

BARTOSZ SOŁOWIEJ

OCENA WŁAŚCIWOŚCI REOLOGICZNYCH ANALOGÓW SERÓW TOPIONYCH O ZMNIEJSZONEJ ZAWARTOŚCI TŁUSZCZU

Streszczenie

Celem niniejszej pracy była ocena właściwości reologicznych analogów serów topionych o zmniejszonej zawartości tłuszczu. W celu otrzymania produktu wysokobiałkowego, przeznaczonego przede wszystkim dla osób odchudzających się oraz aktywnych fizycznie, tłuszcz w analogach serowych zastępowano częściowo kazeiną kwasową. Teksturę analogów serów topionych badano przy użyciu analizatora tekstury TA-XT2i. Do oznaczenia twardości zastosowano próbnik cylindryczny o średnicy 10 mm (prędkość przesuwu 1 mm/s, stała temperatura 21 °C). W profilowej analizie tekstury (TPA), w której określano sprężystość i żujność analogów serowych, używano próbnika cylindrycznego o średnicy 15 mm (prędkość przesuwu 1 mm/s, stała temperatura 21 °C). Badania właściwości lepkością analogów serów topionych wykonywano w układzie płytka – płytka w zmiennej temperaturze od 30 do 80 °C, przy użyciu reometru oscylacyjnego RS 300. Określano zmiany wartości modułu zachowawczego (G'). W przypadku badanych analogów wraz ze zwiększaniem zawartości kazeiny w zakresie 12 - 20 % i zmniejszaniem zawartości tłuszczu w zakresie 30 - 10 % zwiększała się ich twardość oraz żujność. Natomiast zastosowanie kazeiny kwasowej (KK) w ilości 22 % oraz bezwodnego tłuszczu mlecznego (BTM) w ilości 5 % spowodowało w konsekwencji znaczne zmniejszenie twardości i żujności analogów serów topionych, porównywalnie do próbki pełnotłustej (12 % KK + 30 % BTM). Wszystkie badane analogi serów topionych charakteryzowały się wysoką sprężystością. Wraz ze zwiększaniem się zawartości kazeiny i zmniejszaniem się zawartości tłuszczu w produkcie zwiększała się wartość modułu zachowawczego (G') podczas topienia analogów sera. Zmiany proporcji kazeiny oraz bezwodnego tłuszczu mlecznego miały wpływ na teksturę i właściwości reologiczne analogów serów topionych.

Słowa kluczowe: analogi serów topionych, kazeina kwasowa, bezwodny tłuszcz mleczny, reologia, topliwość

Wprowadzenie

W opracowaniu nowych receptur produktów żywnościowych obserwuje się tendencje związane głównie ze zmniejszaniem ich wartości energetycznej dzięki zastąpieniu tłuszczu mlecznego emulsją białkowo-tłuszczową. Równocześnie w modyfikowanym produkcie uzyskuje się zmniejszenie zawartości cholesterolu [4].

Dr inż. B. Sołowiej, Katedra Biotechnologii, Żywności Człowieka i Towaroznawstwa Żywności, Wydz. Nauk o Żywności i Biotechnologii, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, ul. Skromna 8, 20-704 Lublin

