

WALDEMAR GUSTAW^{*)}, DOMINIK SZWAJGIER

Uniwersytet Przyrodniczy

Katedra Biotechnologii, Żywienia Człowieka i Towaroznawstwa Żywności

ul. Skromna 8, 20-704 Lublin

Właściwości reologiczne mieszanych żeli β -glukanu owsianego i białek serwatkowych

Streszczenie — Roztwory białek serwatkowych (WPI) z dodatkiem różnych ilości (0,05–0,5 %) β -glukanu owsianego (GO) poddawano procesowi żelowania, ogrzewając je do temp. 80 °C. Badano wpływ pH środowiska oraz zawartości GO na właściwości reologiczne sporządzanych żeli. Obecna w roztworach białek serwatkowych guma owsiana powodowała zmiany wartości temperatury żelowania, naprężenia ściskającego przy zniszczeniu oraz modułu zachowawczego żeli mieszanych uzyskiwanych z roztworów o różnym pH. Najkorzystniejsze właściwości wykazywały żele sporządzone z roztworów białek serwatkowych o pH = 3 z udziałem gumy owsianej w ilości 0,3 %. Żele mieszane WPI z GO mogą być wykorzystywane w celu poprawienia charakterystyki reologicznej produktów żywnościowych, zwłaszcza tych o odczynie kwaśnym i obojętnym.

Słowa kluczowe: β -glukan, białka serwatkowe, żel, tekstura, właściwości reologiczne.

RHEOLOGICAL PROPERTIES OF MIXED GELS OF OAT β -GLUCAN AND WHEY PROTEINS

Summary — The solutions of whey protein isolates (WPI) with the addition of various amounts (0.05–0.5 %) of β -glucan (oat gum — OG) were subjected to gelation process by heating them up to 80 °C. The effects of pH and OG content on the rheological properties of the obtained gels were studied. The presence of oat gum in the solutions of whey protein isolates gave rise to the changes in the temperature of gelation, shear at fracture and storage modulus of the mixed gels obtained from the solutions of different pH. The gels with the most favourable properties were prepared from the solutions of whey proteins of pH 3 with the addition of 0.3 % oat gum. The mixed gels of WPI and OG can be used to enhance rheological properties of foodstuffs, especially those of acidic and neutral character.

Keywords: β -glucan, whey protein isolates, gel, texture, rheological properties.

Zachodzące w ostatnich latach zmiany w sposobie odżywiania skłaniają producentów żywności do wytwarzania na coraz większą skalę wyrobów o zmniejszonej wartości kalorycznej. Wiąże się to z koniecznością usunięcia ze stosowanych do ich wytwarzania surowców części tłuszczu, a jednocześnie zachowania pożądanych cech organoleptycznych i reologicznych produktów [1]. W charakterze substancji imitujących tłuszcz wykorzystuje się, np. mieszaniny różnych związków wykazujących dobre właściwości funkcjonalne a ich zastosowanie często skutkuje również poprawą wartości żywieniowych końcowego produktu (np. w wyniku wzrostu zawartości błonnika) [2]. Przykładem takiej substancji są układy białkowo-polisacharydowe, takie jak mieszaniny białek serwatkowych z owsianym β -glukanem.

β -Glukan stanowi główny składnik rozpuszczalnych frakcji błonnika ziaren zbóż, a najbogatszym jego źródłem są ziarna owsa i jęczmienia. Jest to liniowy biopoli-

mer zbudowany z reszt β -D-glukozy połączonych wiązaniami $\beta(1\rightarrow3)$ i $\beta(1\rightarrow4)$ [3]. Dieta bogata w β -glukan jest korzystna w żywieniu ludzi chorych na cukrzycę i nadciśnienie tętnicze. W licznych badaniach naukowych wykazano, że ten polisacharyd obniża poziom glukozy i cholesterolu we krwi [4–6], jednak w celu osiągnięcia wspomnianego efektu zaleca się spożywanie stosunkowo dużej ilości β -glukanu (3 g/dzień) [7]. Omawiany biopolimer ogranicza zachorowanie na raka okrężnicy, żołądka, płuc, krtani, gardła, przełyku, sutka, jajników i gruczołu krokowego [8, 9]. Wodne roztwory β -glukanu charakteryzują się cechami pseudoplastycznymi i tiksotropowymi, typowymi dla biopolimerów o dużym ciężarze cząsteczkowym [10].

