentowane w badaniach własnych jak i Mager i in. (2003) wskazują na konieczność zapewnienia stałego czasu stabilizacji podczas badania poszczególnych próbek.

Wodne zawiesiny pełnoziarnowych mąk jęczmiennych wykazują cechy typowe dla cieczy pseudoplastycznych; obniżenie lepkości wraz ze wzrostem prędkości ścinania. Wyjątek stanowiło tutaj zachowanie, niektórych z analizowanych 10% zawiesin badanych, po krótkim czasie stabilizacji 0,5 i 1 h (tab. 2). Obserwowano w tym wypadku cechy charakterystyczne dla cieczy dylatacyjnych tj. wzrost lepkości wraz ze wzrostem prędkości ścinania. Zależności te uległy zmianie wraz z wydłużeniem czasu stabilizacji, i tak po 2 h czasie stabilizacji wszystkie badane 10% zawiesiny mąki jęczmiennej wykazywały cechy cieczy pseudoplastycznej. Dla 15% stężenia zawiesin w całym badanym przedziale czasu stabilizacji (0,5-4h) zawiesiny wykazywały cechy cieczy pseudoplastycznej (tab. 3). Porównując zmiany lepkości wraz ze zmianą prędkości ścinania odnotowano większy zakres zmian lepkości dla 10% zawiesin, niezależnie od zastosowanego czasu stabilizacji. Takie zachowanie wskazuje, że pełna charakterystyka właściwości reologicznych zawiesin mąk jęczmiennych może być podana tylko w przypadku badania lepkości w szerokim zakresie prędkości ścinania. Wyniki te są zgodne z badaniami wcześniejszymi dotyczącymi zawiesin mąk owsianych (Zarzycki i in. 2011).

Kolejnym etapem prowadzonych badań była analiza korelacji (Pearsona $p \leq 0,05$), pomiędzy zawartością frakcji błonnika pokarmowego, a lepkością pozorną wodnych zawiesin mąk jęczmiennych (tab. 4 i 5). Wykazała ona, że stosowane parametry pomiaru, głównie czas stabilizacji i stężenie zawiesin, istotnie wpływały na wartości współczynników korelacji. Generalnie wyższe współczynniki korelacji notowano dla stężenia zawiesin 15%. Odnotowano wysoką, statystycznie istotną korelację (Pearsona, $p \leq 0,05$), pomiędzy zawartością SDF, a lepkością pozorną zawiesin. Wysoka korelacja, w przydatku 15% zawiesin występuje niezależnie od stosowanego czasu stabilizacji, natomiast dla 10% zawiesin istotna korelacja wystąpiła tylko przy stosowaniu czasu stabilizacji do 2 h.

Tabela 4. Współczynniki korelacji pomiędzy lepkością pozorną 10% zawiesin pełnoziarnowych mąk jęczmiennych (n = 6), a zawartością poszczególnych frakcji błonnika pokarmowego

Table 4. Correlation between apparent viscosity of 10% water slurries of wholemeal barley flour (n = 6) and particular dietary fibre fractions