Kazeina jest najważniejszym białkiem mleka i stanowi około 75 % jego ogólnej ilości. Jest to białko o dużej wartości biologicznej, cechujące się bardzo dobrze zbilansowanym składem aminokwasowym, szczególnie aminokwasów egzogennych oraz kwasu glutaminowego [17]. Jest białkiem najbardziej przydatnym jako materiał budulcowy do syntezy hemoglobiny i białek osocza krwi. Po spożyciu mleka kazeina tworzy w żołądku skrzep, który jest bardziej podatny na działanie enzymów trawiennych niż np. białka produktów mięsnych [3]. Wartość biologiczna kazeiny dorównuje białku mięsa i znacznie przewyższa wartość białek zbóż i roślin strączkowych [6]. Wyizolowana kazeina jest cennym uzupełnieniem diety sportowców. Jako odżywka stosowana jest na noc z uwagi na powolne trawienie [17]. Organizm człowieka trawi kazeinę powoli, ponieważ w jelitach przyjmuje ona formę żelu, dzięki czemu następuje stały dopływ aminokwasów przez dłuższy czas. Ilość aminokwasów we krwi osiąga wartość maksymalną po 3 - 4 h od spożycia kazeiny. Natomiast całkowity dopływ aminokwasów do krwi może trwać do 7 h od jej spożycia [5]. Kappa-kazeina zawiera w cząsteczce kazeinomakropeptyd oraz pochodzące z niego peptydy, które pełnią wiele różnych funkcji. Jedną z nich jest zmniejszenie w żołądku wydzielania kwasów żołądkowych oraz gastryny. W surowicy krwi podczas trawienia kazeinomakropeptydu uwalniany jest peptyd kazoplateina o właściwościach przeciwzakrzepowych [2]. Wyniki badań wykazały również, że we frakcji kappa-kazeiny znajdują się białka, które hamują adhezję *Helicobacter pylori* do błony śluzowej żołądka. Ponadto dieta wzbogacona w kazeinę okazała się efektywna w łagodzeniu kolki jelitowej u niemowląt, związanej z uczuleniem na białko. W sekwencjach kazeiny zidentyfikowano liczne bioaktywne peptydy, które są uwalniane w procesie trawienia enzymatycznego: izracydynę i kazocydynę – antybakteryjne egzorzyny opioidowe, kazokininy regulujące ciśnienie krwi [10].

Zainteresowanie zastosowaniem kazeiny w technologii żywności wynika z postępu w badaniach cech funkcjonalnych, do których należą: nadawanie produktom spożywczym odpowiedniej struktury i konsystencji, zdolności emulgowania tłuszczu oraz wiązania wody. Ze względu na te cechy kazeina może być stosowana w wielu produktach spożywczych, takich jak: produkty mleczarskie (napoje mleczne, napoje fermentowane, sery i ich substytuty, desery mleczne), pieczywo, wyroby cukiernicze, makarony, napoje inne niż mleczne – w tym alkoholowe, produkty mięsne, produkty ekstrudowane, odżywki dla niemowląt, produkty dietetyczne oraz preparaty farmaceutyczne [18].

Sery topione zaliczane są do produktów, w których zapewnienie właściwych cech tekstury jest jednym z podstawowych kryteriów oceny ich jakości. W dużej mierze tekstura sera topionego decyduje o jego rodzaju, funkcjonalności i przeznaczeniu. Ponadto finalne cechy tekstury serów topionych w dużym zakresie kształtowane są przez ilość i formę występującego w nich białka [11].

Celem niniejszej pracy była ocena właściwości reologicznych analogów serów topionych o zmniejszonej zawartości tłuszczu. Tłuszcz zastępowano częściowo kazeiną kwasową w celu otrzymania produktu wysokobiałkowego, przeznaczonego przede wszystkim dla osób odchudzających się oraz aktywnych fizycznie.

Material i metody badań

W badaniach zastosowano: kazeinę kwasową (KK) (Polsero Sp. z o.o., Sokołów Podlaski), bezwodny tłuszcz mleczny (BTM) (SM Mlekovita, Wysokie Mazowieckie), bezwodny kwaśny fosforan disodowy, kwas cytrynowy, wodorotlenek sodu produkcji (P.P.H. POCH, Gliwice).

Zawartość białka oznaczano metodą Kjeldahla, zawartość wody, popiołu i tłuszczu oznaczano, stosując metody AOAC [1] (tab. 1).

Tabela 1

Skład chemiczny kazeiny kwasowej, stosowanej do otrzymywania analogów serów topionych.
Chemical composition of acid casein used to obtain processed cheese analogues.

Składniki / Ingredients	Zawartość w kazeinie Content in casein [%]
Białko / Protein	85,68
Związki mineralne w postaci popiołu Mineral compounds In the form of ash	1,68
Woda / Water	11,57
Tłuszcz / Fat	1,07