Od wielu lat są prowadzone intensywne badania właściwości funkcjonalnych białek serwatkowych [11, 12]. Ważną tego typu cechą jest zdolność do tworzenia żeli. Jedną z metod otrzymywania żeli białkowych jest żelowanie podczas ogrzewania [11]. Na żelowanie białek serwatkowych pod wpływem ogrzewania ma wpływ

^{*)} Autor do korespondencji; e-mail: waldemar.gustaw@up.lublin.pl

wiele czynników, takich jak: stężenie białka, temperatura i szybkość ogrzewania, pH roztworu białek, stężenie jonów metali oraz obecność innych składników żywności [12]. W zależności zatem od warunków procesu można otrzymać rozmaite żele, mianowicie: opalizujące lub przezroczyste, zwarte, bardzo elastyczne lub gąbczaste, wydzielające duże ilości serwatki [11].

Białka serwatkowe zależnie od odczynu środowiska, stężenia jonów metali lub stężenia białka tworzą żele o zróżnicowanej, czasami niekorzystnej dla konsumentów teksturze (np. żele zbyt zwarte – w obojętnym środowisku roztworów białek lub gąbczaste – w środowisku kwaśnym). Jednym ze sposobów modyfikacji funkcjonalnych właściwości białek serwatkowych jest mieszanie ich z różnymi polisacharydami [13, 14]. Zaobserwowanym jednak, typowym procesem przebiegającym w roztworach i żelach mieszanych białek serwatkowych i polisacharydów była separacja faz [13–15]. Taka separacja faz niekorzystnie wpływa na właściwości reologiczne układu, odpowiednio dobierając proporcje pomiędzy składowymi biopolimerami można jednak uzyskać pożądaną zmianę funkcjonalnych właściwości żeli białek serwatkowych [13, 14].

W ostatnich latach funkcjonalne właściwości mieszanin i żeli β -glukanu z różnymi białkami mleka stanowiły przedmiot licznych badań [16–18]. β -Glukan wykorzystywano również w produktach mleczarskich o zmniejszonej zawartości tłuszczu, takich jak: sery lub jogurty [19–21]. W literaturze światowej brak jednak doniesień dotyczących oceny funkcjonalnych właściwości mieszanin żeli białek serwatkowych z dodatkiem β -glukanu otrzymanych w wyniku ogrzewania. Celem niniejszej pracy było więc określenie wpływu dodatku β -glukanu do białek serwatkowych, na żelowanie mieszaniny przebiegające podczas ogrzewania oraz na właściwości reologiczne uzyskanych żeli.

CZĘŚĆ DOŚWIADCZALNA

Materiały

– Otręby owsiane wysokobłonnikowe, PZZ Kruszwica, Polska.

– Izolat białek serwatkowych (WPI) o zawartości białka 91,3 %, Milei, Niemcy.

Odczynniki: kwas solny 1 M, wodorotlenek sodu 1 M, POCh Gliwice, Polska.

Otrzymywanie gumy owsianej, żeli białek serwatkowych oraz żeli mieszanych białek serwatkowych z gumą owsianą

Gumę owsianą (GO) uzyskiwano z otrębów owsianych zgodnie z metodyką opisaną w [21]. Żele białek serwatkowych otrzymywano z 10-proc. (w/w) roztworów białka (uzyskanych z WPI) w 0,1 M roztworze NaCl, ogrzewanych w rurkach szklanych, umieszczonych w

łaźni wodnej w temp. 80 °C na okres 30 min. Wytworzone żele cięto na walce o średnicy 10 mm i wysokości 10 mm.

Żele mieszane białek serwatkowych z dodatkiem 0,05; 0,1; 0,3 lub 0,5 % gumy owsianej przygotowywano z roztworów o różnej wartości pH. Odczyn środowiska regulowano używając 1 M HCl lub 1 M NaOH.

Metody badań

– Zawartość β -glukanu w otrębach i gumie owsianej określano stosując β -glucan assay kit firmy Megazyme (Irlandia), zgodnie z metodą McClear i Glennie-Holmes [22]. Roztwory badanej GO i preparatu o znanej zawartości β -glukanu, hydrolizowano lichenazą, a następnie β -glukozydazą, po czym oznaczano ilość uwolnionej glukozy.

