

## ŻELOWANIE MIESZANIN BIAŁEK SERWATKOWYCH Z KAPPA KARAGENEM

*Waldemar Gustaw, Maciej Nastaj*

Zakład Technologii Mleka i Hydrokoloidów, Uniwersytet Przyrodniczy  
ul. Skromna 8, 20-950 Lublin  
e-mail: waldemar.gustaw@up.lublin.pl

**Streszczenie.** W pracy przedstawiono wpływ stężenia karagenu i rodzaju zastosowanego koncentratu białek serwatkowych (WPC) na właściwości reologiczne żeli białkowo-polisacharydowych. Właściwości reologiczne żeli badano przy użyciu metod małych i dużych odkształceń. Dodatek karagenu do roztworów WPC zawierających dużo niebiałkowych składników takich jak laktoza, tłuszcz i sole mineralne (WPC35 i WPC65) powodował najwyższy wzrost twardości żeli w przypadku najniższego stężenia polisacharydu 0,1%, natomiast w przypadku WPC80 najtwardsze żele otrzymano przy najwyższym stężeniu karagenu (0,3%). Obecność polisacharydu obniżała temperaturę żelowania białek serwatkowych wraz ze wzrostem stężenia karagenu. Badania przy użyciu reologii małych odkształceń wykazały żelowanie karagenu podczas chłodzenia mieszanin otrzymanych z dodatkiem polisacharydu w ilości 0,3 i 0,5%, co nie było widoczne przy 0,1% dodatku.

**Słowa kluczowe:** białka serwatkowe, kappa karagen, twardość, temperatura żelowania, reologia.

### WSTĘP

Białka serwatkowe są powszechnie cenione ze względu na ich właściwości funkcjonalne i wartość odżywczą. Izolaty białek serwatkowych (WPI), koncentraty białek serwatkowych (WPC) i serwatka w proszku są najczęściej spotykanymi preparatami zawierającymi te białka mleka (Gustaw 2005). Właściwości funkcjonalne za które białka serwatkowe są najbardziej cenione to m.in. zdolność tworzenia stabilnych żeli i dobra rozpuszczalność (Mangino 1992). Żele białek serwatkowych w pewnych warunkach charakteryzują się jednak niekorzystną teksturą, są gąbczaste i skłonne do synerezy (żele otrzymane w pH 4-5) lub gumowate i zwarte (żele otrzymane w pH 7) (Gustaw i Mleko 2003).

Jednym ze sposobów modyfikowania tekstury żeli białek serwatkowych jest łączenie ich z różnymi polisacharydami. W literaturze światowej można spotkać prace naukowe poświęcone wpływowi m. in. karagenu, gumy ksantanowej czy pektyny na żelowanie poszczególnych białek serwatkowych lub też preparatów białek serwatkowych (Mleko i in. 1997, Syrbe i in. 1998, Neiser i in. 2000, Gustaw i in. 2003). Typowym zachowaniem jakie obserwowano w czasie oddziaływań pomiędzy białkami serwatkowymi a polisacharydami było zjawisko separacji (Gustaw i Mleko 2003, Gustaw i in. 2003). W pH poniżej punktu izoelektrycznego (pI) białek serwatkowych obserwowano również powstawanie elektrostatycznych kompleksów z gumą arabską, karagenem i pektyną (Schmitt i in. 2000, Mishra i in. 2001).

Wśród stosowanych w produkcji spożywczej preparatów białek serwatkowych najlepszymi właściwościami funkcjonalnymi charakteryzuje się izolat białek serwatkowych (WPI), stosowanie jego jest jednak ograniczone ze względów ekonomicznych. Wykorzystanie tańszych koncentratów (WPC) jest natomiast ograniczone brakiem dostatecznej wiedzy o wzajemnych interakcjach pomiędzy poszczególnymi składnikami WPC i wpływie tych oddziaływań na żelowanie WPC (Mleko i Gustaw 2002).

Celem pracy było zbadanie wpływu stężenia  $\kappa$ -karagenu na żelowanie wybranych koncentratów białek serwatkowych o różnej zawartości białka.