Proces produkcji analogu sera topionego

Sporządzano roztwory kazeiny kwasowej o stężeniu [%]: 12, 14, 16, 18, 20 lub 22 w wodzie destylowanej przez jednogodzinne mieszanie w temperaturze 20 ± 2 °C, przy użyciu mieszadła magnetycznego (Heidolph MR 3002S, Schwabach, Niemcy). Następnie dodawano roztopiony w temp. 45 °C bezwodny tłuszcz mleczny odpowiednio w ilości [%]: 30, 25, 20, 15, 10 lub 5. Mieszaniny umieszczano w pojemniku homogenizatora (H 500 Pol-Eko Aparatura, Wodzisław Śląski). Mieszano przez 2 min przy 10000 obr./min. Następnie dodawano roztworu topnika (2 %), ustalano pH na poziomie 6,2 za pomocą kwasu cytrynowego lub wodorotlenku sodu przy użyciu pH-metru (CP-315, Elmetron, Zabrze) i zanurzano w łaźni wodnej o temp. 80 °C. Całość homogenizowano przez 10 min przy 10000 obr./min. Gotowe analogi serowe wylewano do zlewek w ilości 40 ml. Produkt przetrzymywano w temperaturze 20 ± 2 °C przez 30 min celem ostygnięcia, a następnie przechowywano przez 24 h w temp. 5 °C.

Test przebijania (puncture test)

Pomiarów dokonywano za pomocą teksturometru TA-XT2i (Stable Micro Systems, Surrey, Wielka Brytania). Otrzymane próbki badano za pomocą próbnika cylindrycznego \varnothing 10 mm, przy prędkości przesuwu głowicy 1 mm/s. Uzyskane wyniki (z 3 powtórzeń) rejestrowano komputerowo z wykorzystaniem programu Texture Expert version 1.22. W punktowym badaniu tekstury określano siłę potrzebną do zagłębienia się próbnika na 20 mm.

Profilowa analiza tekstury (TPA)

Pomiarów dokonywano za pomocą teksturometru TA-XT2i (Stable Micro Systems, Surrey, Wielka Brytania). Otrzymane próbki badano za pomocą próbnika cylindrycznego \varnothing 15 mm, przy prędkości przesuwu głowicy 1 mm/s. Uzyskane wyniki (z 6 powtórzeń) rejestrowano komputerowo z wykorzystaniem programu Texture Expert version 1.22. W profilowej analizie tekstury (TPA) określano sprężystość i żujność analogów serów topionych.

Reometria oscylacyjna

Pomiarów dokonywano przy użyciu reometru oscylacyjnego RS 300 (ThermoHaake, Karlsruhe, Niemcy) w układzie płytka – płytka. Badania właściwości lepkość-prężystych analogów serów topionych wykonywano przy częstotliwości 0,1 Hz, przy odkształceniu $\gamma = 0,07$, w zmiennej temp. w zakresie od 30 do 80 °C. Określano zmiany wartości modułu zachowawczego (G'). Wyniki (uzyskane z 3 powtórzeń) rejestrowano komputerowo, wykorzystując program RheoWin Pro (ThermoHaake, Karlsruhe, Niemcy).