Frakcje błonnika pokarmowego Dietary fibre fraction	Czas stabilizacji – Time of stabilisation (h)				
	0,5	1	2	3	4
Prędkość ścinania – Shear rate 200 s ⁻¹					
(1-3) (1-4) β-D glukan	0,83	0,56 ^{ns}	0,58 ^{ns}	0,4 ^{ns}	0,43 ^{ns}
TDF	0,94	0,49 ^{ns}	0,75 ^{ns}	0,42 ^{ns}	0,46 ^{ns}
SDF	0,8 ^{ns}	0,92	0,83	0,67 ^{ns}	0,7 ^{ns}
IDF	-0,24 ^{ns}	-0,79 ^{ns}	-0,45 ^{ns}	-0,53 ^{ns}	-0,53 ^{ns}
Prędkość ścinania – Shear rate 400 s ⁻¹					
(1-3) (1-4) β-D glukan	0,82	0,57 ^{ns}	0,6 ^{ns}	0,45 ^{ns}	0,46 ^{ns}
TDF	0,93	0,51 ^{ns}	0,77 ^{ns}	0,47 ^{ns}	0,48 ^{ns}
SDF	0,79 ^{ns}	0,94	0,83	0,71 ^{ns}	0,72 ^{ns}
IDF	-0,24 ^{ns}	-0,81 ^{ns}	-0,44 ^{ns}	-0,54 ^{ns}	-0,54 ^{ns}
Prędkość ścinania – Shear rate 600 s ⁻¹					
(1-3) (1-4) β-D glukan	0,86	0,62 ^{ns}	0,61 ^{ns}	0,47 ^{ns}	0,5 ^{ns}
TDF	0,94	0,55 ^{ns}	0,79 ^{ns}	0,5 ^{ns}	0,53 ^{ns}
SDF	0,8 ^{ns}	0,96	0,83	0,73 ^{ns}	0,76 ^{ns}
IDF	-0,23 ^{ns}	-0,8 ^{ns}	-0,41 ^{ns}	-0,54 ^{ns}	-0,55 ^{ns}
Prędkość ścinania – Shear rate 800 s ⁻¹					
(1-3) (1-4) β-D glukan	0,79 ^{ns}	0,71 ^{ns}	0,67 ^{ns}	0,5 ^{ns}	0,54 ^{ns}
TDF	0,89	0,47 ^{ns}	0,82	0,54 ^{ns}	0,57 ^{ns}
SDF	0,8 ^{ns}	0,92	0,88	0,76 ^{ns}	0,78 ^{ns}
IDF	-0,28 ^{ns}	-0,81 ^{ns}	-0,46 ^{ns}	-0,54 ^{ns}	-0,54 ^{ns}
Prędkość ścinania – Shear rate 1000 s ⁻¹					
(1-3) (1-4) β-D glukan	0,78 ^{ns}	0,62 ^{ns}	0,7 ^{ns}	0,53 ^{ns}	0,55 ^{ns}
TDF	0,9	0,55 ^{ns}	0,82	0,55 ^{ns}	0,57 ^{ns}
SDF	0,86	0,96	0,89	0,78 ^{ns}	0,8 ^{ns}
IDF	-0,35 ^{ns}	-0,8 ^{ns}	-0,47 ^{ns}	-0,56 ^{ns}	-0,57 ^{ns}
Prędkość ścinania – Shear rate 1200 s ⁻¹					
(1-3) (1-4) β-D glukan	0,81	0,65 ^{ns}	0,71 ^{ns}	0,55 ^{ns}	0,58 ^{ns}
TDF	0,93	0,59 ^{ns}	0,84	0,56 ^{ns}	0,6 ^{ns}
SDF	0,84	0,99	0,88	0,79 ^{ns}	0,82
IDF	-0,31 ^{ns}	-0,81 ^{ns}	-0,43 ^{ns}	-0,57 ^{ns}	-0,57 ^{ns}

Objaśnienia – Explanatory notes:

TDF – błonnik pokarmowy całkowity/total dietary fibre; SDF – błonnik pokarmowy rozpuszczalny/soluble dietary fibre; IDF – błonnik pokarmowy nierozpuszczalny/insoluble dietary fibre. Ns – Współczynnik korelacji nie istotny na poziomie p≤0,05/ Correlation coefficient statistically not significant at p≤0.05.