## MATERIAŁ I METODY

Do badań użyto koncentraty białek serwatkowych WPC 80 i WPC 35 (PPHU Laktopol, Warszawa i WPC 65 wyprodukowany przez Milei GmbH (Leutkirch, Niemcy) oraz kappa karagen (Sigma –Aldrich, Poznań).

### **Metody analityczne**

Zawartość białka w preparatach białek serwatkowych określono za pomocą analizy zawartości azotu metodą Kjeldahla w aparacie Kiel-Foss ( $N \times 6,38$ ) (AOAC 1984). Zawartość wody, tłuszczu i popiołu określono zgodnie z metodą AOAC (AOAC 1984).

### **Przygotowanie roztworów i żeli**

Sporządzano roztwory białek serwatkowych (12, 16 i 20%) i kappa karagenu (0,2; 0,6 i 1,0%) w 0,1M NaCl przez mieszanie za pomocą mieszadła mechanicznego. Roztwory następnie łączono ze sobą w proporcji 1:1, podgrzewano do 85°C i przetrzymywano w tej temp. przez 30 min. Żele przechowywano przez około 20 h w zamkniętych opakowaniach w temperaturze +4°C.

### Oznaczanie właściwości reologicznych

Teksturę żeli wyznaczano za pomocą analizatora tekstury TA-XT2i (Stable Micro Systems, UK). Zastosowano profilową analizę tekstury (TPA). Odształcenie próbki wynosiło 70%, prędkość przesuwu głowicy 1 mm·s<sup>-1</sup>. Podczas pomiaru wyznaczano twardość żeli. Wszystkie oznaczenia wykonano w trzech powtórzeniach po 6 prób (Gustaw 2006).

Zmiany właściwości reologicznych mieszanin WPC z kappa karagenem podczas ogrzewania z 50 do 90°C a następnie chłodzenia do 20°C oznaczano przy pomocy reometru dynamicznego RS 300 (ThermoHaake, Niemcy) wyposażonego w układ cylindrów współosiowych Z41. Pomiary przeprowadzono przy częstotliwości 0,1Hz i odształceniu 0,01.

### Analiza statystyczna

Dane analizowano testem t-Studenta przy użyciu programu Stat 1 (ISK Skiernewice).

## WYNIKI I DYSKUSJA

W tabeli 1 przedstawiono skład chemiczny koncentratów białek serwatkowych. Wraz ze spadkiem zawartości białka w badanych koncentraty wzrastała ilość laktozy, tłuszczu i popiołu. Wcześniejsze badania zawartości laktozy i tłuszczu wykonane przez Morr'a i Foegeding (1990) w preparatach białek serwatkowych wykazały, że ich zawartość wynosiła odpowiednio od 2,13 do 5,75% i 3,30-7,38%.

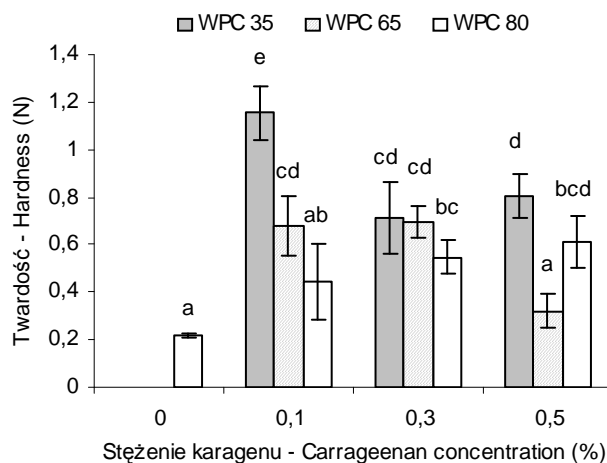
**Tabela 1.** Skład chemiczny preparatów białek serwatkowych  
**Table 1.** Composition of whey protein powders

Preparat Preparation	Białko Protein (%)	Laktoza Lactose (%)	Tłuszcz Fat (%)	Popiół Ash (%)	Wilgotność Moisture (%)
WPC 35	33,9	48,5	3,9	8,1	5,4
WPC 65	65,4	19,6	4,6	5,9	4,4
WPC 80	75,6	9,4	3,7	5,5	5,6