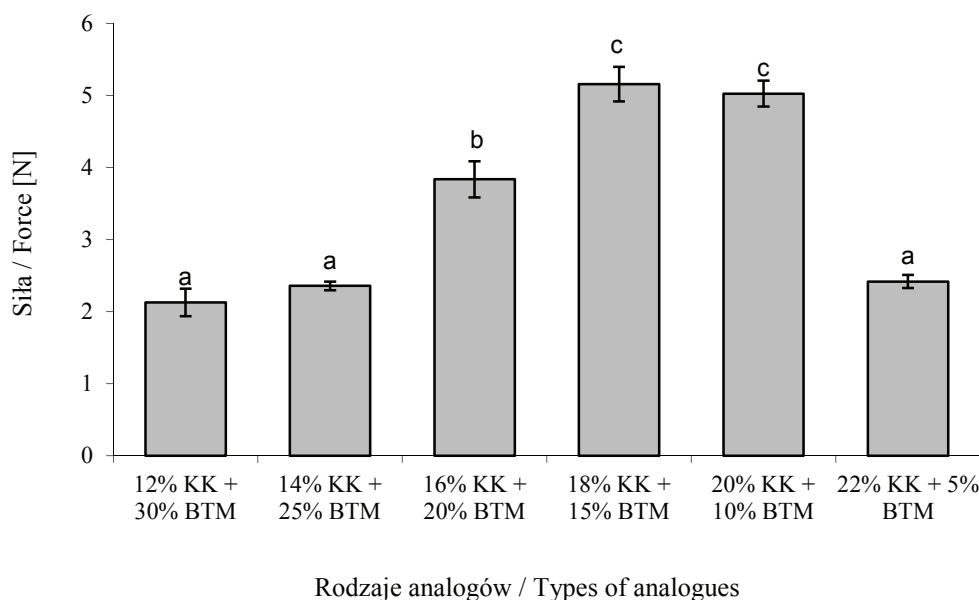
Analiza statystyczna

Otrzymane wyniki poddano analizie statystycznej przy użyciu programu STATISTICA 7.0 PL. W celu określenia wpływu kazeiny kwasowej oraz bezwodnego tłuszczu mlecznego na właściwości reologiczne analogów serów topionych zastosowano dwuczynnikową analizę wariancji (ANOVA), wykorzystując test post-hoc Tukey'a na poziomie istotności $p \leq 0,05$.

Wyniki i dyskusja

Pierwszy etap badań miał na celu ocenę właściwości teksturalnych analogów serów topionych za pomocą testu przebijania (puncture test), w którym określano twardość badanych próbek. Twardość jest siłą niezbędną do osiągnięcia określonej deformacji produktu [23]. Według kryterium twardości produkty żywnościowe można podzielić na miękkie, zwięzłe i twarde [24].

Na rys. 1. przedstawiono zmiany twardości analogów serów topionych w zależności od zawartości w nich kazeiny kwasowej (KK) i bezwodnego tłuszczu mlecznego (BTM). W przypadku badanych analogów wraz ze zwiększaniem zawartości kazeiny w zakresie 12 - 20 % i zmniejszaniem zawartości tłuszczu w zakresie 30 - 10 % zwiększała się ich twardość. Natomiast zastosowanie kazeiny kwasowej w ilości 22 % oraz bezwodnego tłuszczu mlecznego w ilości 5 % spowodowało w konsekwencji znaczne zmniejszenie twardości analogów serów topionych, porównywalnie do próbki pełnotłustej (12 % KK + 30 % BTM). Największą twardością charakteryzowały się analogi serów topionych otrzymane z 18 % KK + 15 % BTM (5,16 N) oraz 20 % KK + 10 % BTM (5,03 N). Oznacza to, że do ich przebicia potrzebna była siła odpowiednio 5,16 N i 5,03 N.



a-d – różnice pomiędzy wartościami średnimi oznaczonymi różnymi literami są statystycznie istotne ($p < 0,05$) / differences among mean values denoted using different letters are statistically significant ($p < 0.05$)

Rys. 1. Wpływ stężenia kazeiny kwasowej (KK) i bezwodnego tłuszczu mlecznego (BTM) na twardość analogów serów topionych.

Fig. 1. Effect of concentration of acid casein (AC) and anhydrous milk fat (AMF) on hardness of processed cheese analogues.

Montesinos-Herrero i wsp. [16] stwierdzili, że zastąpienie oleju palmowego skrobią natywną wpłynęło na zwiększenie twardości analogów (imitacji) serowych. Lobato-Calleros i wsp. [16], w badaniach dotyczących zastosowania pektyny niskometylo-

wanej jako zamiennika oleju sojowego w analogach serowych, także stwierdzili zwiększenie twardości badanych próbek. W badaniach Hennelly i wsp. [8] również wykazano, że zastąpienie oleju palmowego i rzepakowego inuliną spowodowało zwiększenie twardości analogów (imitacji) serowych na bazie kazeiny podpuszczkowej. Kiziloz i wsp. [9], w pracy dotyczącej wpływu skrobi kukurydzianej oraz κ -karagenu na strukturę niskobiałkowych analogów serów topionych na bazie kazeiny podpuszczkowej, stwierdzili zwiększenie ich twardości w miarę zwiększania zawartości skrobi w produkcie. Również Mleko i Lucey [15] dowiedli, że twardość analogów serów topionych na bazie kazeiny podpuszczkowej, otrzymanych tzw. metodą „na zimno”, zwiększała się po dodaniu do nich serwatki o ymniejszonej zawartości laktozy.