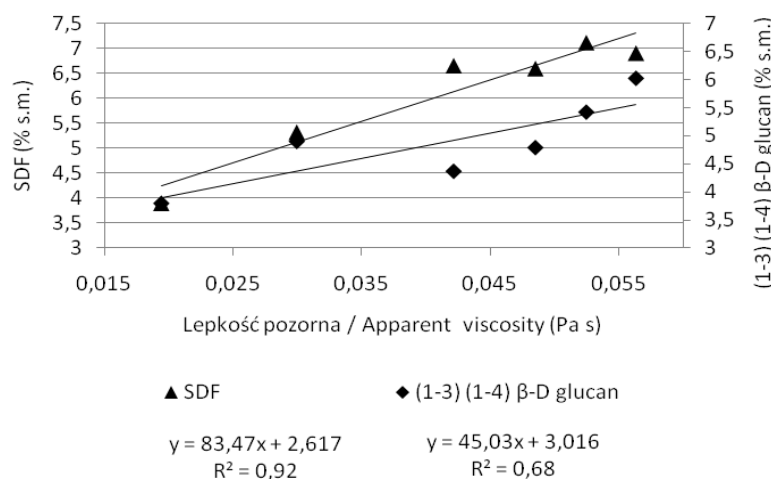
Tabela 5. Współczynniki korelacji pomiędzy lepkością pozorną 15% zawiesin pełnoziarnowych mąk jęczmiennych (n = 6), a zawartością frakcji błonnika pokarmowego**Table 5.** Correlation between apparent viscosity of 15% water slurries of wholemeal barley flour (n = 6) and particular dietary fibre fractions

Frakcje błonnika pokarmowego Dietary fibre fraction	Czas stabilizacji – Time of stabilisation (h)				
	0,5	1	2	3	4
Prędkość ścinania – Shear rate 200 s ⁻¹					
(1-3) (1-4) β-D glukan	0,54 ^{ns}	0,82	0,64 ^{ns}	0,26 ^{ns}	0,22 ^{ns}
TDF	0,62 ^{ns}	0,75 ^{ns}	0,82	0,51 ^{ns}	0,4 ^{ns}
SDF	0,93	0,95	0,9	0,77 ^{ns}	0,81
IDF	-0,7 ^{ns}	-0,61 ^{ns}	-0,48 ^{ns}	-0,59 ^{ns}	-0,73 ^{ns}
Prędkość ścinania – Shear rate 400 s ⁻¹					
(1-3) (1-4) β-D glukan	0,54 ^{ns}	0,82	0,69 ^{ns}	0,38 ^{ns}	0,33 ^{ns}
TDF	0,6 ^{ns}	0,75 ^{ns}	0,85	0,58 ^{ns}	0,45 ^{ns}
SDF	0,94	0,96	0,92	0,85	0,87
IDF	-0,73 ^{ns}	-0,62 ^{ns}	-0,49 ^{ns}	-0,62 ^{ns}	-0,78 ^{ns}
Prędkość ścinania – Shear rate 600 s ⁻¹					
(1-3) (1-4) β-D glukan	0,54 ^{ns}	0,83	0,71 ^{ns}	0,43 ^{ns}	0,42 ^{ns}
TDF	0,6 ^{ns}	0,75 ^{ns}	0,84	0,61 ^{ns}	0,47 ^{ns}
SDF	0,95	0,96	0,93	0,88	0,91
IDF	-0,74 ^{ns}	-0,63 ^{ns}	-0,5 ^{ns}	-0,64 ^{ns}	-0,79 ^{ns}
Prędkość ścinania – Shear rate 800 s ⁻¹					
(1-3) (1-4) β-D glukan	0,59 ^{ns}	0,82	0,71 ^{ns}	0,43 ^{ns}	0,46 ^{ns}
TDF	0,63 ^{ns}	0,75 ^{ns}	0,84	0,61 ^{ns}	0,48 ^{ns}
SDF	0,97	0,95	0,94	0,88	0,91
IDF	-0,74 ^{ns}	-0,61 ^{ns}	-0,51 ^{ns}	-0,64 ^{ns}	-0,8 ^{ns}
Prędkość ścinania – Shear rate 1000 s ⁻¹					
(1-3) (1-4) β-D glukan	0,57 ^{ns}	0,82	0,72 ^{ns}	0,48 ^{ns}	0,52 ^{ns}
TDF	0,61 ^{ns}	0,75 ^{ns}	0,84	0,65 ^{ns}	0,5 ^{ns}
SDF	0,96	0,96	0,94	0,89	0,92
IDF	-0,76 ^{ns}	-0,62 ^{ns}	-0,51 ^{ns}	-0,63 ^{ns}	-0,78 ^{ns}
Prędkość ścinania – Shear rate 1200 s ⁻¹					
(1-3) (1-4) β-D glukan	0,57 ^{ns}	0,82	0,73 ^{ns}	0,5 ^{ns}	0,99
TDF	0,6 ^{ns}	0,75 ^{ns}	0,84	0,65 ^{ns}	0,9
SDF	0,97	0,96	0,94	0,9	0,96
IDF	-0,76 ^{ns}	-0,62 ^{ns}	-0,51 ^{ns}	-0,63 ^{ns}	-0,63 ^{ns}