Na rysunku 1 przedstawiono zmiany twardości żeli otrzymanych po ogrzaniu roztworów różnych WPC w zależności od stężenia kappa karagenu. Wśród badanych koncentratów białek serwatkowych żele z 6% roztworów uzyskano tylko w przypadku WPC 80. Po dodaniu 0,1%

kappa karagenu najtwardsze żele otrzymano po ogrzaniu roztworów WPC35 (około 1,15 N), żele WPC65 i WPC80 były znacznie słabsze. Wraz ze wzrostem stężenia polisacharydu spadała twardość żeli WPC35, a wzrastała dla żeli uzyskanych z WPC80. W przypadku koncentratu WPC65 twardość otrzymanych żeli utrzymywała się na stałym poziomie (ok. 0,7 N) przy 0,1 i 0,3% dodatku, natomiast przy najwyższym stężeniu polisacharydu otrzymano dużo słabsze żele (0,3 N). W przypadku

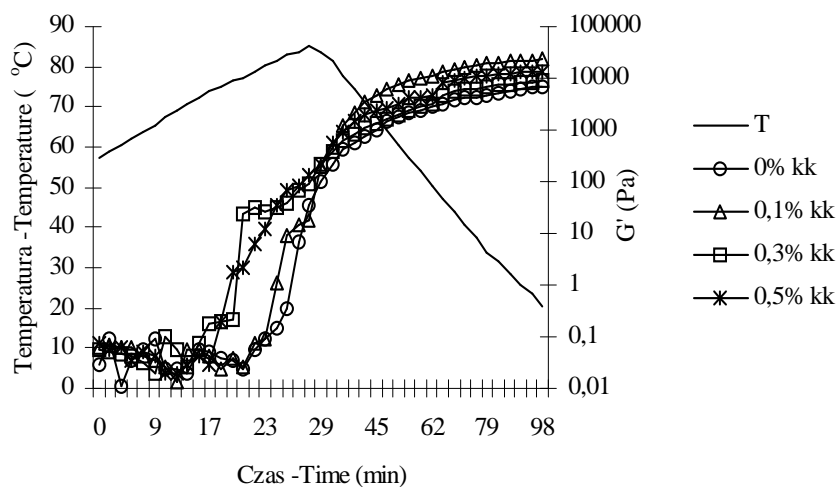
WPC35 i WPC65, które zawierały najwięcej niebiałkowych składników, przy wyższych stężeniach polisacharydu wystąpiła wyraźna faza separacji pomiędzy biopolimerami, co spowodowało pogorszenie tekstury otrzymanych żeli. We wcześniejszych badaniach wpływu dodatku kappa karagenu na żelowanie izolatu białek serwatkowych (WPI), najtwardsze żele otrzymano w pH 7 przy 0,2% stężeniu polisacharydu. Wzrost stężenia polisacharydu do 0,5% spowodował dramatyczne pogorszenie tekstury żeli mieszanych (Gustaw i Mleko 2003). Podobne zależności stwierdzono również w żelach mieszanych karagenu z jednym z białek serwatkowych BSA. Najtwardsze żele otrzymano przy 0,3% stężeniu kappa karagenu i pH 6,9 (Neiser i in. 2000). W innych badaniach wpływu stężenia jonów na teksturę mieszanin kappa karagenu (0,1 lub 1%) z WPI (9,1%) zaobserwowano dwa typy zachowań. Przy niskim stężeniu polisacharydu żele mieszane były bardziej podobne do żeli WPI (miały podobną twardość), natomiast przy wysokim stężeniu polisacharydu mieszane żele miały teksturę zbliżoną do żeli samego karagenu (Turgeon i Beaulieu 2001). Kationy sodowe, potasowe i wapniowe obecne w wykorzystanych do badań koncentratkach białek serwatkowych również mogły mieć wpływ na właściwości reologiczne mieszanin białkowo-polisacharydowych. We wcześniejszych badaniach stwierdzono, że wzrost stężenia jonów potasowych wpływał na otrzymanie mocniejszych żeli karagenowych, natomiast wzrost stężenia jonów sodowych lub wapniowych nie wpływał w wyraźny sposób na właściwości reologiczne żeli karagenu Hermansson i in. 1991).