– Teksturę żeli określano zgniatając otrzymane żele między dwiema równoległymi płytkami analizatora tekstury TA-XT2i (Stable Micro Systems, Godalming, UK). Prędkość przesuwu głowicy analizatora: 1 mm/s. Obliczano odkształcenie względne i naprężenie ściskające przy zniszczeniu [11].

– Zmiany właściwości reologicznych mieszanin WPI z GO zachodzące w wyniku ich ogrzewania w temp. 20–80 °C, a następnie chłodzenia do 20 °C (temperatura zmieniała się z szybkością 1 °C/min), oznaczano za pomocą reometru dynamicznego RS 300 (ThermoHaake, Karlsruhe, Niemcy) wyposażonego w układ cylindrów współosiowych Z41. Pomiary prowadzono przy częstotliwości 0,1 Hz i odkształceniu 0,01. Na podstawie przebiegu krzywych opisujących zależności od czasu, modułu zachowawczego (G') i modułu stratności (G'') oraz wartości tangensa kąta przesunięcia fazowego ($\text{tg}\delta$), oznaczano temperaturę żelowania (T_z) białek serwatkowych. Tung i Dynes [23] przyjęli, że wartość T_z odpowiada punktowi przecięcia się krzywych G' i G'' w funkcji czasu, gdy wartość liczbowa G' jest większa niż G'' . T_z określano również jako temperaturę odpowiadającą wartości $\text{tg}\delta = 1$ ($\delta = 45^\circ$).

– Analizę statystyczną wykonano wykorzystując program Statistica 8.0 (StatSoft, Polska). Zastosowano analizę wariancji (ANOVA), przy poziomie istotności $p \leq 0,05$. Do oceny różnic pomiędzy wartościami średnimi zastosowano test Tukey'a.

WYNIKI I ICH OMÓWIENIE

W tabeli 1 zestawiono wartości naprężenia ściskającego przy zniszczeniu żeli otrzymanych z 10-proc. roztworów białek serwatkowych (WPI). Żele białkowe sporządzone z roztworów o wartościach pH = 4–6 nie pękały podczas zgniatania, nawet przy 80 % deformacji (zamieszczone wartości naprężenia ściskającego odnoszą się do maksymalnego odkształcenia próbki). Żele otrzymane z roztworów białek o pH = 7 charakteryzowały się największą wartością naprężenia ściskającego przy zniszczeniu (43,9 kPa), natomiast próbki uzyskiwane

T a b e l a 1. Zmiany naprężenia ściskającego przy zniszczeniu żeli WPI (10 % białka) w zależności od pH środowiska wytwarzania i dodatku gumy owsianej (GO)

T a b l e 1. The changes of fracture stress at compression (kPa) WPI gels (10 % protein) depending on value of pH solutions and oat gum (GO) concentration

Zawartość GO, %	Naprężenie ściskające przy zniszczeniu, kPa							
	pH środowiska							
	3	4	5	6	7	8	9	10
0,00	6,50 ^{a)} ± 1,08	14,36 ^{a)} ± 3,36	27,55 ^{a)} ± 3,26	38,80 ^{a)} ± 2,95	43,90 ^{a)} ± 1,48	41,64 ^{a)} ± 2,98	33,24 ^{b)} ± 2,56	23,90 ^{a)} ± 2,40
0,05	6,34 ^{a)} ± 0,59	18,18 ^{a)} ± 1,09	37,46 ^{a)} ± 3,67	72,83 ^{b)} ± 5,54	42,06 ^{a)} ± 2,93	37,36 ^{a)} ± 0,08	26,08 ^{a)} ± 1,66	21,98 ^{a)} ± 2,48
0,10	10,17 ^{b)} ± 1,17	21,04 ^{b)} ± 1,57	36,49 ^{b)} ± 2,20	78,02 ^{b)} ± 4,07	49,04 ^{a)} ± 3,34	40,88 ^{a)} ± 2,62	24,87 ^{a)} ± 1,21	20,62 ^{a)} ± 2,41
0,30	11,03 ^{b)} ± 1,07	21,54 ^{b)} ± 1,27	37,85 ^{b)} ± 2,86	81,05 ^{c)} ± 5,19	46,50 ^{a)} ± 3,98	41,79 ^{a)} ± 2,09	28,51 ^{a),b)} ± 1,55	22,01 ^{a)} ± 1,58
0,50	8,97 ^{a),b)} ± 1,09	25,25 ^{b)} ± 3,17	42,99 ^{b)} ± 3,58	105,65 ^{d)} ± 10,03	42,93 ^{a)} ± 2,09	36,49 ^{a)} ± 2,12	22,09 ^{a)} ± 1,95	22,87 ^{a)} ± 2,76