Objaśnienia – Explanatory notes:

TDF – błonnik pokarmowy całkowity/total dietary fibre; SDF – błonnik pokarmowy rozpuszczalny/soluble dietary fibre; IDF – błonnik pokarmowy nierozpuszczalny/insoluble dietary fibre. Ns – Współczynnik korelacji nie istotny na poziomie $p \leq 0,05$ / Correlation coefficient statistically not significant at $p \leq 0,05$.

Wydłużenie czasu stabilizacji dla 10% zawiesin, powodowało stopniowy zanik korelacji. Niższe współczynniki korelacji odnotowano natomiast pomiędzy lepkością, a zawartością (1-3) (1-4) β -D glukanów. Istotną korelację pomiędzy zawartością (1-3) (1-4) β -D glukanów a lepkością pozorną zawiesin odnotowano tylko przy stosowaniu czasu stabilizacji 0,5 h dla 10% zawiesin oraz 1 h dla 15% stężenia zawiesin. Na rysunku 1 przedstawiono zależność między zawartością SDF oraz (1-3) (1-4) β -D-glukanów, a lepkością pozorną zawiesin mąki jęczmiennej, uwzględniając parametry, przy których odnotowano najwyższe współczynniki korelacji tj. czas stabilizacji 1 h, prędkość ścinania 1200 s^{-1} i stężenie 15% (tab. 5). Wyznaczono także równanie regresji oraz określono współczynnik determinacji R^2 . Analiza uzyskanych zależności, wskazują że zawartości frakcji rozpuszczalnej była w 92% wyjaśniona lepkością pozorną wodnych zawiesin pełnoziarnowej mąki jęczmiennej ($R^2 = 0,92$). Uzyskane korelacje są wyższe od wykazywanych przez Svihus i in. (2000) w przypadku badania ekstraktów jęczmiennych. Z kolei zawartość (1-3) (1-4) β -D-glukanów w produktach jęczmiennych była wyjaśniona w około 68% lepkością wodnych zawiesin pełnoziarnowej mąki jęczmiennej o stężeniu 15% ($R^2 = 0,68$). W tym wypadku uzyskane zależności są słabsze od wykazanych w badaniach wcześniejszych, dotyczących zawiesin mąk owsianych (Zarzycki i in. 2011) oraz prezentowanych przez Mager i in. (2003) dla kwaśnych ekstraktów jęczmienia.



Rys. 1. Zależność pomiędzy zawartością SDF oraz (1-3) (1-4) β -D-glukanów a lepkością pozorną 15% zawiesin pełnoziarnowych mąk jęczmiennych – prędkość ścinania 1200 s^{-1} , czas stabilizacji 1 h

Fig. 1. Influence of SDF and (1-3) (1-4) β -D glucan content on apparent viscosity of 15% whole-meal barley flour water slurries – shear rate 1200 s^{-1} , time stabilizing 1 h

Odnotować należy także istotną korelację ($p < 0,05$) pomiędzy zawartością całkowitego błonnika pokarmowego, a lepkością, która wykazano dla 10% stężenia zawiesin i czasu stabilizacji 0,5 h oraz dla stężenia 15% i czasu stabilizacji 2 h. Nie wykazano natomiast istotnej korelacji ($p < 0,05$), pomiędzy nierozpuszczalną frakcją błonnika a lepkością pozorną zawiesin.