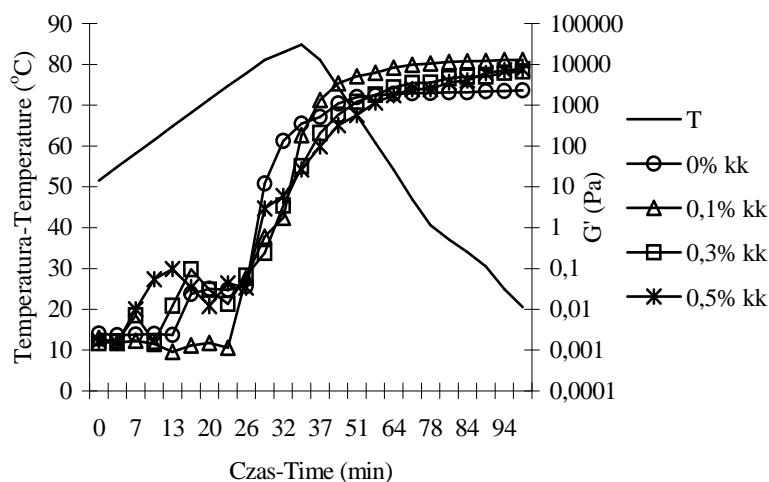
**Rys. 1.** Twardość żeli koncentratów białek serwatkowych – WPC (stężenie białka 6%) w zależności od stężenia kappa karagenu. Różnice pomiędzy wartościami średnimi oznaczonymi różnymi literami są statystycznie istotne ( $P < 0,05$ )

**Fig. 1.** Hardness of whey protein concentrate (WPC) gels (6% protein concentration) as a function of the kappa-carrageenan concentration. Differences among the mean values designated by different letters are statistically significant ( $P < 0.05$ )

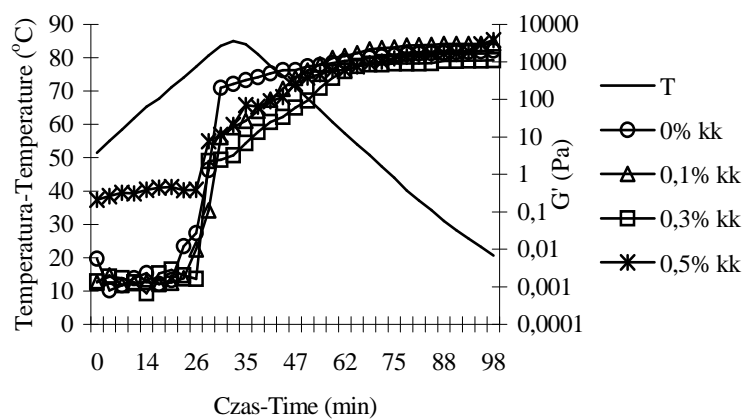
Na rysunkach 2-4 przedstawiono krzywe zmiany wielkości modułu  $G'$  mieszanin wybranych WPC z kappa karagenem podczas ogrzewania do  $85^{\circ}\text{C}$ , a następnie chłodzenia do około  $20^{\circ}\text{C}$ . Dodatek polisacharydu do 6% roztworu WPC35 spowodował wyraźny wzrost wielkości  $G'$  przy najniższym stężeniu karagenu (rys. 2). Wartość liczbowa modułu zachowawczego w temperaturze  $20^{\circ}\text{C}$  w przypadku żelu WPC 35 z dodatkiem 0,1% kappa karagenu była około 4 razy wyższa w porównaniu do żelu samych białek serwatkowych. Wyższe stężenie karagenu pogarszało właściwości reologiczne żeli WPC 35. Otrzymane wyniki były zgodne z pomiarami tekstury żeli kappa karagenu z WPC35. Podobne zachowanie obserwowano w przypadku mieszanin WPC 65 z karagenem (rys. 3). Najwyższą wartość liczbową modułu zachowawczego zanotowano w przypadku mieszanin z 0,1% dodatkiem polisacharydu w temperaturze  $20^{\circ}\text{C}$ , która wynosiła około 13 kPa. Wzrost stężenia karagenu powodował spadek wielkości  $G'$  jednak wszystkie mieszane żele WPC 65 były mocniejsze od żeli samych białek serwatkowych. W przypadku mieszanin polisacharydu z WPC 80 otrzymano najslabsze żele porównując z pozostałymi wykorzystanymi koncentracjami białek serwatkowych (rys. 4). Po dodaniu 0,5% kappa karagenu zarejestrowano najwyższą wartość liczbową modułu zachowawczego w temperaturze  $20^{\circ}\text{C}$ , która wynosiła około 3,8 kPa, natomiast wraz ze spadkiem stężenia polisacharydu wielkość ta malała.