^{a)} Wartość naprężenia obliczona przy maksymalnym odkształceniu próbki (żele nie pękały przy 80 % odkształcenia), różnice między wartościami oznaczonymi literami (a—d) są statystycznie istotne ($p \leq 0,05$).

w środowisku o zasadowym odczynie, wraz ze wzrostem pH charakteryzowały coraz mniejsze wartości naprężenia ściskającego przy zniszczeniu. Właściwości reologiczne żeli otrzymanych w tej pracy były zbliżone do cech żeli WPI sporządzonych we wcześniejszych, poświęconych żelowaniu białek serwatkowych badaniach [13]. Żele sporządzone z roztworów białek o pH = 3 i 9–10 były przezroczyste i niezbyt twarde. Uzyskane w tych warunkach żele białek serwatkowych miały drobno-usieciowaną strukturę zbudowaną z włókien o średnicy odpowiadającej jednej lub kilku średnicom cząsteczki białka [24, 25]. Żele natomiast otrzymane z roztworów białek serwatkowych o pH 4–6 charakteryzowały się strukturą gąbczastą, opisywaną jako ziarnista [25]. Strukturę żeli uzyskiwanych z roztworów białek serwatkowych o pH = 7 i 8 określono jako mieszaną [13].

Dodatek GO w istotnym stopniu zmieniał teksturę żeli białek serwatkowych sporządzonych z roztworów o odczynie kwaśnym (por. tabela 1). Żele otrzymane z roztworów białek o pH = 3, z dodatkiem GO w ilości co najmniej 0,1 % wykazywały większe wartości naprężenia ściskającego przy zniszczeniu niż żele sporządzone z czystych białek serwatkowych. We wcześniejszych badaniach tekstury żeli białek serwatkowych z dodatkiem galakta-

nu uzyskiwanego z alg morskich (karagenu), podobne właściwości stwierdzono w przypadku żeli sporządzonych z mieszanin białkowo-polisacharydowych o pH = 3 [13].