Przeprowadzone badania potwierdziły, obserwowany przez innych autorów (Svihus i in. 2000, Dikeman i Fahey 2006) istotny wpływ stosowanych parametrów pomiaru na lepkość zawiesin i ekstraktów. Wskazuje to na fakt, że dopiero pełna charakterystyka wszystkich parametrów pomiaru lepkości daje możliwość powtarzalności wyników badań jak również ich porównania. Uzyskane wyniki potwierdzają możliwość szacowania zawartości frakcji błonnika pokarmowego, zwłaszcza SDF oraz w mniejszym stopniu (1-3) (1-4) β -D glukanów w ziarnie jęczmienia na podstawie pomiarów lepkości wodnych zawiesin pełnoziarnowych mąk jęczmiennych. Warunkiem koniecznym jest stosowanie odpowiednich parametrów pomiaru.

WNIOSKI

1. Wzrost czasu stabilizacji, w badanym przedziale czasowym (0,5-4 h) powoduje zwiększenie lepkości pozornej 10 i 15% wodnych zawiesin pełnoziarnowych mąk jęczmiennych

2. Wodne 10 i 15% zawiesiny pełnoziarnowych mąk jęczmiennych wykazują cechy typowe dla cieczy pseudoplastycznych objawiające się obniżeniem lepkości wraz ze wzrostem prędkości ścinania.

3. Lepkość pozorną wodnych zawiesin mąk jęczmiennych w największym stopniu skorelowana była z zawartością frakcji rozpuszczalnej błonnika pokarmowego (SDF) oraz zawartością (1-3) (1-4) β -D glukanów, co potwierdzono wysokimi współczynnikami korelacji (Pearsona, $p \leq 0,05$).

4. Pomiar lepkości pozornej wodnych zawiesin pełnoziarnowych mąk jęczmiennych mogą być wykorzystane do szacowania zawartości frakcji rozpuszczalnej błonnika pokarmowego (SDF), w mniejszym stopniu (1-3) (1-4) β -D glukanów, w ziarnie jęczmienia. Zalecane parametry pomiaru lepkości to stężenie zawiesin 15%, temperatura 50°C, czas stabilizacji 1 h oraz prędkość ścinania 1200 s⁻¹.

5. Nie stwierdzono istotnej korelacji liniowej (Pearsona, $p \leq 0,05$) pomiędzy lepkością pozorną zawiesin mąki jęczmiennej, a zawartością nierozpuszczalnej frakcji błonnika pokarmowego.