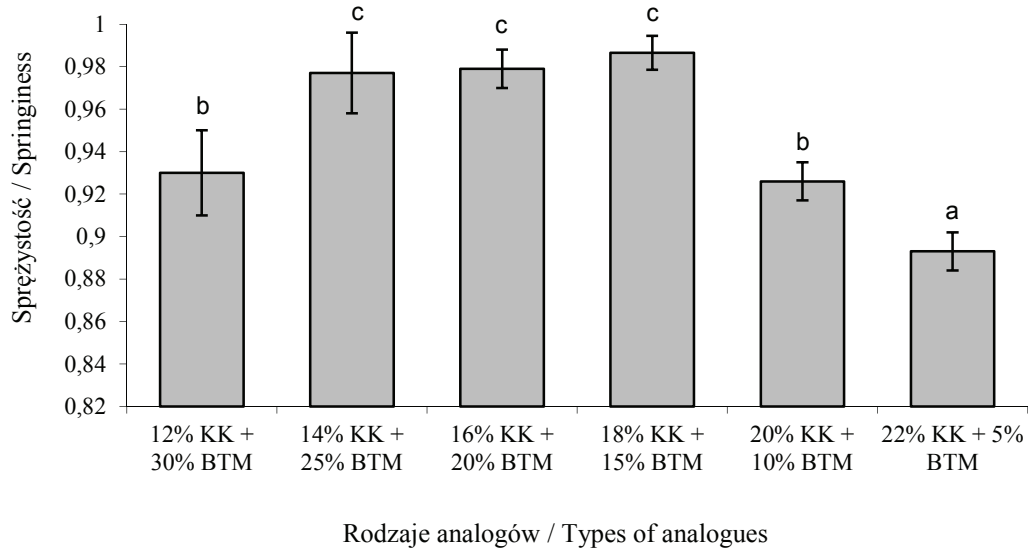
Za pomocą profilowej analizy tekstury (TPA) określano sprężystość i żujność analogów serów topionych. Sprężystość jest to szybkość z jaką zdeformowany produkt powraca do pierwotnej postaci po usunięciu siły deformującej [23]. Według kryterium sprężystości produkty żywnościowe można podzielić na sprężyste albo plastyczne [24].

Wszystkie badane analogi serów topionych charakteryzowały się wysoką sprężystością, z wartościami w granicach od 0,89 do 0,99 (rys. 2). Zastąpienie części tłuszczu w analogach kazeiną kwasową wpływało na zwiększanie ich sprężystości do pewnego stopnia. W próbkach zawierających 20 % KK + 10 % BTM oraz 22 % KK + 5 % BTM stwierdzono zmniejszenie się sprężystości odpowiednio do 0,926 i 0,893.

W badaniach dotyczących wpływu koncentratów białek serwatkowych na teksturę analogów serów topionych Lobato-Calleros i wsp. [13] stwierdzili, że sprężystość badanych próbek zależna była od stopnia adsorpcji białka na powierzchni tłuszczu, a także od stopnia nienasycenia użytego tłuszczu. Natomiast w badaniach własnych dotyczących zastosowania preparatów serwatkowych do produkcji analogów serów topionych na bazie kazeiny kwasowej stwierdzono, że sprężystość nie zależała od zawartości białka w produkcie i była cechą niezależną od twardości czy innych cech tekstury [22].

Żujność jest to energia wymagana podczas żucia do takiego rozdrobnienia produktów stałych, aby nadawały się do połknięcia [23]. Według kryterium żujności produkty żywnościowe można podzielić na kruche, ciągliwe i twarde [24].

Na rys. 3. przedstawiono zmiany żujności analogów serów topionych w zależności od zawartości w nich kazeiny kwasowej (KK) i bezwodnego tłuszczu mlecznego (BTM). W przypadku badanych analogów wraz ze zwiększaniem zawartości kazeiny w zakresie 12 - 20 % i zmniejszaniem zawartości tłuszczu w zakresie 30 - 10 % zwiększała się ich żujność. Natomiast zastosowanie kazeiny kwasowej w ilości 22 % oraz bezwodnego tłuszczu mlecznego w ilości 5 % spowodowało w konsekwencji znaczne zmniejszenie się żujności analogów serów topionych. Największą żujnością charakteryzowały się analogi serów topionych otrzymane z 20 % KK + 10 % BTM (901,33 G) oraz 18 % KK + 15 % BTM (875,44 G).