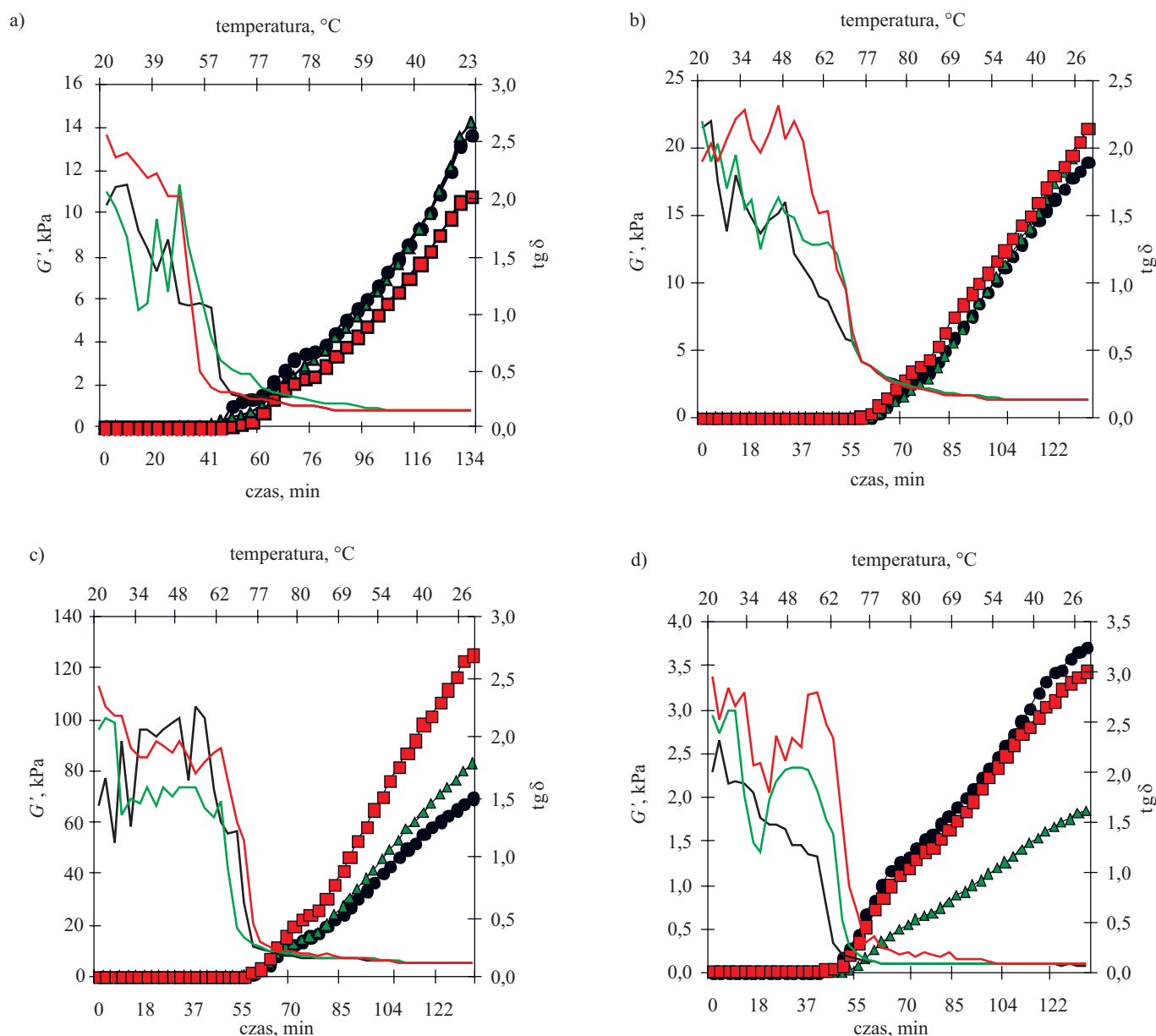
Tekstura żeli otrzymanych z roztworów białek o pH 4–6 z dodatkiem polisacharydu nie zmieniła się na pękającą, ale zaobserwowano wzrost naprężenia ściskającego wraz ze zwiększeniem stężenia GO. Największa wartość naprężenia ściskającego przy zniszczeniu odpowiada żelowi uzyskanemu z roztworów białek o pH = 6 z 0,5-proc. dodatkiem GO. Weinbreck i wspólr. [26] stwierdzili powstawanie kompleksów między siarczanowymi polisacharydami a białkami serwatkowymi, w roztworach tych biopolimerów o pH 4–7. β -Glukan jest neutralnym polisacharydem, nie posiadającym wolnych grup mogących reagować z grupami aminowymi białek serwatkowych. Tekstura żeli otrzymanych z roztworów białek serwatkowych z dodatkiem GO o pH = 7 lub 8, nie różniła się w istotnym stopniu od tekstury żeli WPI, niezależnie od stężenia polisacharydu (tabela 1). W przypadku natomiast żeli otrzymanych z roztworów o pH = 9, dodatek GO powodował spadek wartości naprężenia spowodowany najprawdopodobniej wystąpieniem separacji faz między biopolimerami. Separacja faz (niezgod-

T a b e l a 2. Zmiany względnego odkształcenia przy ściskaniu żeli WPI (10 % białka) w zależności od pH środowiska wytwarzania i dodatku gumy owsianej (GO)^{a)}

T a b l e 2. The changes of fracture strain at compression WPI gels (10 % protein) depending on value of pH solutions and oat gum (GO) concentration

Zawartość GO, %	Względne odkształcenie przy ściskaniu, %				
	pH środowiska				
	3	7	8	9	10
0,00	0,30 ^{a)} ± 0,05	1,23 ^{b)} ± 0,05	1,02 ^{a)} ± 0,05	1,05 ^{a)} ± 0,05	1,01 ^{a)} ± 0,06
0,05	0,29 ^{a)} ± 0,02	1,02 ^{a)} ± 0,06	1,02 ^{a)} ± 0,08	1,06 ^{a)} ± 0,05	1,28 ^{b)} ± 0,07
0,10	0,32 ^{a)} ± 0,03	1,02 ^{a)} ± 0,09	1,04 ^{a)} ± 0,09	0,98 ^{a)} ± 0,04	1,27 ^{b)} ± 0,08
0,30	0,28 ^{a)} ± 0,02	0,98 ^{a)} ± 0,04	0,94 ^{a)} ± 0,04	0,97 ^{a)} ± 0,07	1,23 ^{b)} ± 0,05
0,50	0,24 ^{a)} ± 0,02	0,93 ^{a)} ± 0,06	0,88 ^{a)} ± 0,05	0,94 ^{a)} ± 0,07	1,27 ^{b)} ± 0,07