**Rys. 2.** Zmiany wartości modułu zachowawczego ( $G'$ ) podczas ogrzewania roztworów WPC35 (6% białka) do  $85^{\circ}\text{C}$ , a następnie chłodzenia do  $20^{\circ}\text{C}$  w zależności od stężenia kappa karagenu  
**Fig. 2.** Changes of storage modulus values ( $G'$ ) during heating the WPC35 solutions (6% protein concentration) to  $85^{\circ}\text{C}$  and cooling to  $20^{\circ}\text{C}$  depending on kappa-carrageenan concentration (T – temperatura – temperature, kk – kappa karagen – kappa-carrageenan)



**Rys. 3.** Zmiany wartości modułu zachowawczego ( $G'$ ) podczas ogrzewania roztworów WPC65 (6% białka) do 85°C, a następnie chłodzenia do 20°C w zależności od stężenia kappa karagenu  
**Fig. 3.** Changes of storage modulus values ( $G'$ ) during heating the WPC65 solutions (6% protein concentration) to 85°C and cooling to 20°C depending on kappa-carrageenan concentration (T – temperatura-temperature, kk – kappa karagen – kappa carrageenan)



**Rys. 4.** Zmiany wartości modułu zachowawczego ( $G'$ ) podczas ogrzewania roztworów WPC80 (6% białka) do 85°C a następnie chłodzenia do 20°C w zależności od stężenia kappa karagenu  
**Fig. 4.** Changes of storage modulus values ( $G'$ ) during heating the WPC 80 solutions (6% protein concentration) to 85°C and cooling to 20°C depending on kappa-carrageenan concentration (T – temperatura – temperature, kk – kappa karagen – kappa carrageenan)

Analizując przebieg krzywych zmiany modułu zachowawczego  $G'$  można zaobserwować wyraźny jego wzrost w zakresie temperatur 60-85°C podczas ogrzewania roztworów wszystkich badanych WPC. Na podstawie przebiegu krzywych  $G'$  i  $G''$ , oraz wielkości  $\tan \delta$  można stwierdzić, że wzrost ten oznacza żelowanie białek serwatkowych. Tung i Dynes (1982) określili punkt żelowania jako przecięcie się krzywych  $G' - G''$ , gdy  $G'$  ma wyższą wartość liczbową od  $G''$ . Punkt żelowania występuje również, gdy wartość liczbowa kąta fazowego  $\delta$  jest równa 45° ( $\tan \delta = 1$ ). Temperatura żelowania białek serwatkowych obniżała się wraz ze wzrostem zawartości białka w badanych koncentratkach (tab. 2). Najwyższą temperaturę żelowania zaobserwowano w przypadku WPC35, co wynikało prawdopodobnie z dużej zawartości laktozy w tym preparacie. Takie substancje jak cukry proste i poliole powodowały wzrost temperatury żelowania białek serwatkowych (Mei i in. 1996, Gustaw i Glibowski 2004). Dodatek karagenu obniżał temp. żelowania białek serwatkowych, a tendencja ta nasilała się wraz ze wzrostem stężenia polisacharydu. W punkcie żelowania, agregaty białek serwatkowych łączą się ze sobą tworząc matrycę żelu, która jest stabilizowana przez wiązania dwusiarczkowe, jonowe, wodorowe i oddziaływania hydrofobowe. Jednym z głównych czynników warunkujących powstawanie tych wiązań i oddziaływań jest stężenie białka (Mleko i in. 1994). Obecność polisacharydu przyspieszała żelowanie białek serwatkowych. Tolstoguzov (1995) stwierdził, że w przypadku mieszanin białkowo-polisacharydowych wykazujących niezgodność, szybciej następowało żelowanie układu. Dodatek galaktomannanu do roztworów WPI również obniżał temperaturę żelowania białek serwatkowych (Tavares i Lopes da Silva 2003).