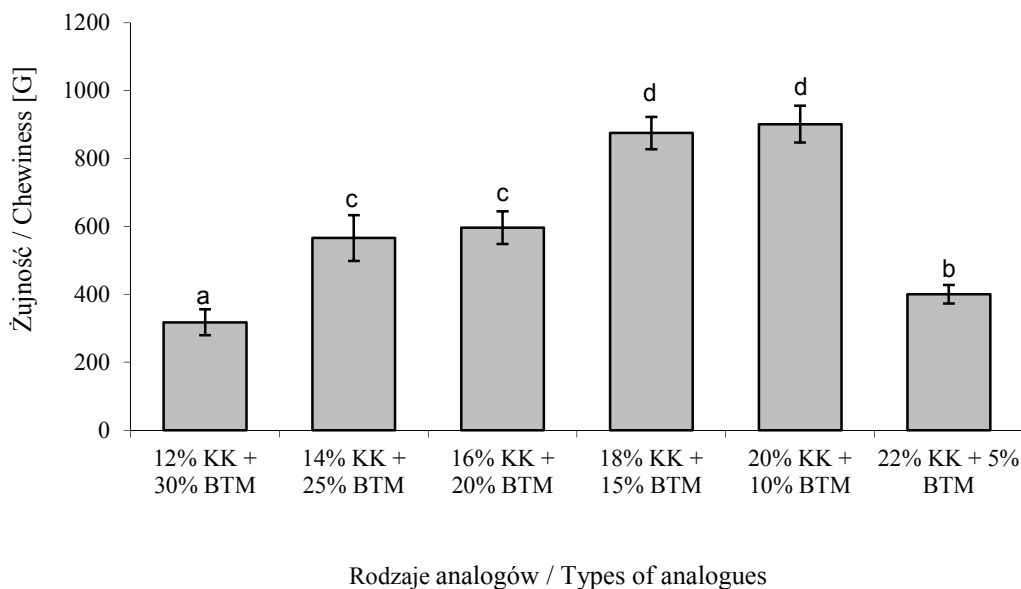
a-c – różnice pomiędzy wartościami średnimi oznaczonymi różnymi literami są statystycznie istotne ($p < 0,05$) / differences among mean values denoted using different letters are statistically significant ($p < 0.05$).

Rys. 2. Wpływ stężenia kazeiny kwasowej (KK) i bezwodnego tłuszczu mlecznego (BTM) na sprężystość analogów serów topionych.

Fig. 2. Effect of concentration of acid casein (AC) and anhydrous milk fat (AMF) on hardness of processed cheese analogues.

Lobato-Calleros i wsp. [12], w badaniach dotyczących zastosowania pektyny niskometylowanej jako zamiennika tłuszczu sojowego w analogach serowych, stwierdzili, że żujność produktu zmniejszała się proporcjonalnie do zawartości zamiennika tłuszczu. Natomiast według Gupty i Reutera [7] żujność analogów serów topionych wzrastała w miarę dodatku koncentratów białek serwatkowych. Potwierdzają to również badania własne [22], dotyczące wpływu dodatku sproszkowanych preparatów serwatkowych na teksturę analogów serów topionych, z których wynika, że konsekwencją zwiększenia zawartości białka w produkcie był wzrost ich żujności. Potwierdzeniem tego jest zwiększanie żujności analogów serów topionych wraz ze zmniejszaniem zawartości wody w końcowym produkcie [25].

W kolejnym etapie badań określono właściwości lepko-sprężyste analogów serów topionych za pomocą reometrii oscylacyjnej.