^{a)} Różnice wartości pomiędzy liczbami w kolumnach, oznaczone literami a—b są statystycznie istotne ($p \leq 0,05$).



Rys. 1. Zmiany modułu zachowawczego (G') i $\text{tg } \delta$ podczas ogrzewania do temp. 80 °C a następnie chłodzenia do 20 °C, zawiesin WPI (10 % białka) z dodatkiem gumy owsianej (czarny — 0,1 %, zielony — 0,3 %, czerwony — 0,5 %), w warunkach różnego pH: a) 3, b) 6, c) 7, d) 10. Linie ciągłe — $\text{tg } \delta$, linie ze znacznikami — G'

Fig. 1. Changes in the storage modulus (G') and $\text{tg } \delta$ of WPI dispersions (10% protein) containing oat gum (black — 0.1%, green — 0.3%, red — 0.5%) at different pH: a) 3, b) 6, c) 7, d) 10, during the heating to 80 °C with subsequent cooling to 20 °C. Solid lines — $\text{tg } \delta$, lines with markers — G'

ność termodynamiczna), jest najczęściej występującym zjawiskiem pomiędzy białkiem a polisacharydem w układzie o pH powyżej punktu izoelektrycznego białka (pI) [27]. Badania mieszanin β -glukanu jęczmiennego z kazeinianem sodu w żelach kwasowych oraz niskotłuszczowych jogurtów i serów z dodatkiem β -glukanu owsianego wykazały, że dochodziło do utworzenia oddzielnych faz białka mleka i β -glukanu [18, 19, 21]. Niezgodność termodynamiczna polisacharydu i kazeiny rosła wraz ze wzrostem stężenia β -glukanu. Podobną zależność zaobserwowano w omawianej tu pracy, ale tylko w przypadku żeli mieszanych otrzymanych z roztworów o odczynie bardzo kwaśnym lub zasadowym. W warun-

kach niewielkiego stężenia polisacharydu, separacja faz była zjawiskiem korzystnym, poprawiającym właściwości reologiczne żeli białkowych, duże stężenie polisacharydu w układzie wpływało natomiast na zwiększenie separacji faz i pogorszenie właściwości żeli.

W tabeli 2 przedstawiono wartości względnego odkształcenia przy ścisaniu żeli białek serwatkowych i żeli białkowo-polisacharydowych. Żele otrzymane z roztworów białek serwatkowych o pH = 3 były kruche i podczas ścisania szybko ulegały zniszczeniu, żele sporządzone z roztworów o pH 4–6 były natomiast gumowate i podczas ścisania wydzielaly duże ilości serwatki. Z roztworów białek o pH = 7 wytworzono żele zwarte i elastyczne, a z

roztworów o pH 8–10 — również elastyczne, ale nie tak zwarte. We wcześniejszych badaniach tekstury żeli WPI i β -laktoglobuliny otrzymano analogiczne wyniki [13, 25].

Względne odkształcenie żeli otrzymanych z zawiesin białek serwatkowych z dodatkiem GO, o pH 3–6 nie zmieniało się w istotnym statystycznie zakresie. W zakresie pH = 4–6 uzyskiwano żele mieszane nieulegające zniszczeniu, a wraz ze wzrostem zawartości GO w roztworze białka maksymalne odkształcenie względne wytworzonych żeli nie zmieniało się, pozostając na poziomie 1,6. Z roztworów białek serwatkowych z udziałem GO o pH = 7, uzyskiwano żele o teksturze bardziej kruchej, natomiast dodatek GO do roztworów o pH = 10 powodował wzrost elastyczności żeli w porównaniu z teksturą żeli białek serwatkowych bez GO.