Analizując krzywe  $G'$ , w zależności od zmiany temperatury można zauważyć drugi wyraźny wzrost wielkości modułu zachowawczego podczas chłodzenia mieszanin, który był spowodowany żelowaniem karagenu. Temperatura żelowania kappa karagenu w mieszaninach z różnymi koncentratami białek serwatkowych wynosiła od 60 do 26°C (tab. 2). Kationy mogły stymulować oddzielne żelowanie karagenu w mieszaninach z WPC, w przypadku wyższych stężeń karagenu (0,3 i 0,5%). We wcześniejszych badaniach reologicznych właściwości mieszanin karagenu z beta laktoglobuliną, stwierdzono że oba biopolimery żelowały oddzielnie: białko podczas ogrzewania, a polisacharyd podczas chłodzenia (Ould Eleya i Turgeon 2000). Temperatura żelowania karagenu zależała od jego stężenia, rodzaju i stężenia WPC. Ogólnie najwyższe temperatury żelowania kappa karagenu zanotowano w mieszaninach z WPC35, które zawierają najwięcej składników niebiałkowych. Temperatura żelowania wzrastała wraz ze wzrostem stężenia kappa karagenu i WPC. Wzrost wielkości temperatury żelowania karagenu wraz ze wzrostem stężenia WPC, można wytłumaczyć wzrostem stężenia soli mineralnych w tym koncentracie. Badania procesu żelowania mieszanin kappa karagenu z beta laktoglobuliną metodą DSC wykazały wzrost temperatury

żelowania polisacharydu w obecności białka i skrócenie czasu potrzebnego do powstania żelu (Baeza i in. 2002). We wcześniejszych badaniach stwierdzono, że wyższe stężenie jonów sodowych, potasowych i wapniowych powodowało wzrost temperatury żelowania karagenu (Sołowiej i in. 2005).

**Tabela 2.** Temperatury żelowania (°C) kappa – karagenu (kk) i mieszanin kappa karagenu z białkami serwatkowymi

**Table 2.** Gelation temperature (°C) of kappa-carrageenan (kk) and kappa-carrageenan whey proteins mixtures

WPC Stęż. Conc. (%)	Stężenie karagenu – Carrageenan concentration (%)						
	0	0,1		0,3		0,5	
		T <sub>g</sub> (wpc)	T <sub>g</sub> (kk)	T <sub>g</sub> (wpc)	T <sub>g</sub> (kk)	T <sub>g</sub> (wpc)	T <sub>g</sub> (kk)
WPC 35							
6	84 <sup>l</sup> ± 1	81 <sup>hijk</sup> ± 1	–	78 <sup>cdefgh</sup> ± 1	47 <sup>g</sup> ± 0	75 <sup>c</sup> ± 2	49 <sup>g</sup> ± 1
8	84 <sup>l</sup> ± 2	74 <sup>c</sup> ± 2	–	81 <sup>ijkl</sup> ± 2	54 <sup>h</sup> ± 0	80 <sup>efghijk</sup> ± 1	54 <sup>h</sup> ± 0
10	84 <sup>l</sup> ± 3	78 <sup>cdefghi</sup> ± 2	–	75 <sup>c</sup> ± 1	59 <sup>i</sup> ± 1	65 <sup>b</sup> ± 3	60 <sup>j</sup> ± 0
WPC 65							
6	82 <sup>ijkl</sup> ± 1	81 <sup>ijkl</sup> ± 3	–	82 <sup>kl</sup> ± 2	34 <sup>f</sup> ± 0	80 <sup>ghijk</sup> ± 0	34 <sup>d</sup> ± 0
8	81 <sup>ijkl</sup> ± 1	80 <sup>ghijk</sup> ± 1	–	77 <sup>cdefgh</sup> ± 2	37 <sup>e</sup> ± 0	67 <sup>b</sup> ± 2	37 <sup>e</sup> ± 0
10	79 <sup>defghij</sup> ± 3	77 <sup>cdefg</sup> ± 1	–	77 <sup>cdefg</sup> ± 0	43 <sup>f</sup> ± 0	61 <sup>a</sup> ± 1	40 <sup>f</sup> ± 0
WPC 80							
6	80 <sup>ghijk</sup> ± 1	81 <sup>hijk</sup> ± 2	–	78 <sup>cde</sup> ± 3	26 <sup>a</sup> ± 1	80 <sup>ghijk</sup> ± 3	27 <sup>ab</sup> ± 1
8	79 <sup>defghij</sup> ± 2	81 <sup>hijk</sup> ± 1	–	80 <sup>efghijk</sup> ± 2	28 <sup>b</sup> ± 0	80 <sup>ghijk</sup> ± 1	30 <sup>c</sup> ± 1
10	77 <sup>cdef</sup> ± 2	76 <sup>cde</sup> ± 1	–	75 <sup>c</sup> ± 2	31 <sup>c</sup> ± 3	75 <sup>cd</sup> ± 1	34 <sup>d</sup> ± 1