PIŚMIENNICTWO

- Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists (AACC), St. Paul, Minnesota, 2000.
- Brenelli S.L., Campos S.D.S., Saad M.J.A.: Viscosity of gums in vitro and their ability to reduce post-prandial hyperglycemia in normal subjects. 1997. *Brazilian J. Med. Biol. Res.*, 30, 1437-1440.
- Danielson A.D., Newman R.K., Newman C.W., Berardinelli J.G. 1997. Lipid levels and digesta viscosity of rats fed a high-fiber barley milling fraction. *Nutr. Res.*, 17, 515-522.
- Dikeman Ch. L., Fahey G.C.Jr. 2006. Viscosity as related to dietary fibre. A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 46, 649-663.
- Dikeman Ch.L., Barry K.A., Murphy M.R., Fahey G.C.Jr. 2007. Diet and measurement techniques affect small intestinal digesta viscosity among dogs. *Nutrition Research*, 27, 56-65.
- Friedrich M. 2003. The effects of diet enrichment with hull-less oat cultivar on glucose, lipid, lipoprotein, fibrinogen, and estradiol contents in the blood of post-mastectomy women. *Pol. J. Food Nutri. Sci.*, 12 (53), 69-74.
- Gerhardt A. L., Gallo N. G. 1998. Full-fat rice bran and oat bran similarly reduce hypercholesterolemia in humans. *J. Nutr.*, 128, 865-869.
- Hallfrisch J., Behall K. 2000. Mechanisms of the effects of grains on insulin and glucose responses. *J. Am. Coll. Nutr.*, 19, 320-325.
- Jenkins D.J.A., Jenkins A.J., Kendall C.W.C., Vuksan A.V. 1995. Dietary fibre, carbohydrate metabolism and chronic disease. In: *Dietary Fiber in Health and Disease*, Eagan Press, St. Paul, Minnesota, USA, 162-167.
- Jenkins D.J.A., Marchie A., Augustin L.S.A., Ros E., Kendall C.W.C. 2004. Viscous dietary fibre and metabolic effect. *Clinical Nutrition Supplements*, 1, 39-49.
- Johnson I. T. 2004. New approaches to the role of diet in the prevention of cancers of the alimentary tract. *Mutation Research*, 551, 9-28.
- Jones J.M. 2001. Dietary advice in North America: the good, the bad and the unheeded. In: *Advanced Dietary Fibre Technology*. Blackwell Science, U.K., 13-22.
- Mager M., J. Kiryluk, Z. Szmyt, E. Konieczna. 2003. Określenie możliwości szacowania zawartości β -glukanów w produktach przemiatu ziarna jęczmienia przez pomiar lepkości ich ekstraktów. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 4(37), 97-103.
- Reppas C., Dressman J.B. 1992. Viscosity modulates blood glucose response to nutrient solutions in dogs. *Diabet. Res. Clin. Prac.*, 17, 81-88.
- Svihus B., Edvardsen D.H., Bedford M.R., Gullord M. 2000. Effect of methods of analysis and heat treatment on viscosity of wheat, barley and oats. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 88, 1-12.
- Vis R.B., Lorenz K. 1997. β -Glucans: Importance in brewing and methods of analysis. *Lebensm. Wiss. U-Technol.*, 30, 331-336.
- Wood P.J. 2004. Relationships between solution properties of cereal β -glucans and physiological effects – a review. *Trend in Food Science & Technology*, 13, 313-320.
- Wood P.J., Braaten J., Scott F.W., Riedel K.D., Wolynetz M.S., Collins M.W. 1994. Effect of dose and modification of viscous properties of oat gum on plasma glucose and insulin following an oral glucose load. *Brit. J. Nutr.*, 72, 731-743.
- Zarzycki P., Sykut-Domańska E., Wilkowicz I. 2011. Ocena lepkości pozornej wodnych zawiesin całościarnowej mąki owsianej o zróżnicowanej zawartości błonnika pokarmowego. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2(75), 38-52.

APPARENT VISCOSITY OF WHOLEMEAL BARLEY FLOUR WATER
SLURRIES OF DIFFERENT DIETARY FIBRE CONTENT

Piotr Zarzycki, Anna Wirkijowska, Anna Niemiec

Engineering and Cereals Technology Department, University of Life Sciences in Lublin
ul. Skromna 8, 20-704 Lublin
e-mail: piotr.zarzycki@up.lublin.pl

Abstract. This paper presents the results of a research into the apparent viscosity of flour water slurries of wholemeal barley. The material investigated consisted of wholemeal flour of 6 barley cultivars showing a different content of dietary fibre, especially of the soluble dietary fibre including (1-3) (1-4) β -D glucans. The rheological properties of the water slurries were studied at concentrations of 10 and 15%, over shear rates of 200-1200 s^{-1} , after time-varying stabilisation of the slurries (0.5-4 h). Apparent viscosity was measured using a Mettler spindle-type rotational rheometer with coaxial cylinders, model RM 180 Mettler Rheomat. Based on the analysis performed, pseudoplastic behaviour of wholemeal barley water slurries was observed, also a significant increase in the viscosity occurred along with the elapsing of the stabilisation time of the slurries. The correlation (Pearson, $p \leq 0.05$) between the content of individual dietary fibre fractions and the apparent viscosity of the slurries was analysed and it was proved that the viscosity of the slurries was correlated, to the highest degree, with the content of soluble dietary fibre.

Key words: apparent viscosity, dietary fibre, wholemeal barley flour