Proces żelowania i właściwości reologiczne żeli białek serwatkowych i żeli mieszanych białkowo-polisacharydowych analizowano również stosując reometr dynamiczny. Podczas ogrzewania a następnie chłodzenia mieszanin WPI z GO, otrzymanych z roztworów o różnych wartościach pH, obserwowano stopniowy wzrost wartości modułu zachowawczego (G') (rys. 1). Żele mieszane sporządzone z mieszanin o pH = 3 (rys. 1a) z 0,3 % dodatkiem GO charakteryzowały się największymi wartościami G' . W temperaturze 23 °C wartość G' żeli WPI z 0,3 % dodatkiem GO wynosiła ponad 14 kPa, podczas gdy G' żeli WPI — tylko 4 kPa. W żelach WPI z GO, otrzymanych z roztworów o pH = 6 lub 7, wraz ze wzrostem stężenia polisacharydu (rys. 1b i c) obserwowano tworzenie mocniejszych struktur. Żele sporządzone z mieszanin białek serwatkowych z GO w roztworze o pH = 10 były słabsze niż żele z samych białek serwatkowych ($G' < 4$ kPa, rys. 1d).

T a b e l a 3. Zmiany wartości temperatury żelowania (T_z) białek serwatkowych w zależności od pH środowiska wytwarzania i dodatku gumy owsianej (GO)*)

T a b l e 3. The changes of gelation temperature (°C) whey proteins depending on value of pH solutions and oat gum (GO) concentration

Zawartość GO %	T_z , °C			
	pH środowiska			
	3	6	7	10
0,0	59,4 ^d ± 0,5	74,8 ^c ± 0,6	72,3 ^b ± 0,4	49,9 ^a ± 3,2
0,1	57,4 ^c ± 0,7	62,2 ^a ± 2,3	63,9 ^a ± 1,2	58,3 ^b ± 2,3
0,3	53,7 ^b ± 0,5	66,2 ^a ^b ± 1,6	68,9 ^b ± 2,0	66,0 ^c ± 0,4
0,5	51,9 ^a ± 1,1	67,5 ^b ± 2,1	71,8 ^b ± 1,3	67,9 ^c ± 0,8

*) Różnice między wartościami oznaczonymi literami a–d są statystycznie istotne ($p \leq 0,05$).

Zmiana odczynu roztworów białek serwatkowych miała wpływ również na wartość temperatury żelowania (T_z) tych układów (tabela 3), najniższą wartość T_z zanotowano w przypadku roztworu o pH = 10. Dodatek GO

wraz ze zwiększeniem stężenia polisacharydu powodował wzrost T_z białek serwatkowych w takim środowisku. Niskie wielkości T_z zaobserwowano również w odniesieniu do układów otrzymanych z roztworów o pH = 3. W tym przypadku jednak po dodaniu gumy owsianej do roztworów białek o pH = 3 następował spadek wartości T_z . Roztwory białek serwatkowych o pH = 6 lub 7 żelowały podczas ogrzewania w temp. powyżej 70 °C. Obecność GO w roztworze o pH = 6 lub 7 przyczyniła się do zmniejszenia wartości T_z , rosnącej jednak wraz ze wzrostem stężenia polisacharydu.

PODSUMOWANIE

Obecność gumy owsianej w roztworach białek serwatkowych skutkowałą różnymi oddziaływaniami pomiędzy białkami a polisacharydem (β -glukanem) w zależności od odczynu środowiska. Dodatek polisacharydu do roztworów białek serwatkowych o pH = 3 powodował wzrost wartości naprężenia ściskającego przy zniszczeniu oraz modułu zachowawczego (G') żeli otrzymanych podczas ogrzewania, przy czym żele uzyskane z roztworów z dodatkiem 0,5 % GO wykazywały większą podatność na odkształcenie niż żele sporządzone z roztworów białek serwatkowych, w takich warunkach. Obecny w roztworach β -glukan powodował ponadto spadek temperatury żelowania białek serwatkowych.

Dodatek β -glukanu do roztworów białek serwatkowych o pH = 4–6 nie zmieniał tekstury wytworzonych żeli. Żele mieszane również były bardzo elastyczne, ale mniej skłonne do synerезy. W takich warunkach udział w roztworach gumy owsianej wpływał na wzrost naprężenia ściskającego przy zniszczeniu badanych żeli mieszanych (najtwardsze żele uzyskiwano w przypadku mieszanin o pH = 6), prawdopodobnie w wyniku miejscowego zwiększenia koncentracji białek serwatkowych na skutek związania przez β -glukan części wody obecnej w układzie.