Różnice pomiędzy wartościami średnimi oznaczonymi różnymi literami są statystycznie istotne (P < 0,05) – Differences among the mean values designated by different letters are statistically significant (P < 0.05).

## WNIOSKI

1. Dodatek kappa karagenu do roztworów koncentratów białek serwatkowych modyfikuje ich właściwości reologiczne.
2. Skład badanych koncentratów białek serwatkowych wpływa na właściwości reologiczne ich żeli z dodatkiem karagenu.
3. Najtwardsze żele otrzymano przy najniższym stężeniu polisacharydu w przypadku koncentratów zawierających stosunkowo mało białka, natomiast w przypadku WPC85 najtwardsze żele uzyskano przy najwyższym stężeniu karagenu.



4. Kappa karagen przyspiesza żelowanie białek serwatkowych i powoduje, że zachodzi w niższej temperaturze gdy rośnie stężenia polisacharydu.
5. W mieszaninach koncentratów białek serwatkowych z karagenem w ilości 0,3 i 0,5% obserwowano oddzielne żelowanie polisacharydu, co nie miało miejsca przy dodatku 0,1%.

## PIŚMIENNICTWO

- AOAC. 1984. Official methods of Analysis, 14th ed. Association of Official Analytical Chemists, Arlington, VA.
- Baeza R.I., Carp D., Perez O., Pilosof, A., 2002.  $\kappa$ -Carrageenan – protein interactions: effect of proteins on polysaccharide gelling and textural properties. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie*, 35, 741-747.
- Gustaw W., 2005. Wpływ gumy ksantanowej na żelowanie koncentratów białek serwatkowych. *Folia Universitatis Agriculturae Stetinensis, Stientia Alimentaria*, 246(4), 141-147.
- Gustaw W., 2006. Zmiany właściwości reologicznych żeli białek serwatkowych podczas przechowywania. *Acta Agrophysica*, 8 (2), 347- 356.
- Gustaw W., Glibowski P., 2004. Effect of polyols content on rheological properties of whey protein gels. *Polish Journal of Natural Sciences Suppl.*, 2, 37-44.
- Gustaw W., Mleko S., 2003. The effect of pH and carrageenan concentration on the rheological properties of whey protein gels. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 4, 39-44.
- Gustaw W., Targonski Z., Glibowski P., Mleko S., Pikus S., 2003. The influence of xanthan gum on rheology and microstructure of heat-induced whey protein gels *Electronic Journal of Polish Agricultural Universities, Food Science and Technology*, 6(2), <http://www.ejpau.media.pl/series/volume6/issue2/food/art-14.html>.
- Hermansson A-M., Eriksson E., Jordansson E., 1991. Effects of potassium, sodium and calcium on the microstructure and rheological behaviour of kappa-carrageenan gels. *Carbohydrate Polymers*, 16, 297-320.
- Mangino M.E., 1992. Gelation of whey-protein concentrates. *Food Technology*, 46, 114–117.
- Mei F., Laye I., Karleskind D., Morr, C.V., 1996. Gelation of calcium reduced and lipid reduced whey protein concentrates as affected by total and ionic mineral concentrations. *Journal of Food Science*, 61, 899-905.
- Mishra S., Mann B., Joshi V.K., 2001. Functional improvement of whey protein concentrate on interaction with pectin. *Food Hydrocolloids*, 15, 9-15.
- Mleko S., Achremowicz B., Foegeding E.A., 1994. Effect of protein concentration on the rheological properties of whey protein concentrate gels. *Milchwissenschaft*, 49, 266-269.
- Mleko S., Gustaw W., 2002. Rheological changes due to substitution of total milk proteins by whey proteins in dairy desserts. *Journal of Food Science and Technology*, 39(2), 170-172.
- Mleko S., Li-Chan E., Pikus S., 1997. Interactions of  $\kappa$ -carrageenan with whey proteins in gels formed at different pH. *Food Research International*, 30(6), 427-433.
- Morr C., Foegeding E., 1990. Composition and functionality of commercial whey and milk protein concentrates and isolates. *Food Technology*, 44, 100-112.
- Neiser S., Draget K., Smidsrod O., 2000. Gel formation in heat-treated bovine serum albumin- $\kappa$ -carrageenan systems. *Food Hydrocolloids*, 14, 95-110.
- Ould Eleya M., Turgeon S., 2000. Rheology of  $\kappa$ -carrageenan and  $\beta$ -lactoglobulin mixed gels. *Food Hydrocolloids*, 14, 29-40, 2000.