Dodatek β -glukanu do układów o odczynie obojętnym przyczyniał się do wzrostu wartości modułu zachowawczego żeli białek serwatkowych, nie obserwowano natomiast istotnego zwiększenia ich twardości (wytrzymałości na odkształcenie przy ściskaniu). W żelach mieszanych, białek serwatkowych i polisacharydu, otrzymanych z roztworów o odczynie obojętnym lub zasadowym powodem zmiany właściwości reologicznych było wystąpienie separacji faz. Żele mieszane WPI z GO mogą być wykorzystane do poprawy właściwości reologicznych produktów żywnościowych, zwłaszcza wykazujących kwaśny odczyn. Zastosowanie β -glukanu w połączeniu z białkami serwatkowymi pozwoli na wprowadzenie w większym stężeniu polisacharydu, bez ryzyka pogorszenia właściwości reologicznych produktu.

LITERATURA

1. Akoh C. C.: *Food Technol.* 1998, 52, 47.

2. Ward F. M.: *Cereals Foods World* 1997, **42**, 386.
3. Lazaridou A., Biliaderis C. G.: *J. Cereal Sci.* 2007, **46**, 101.
4. Lan-Pidhainy X., Brummer Y., Tosh S. M., Wolever T. M., Wood P. J.: *Cereal Chem.* 2007, **84**, 512.
5. Behall K. M., Scholfield D. J., Hallfrisch J.: *Am. J. Clin. Nutr.* 2004, **80**, 1185.
6. Kalra S., Jood S.: *J. Cereal Sci.* 2000, **31**, 141.
7. FDA: *Fed. Regist.* 1997, **15**, 3584.
8. Dongowski G., Huth M., Gebhardt E., Flamme W.: *J. Nutr.* 2002, **132**, 3704.
9. Tomomatsu H.: *Food Technol.* 1994, **9**, 61.
10. Gustaw W., Achremowicz B., Glibowski P., Mleko S.: *Żywność, Nauka, Technologia, Jakość* 2001, **4**, 46.
11. Gustaw W., Mleko S.: *Milchwissenschaft* 2007, **4**, 439.
12. Smithers G. W.: *Int. Dairy J.* 2008, **18**, 695.
13. Gustaw W., Mleko S.: *Polish J. Food Nutrition Sci.* 2003, **4**, 39.
14. Gustaw W., Targoński Z., Glibowski P., Mleko S., Pikus S.: *Electron. J. Polish Agric. Univ.* 2003, **6**(2).
15. Ould Eleya M., Turgeon S.: *Food Hydrocoll.* 2000, **14**, 29.
16. Lazaridou A., Biliaderis C. G.: *Food Hydrocoll.* 2009, **23**, 886.
17. Lazaridou A., Vaikousi H., Biliaderis C. G.: *Int. Dairy J.* 2008, **18**, 312.
18. Kontogiorgos V., Ritzoulis C., Biliaderis C. G., Kasapis S.: *Food Hydrocoll.* 2006, **20**, 749.
19. Volikakis P., Biliaderis C. G., Vamvakas C., Zerfiridis G. K.: *Food Res. Int.* 2004, **37**, 83.
20. Konuklar G., Inglett G. E., Warner K., Carriere C. J.: *Food Hydrocoll.* 2004, **18**, 535.
21. Gustaw W.: *Milchwissenschaft* 2008, **63**, 296.
22. McClear B. V., Glennie-Holmes M.: *Institute Brew.* 1985, **91**, 285.
23. Tung C., Dynes P.: *J. Appl. Polymer Sci.* 1982, **27**, 569.
24. Ikeda S.: *Food Hydrocoll.* 2003, **4**, 399.
25. Langton M., Hermansson A.-M.: *Food Hydrocoll.* 1992, **5**, 523.
26. Weinbreck F., Nieuwenhuijse H., Robijn G. W., de Kruif C. G.: *J. Agric. Food Chem.* 2004, **52**, 3550.
27. Turgeon S. L., Beaulieu M., Schmitt C., Sanchez C.: *Curr. Opin. Colloid Interface Sci.* 2003, **8**, 401.

Otrzymano 17 VI 2011 r.