- Schmitt C., Sanchez C., Despond S., Renard D., Thomas F., Hardy J., 2000. Effect of protein aggregates on the complex coacervation between  $\beta$ -lactoglobulin and acacia gum at pH 4.2. *Food Hydrocolloids*, 14, 403-413.
- Sołowiej B., Gustaw W., Mleko S., 2005. Wpływ wybranych czynników na żelowanie  $\kappa$ -i-t-karagenu. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2(43), Supl., 193-202.
- Syrbe A., Bauer W.J., Klostermeyer H., 1998. Polymer science concepts in dairy systems- an overview of milk protein and food hydrocolloid interaction. *International Dairy Journal*, 8, 179-193.
- Tavares C., Lopes da Silva J.A., 2003. Rheology of galactomannan-whey protein mixed systems. *International Dairy Journal*, 13, 699-706.
- Tolstoguzov V.B., 1995. Some physico-chemical aspects of protein processing in food. Multicomponent gels. *Food Hydrocolloids*, 4, 317-332.
- Tung C., Dynes P., 1982. Relationship between viscoelastic properties and gelation in thermosetting systems. *Journal of Applied Polymers Science*, 27, 569-574.
- Turgeon S.L., Beaulieu M., 2001. Improvement and modification of whey protein gels texture using polysaccharides. *Food Hydrocolloids*, 15, 583-591.

## GELATION OF WHEY PROTEIN-CARRAGEENAN MIXTURES

*Waldemar Gustaw, Maciej Nastaj*

Department of Milk Technology and Hydrocolloids, University of Life Sciences in Lublin  
ul. Skromna 8, 20-950 Lublin  
e-mail: waldemar.gustaw@up.lublin.pl

**Abstract.** This paper introduces the effect of different type of protein concentrates and carrageenan concentration on rheological properties of protein-polysaccharide gels. The rheological properties of gels were examined using the small and large strain techniques. 0.1% carrageenan addition to WPC solutions that are more affluent in non-protein compounds, such as lactose, fat and minerals (WPC35 and WPC65), caused the highest increase of gel hardness values. In the case of WPC 80, the hardest gels were obtained at the highest carrageenan concentration, i.e. 0.3%. The presence of polysaccharides caused a decrease of whey protein gelation temperature as the carrageenan concentration was increased. The application of the small strain technique demonstrated the occurrence of carrageenan gelation process while its mixtures (0.3 and 0.5% addition) were cooled. For the samples obtained with the 0.1% carrageenan concentration, the aforementioned phenomenon did not occur.

**Keywords:** whey proteins, kappa carrageenan, hardness, gelation temperature, rheology