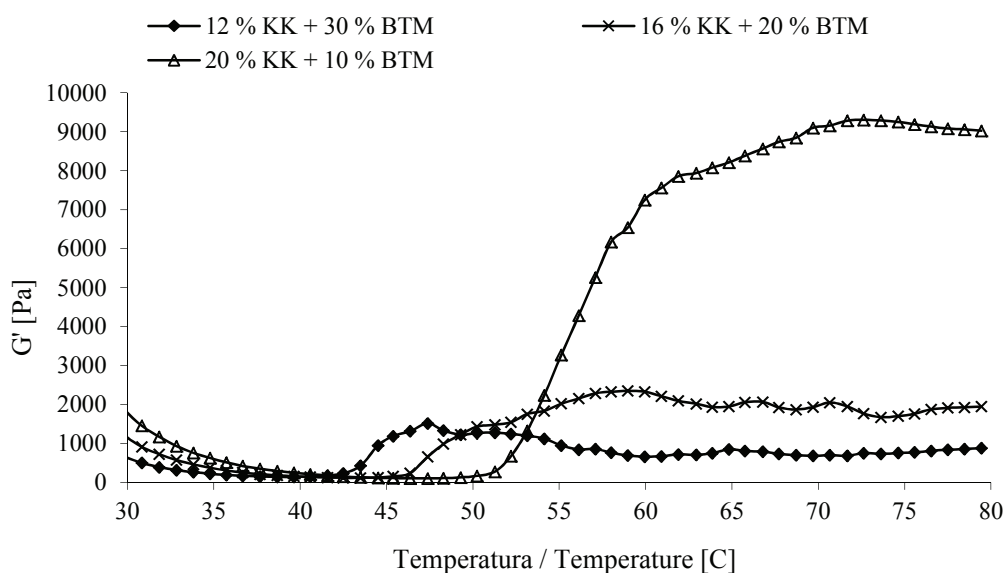
a-d – różnice pomiędzy wartościami średnimi oznaczonymi różnymi literami są statystycznie istotne ($p < 0,05$) / differences among mean values denoted using different letters are statistically significant ($p < 0.05$)

Rys. 3. Wpływ stężenia kazeiny kwasowej (KK) i bezwodnego tłuszczu mlecznego (BTM) na żujność analogów serów topionych.

Fig. 3. Effect of concentration of acid casein (AC) and anhydrous milk fat (AMF) on hardness of processed cheese analogues.

Zmiany modułu zachowawczego (G') analogów serów topionych wraz ze wzrostem temp. od 30 do 80 °C przedstawiono na rys. 4. Ogrzewanie produktów żywnościowych powoduje zmianę proporcji między sprężystością a lepkością. Moduł zachowawczy (G') obrazuje jaka część energii zostaje zachowana przez układ w wyniku odkształcenia sprężystego [19]. W pierwszej fazie ogrzewania wartość modułu zachowawczego zmniejszała się, co wskazywało na osłabienie struktury żelowej badanych analogów i w konsekwencji powstanie układu lepkiego. Znaczny wzrost modułu zachowawczego G' stwierdzono w temp. 40,5 °C w przypadku analogu 12 % KK + 30 % BTM, 43,5 °C – analogu 16 % KK + 20 % BTM i 47,5 °C – analogu 20 % KK + 10 % BTM. W miarę dalszego ogrzewania obserwowano ustabilizowanie się układu w przypadku analogów zawierających 12 % KK + 30 % BTM oraz 16 % KK + 20 % BTM, natomiast odnośnie analogu zawierającego 20 % KK + 10 % BTM stwierdzono gwałtowny wzrost modułu zachowawczego (G'), co wpłynęło na powstanie silnej struktury żelowej.

W badaniach Lopez i wsp. [14] udowodniono, że bezwodny tłuszcz mleczny zawarty w analogach serowych topi się w temp. 40 - 41 °C. Z tego względu roztopiony tłuszcz częściowo wypełnia przestrzeń międzybiałkowe, zaś pozostała jego część zwiększa objętość próbki sera, powodując wzrost wartości modułu G' , co potwierdzają również badania własne [20, 21]. Na podstawie uzyskanych wyników można stwierdzić, że wraz ze zwiększaniem zawartości kazeiny i zmniejszaniem zawartości tłuszczu w produkcji zwiększała się wartość modułu G' , a tym samym zwiększała się sprężystość badanych próbek. Zaobserwowano także wzrost wartości modułu zachowawczego poszczególnych analogów w wyższych wartościach temperatury. Prawdopodobnie wraz ze zwiększaniem się zawartości kazeiny w analogach serów topionych ich struktura stawała się bardziej upakowana (rys. 4).



Rys. 4. Zmiany modułu G' analogów serów topionych przy stałej częstotliwości (0,1 Hz) w zależności od temperatury.

Fig. 4. Temperature-depending changes in the G' modulus of processed cheese analogues at a constant frequency (0.1 Hz).

Hennelly i wsp. [8], w badaniach dotyczących analogów serowych, w których część tłuszczu zastępowano inuliną, stwierdzili, że w początkowym etapie ogrzewania wraz ze wzrostem temperatury macierz sera stawała się mniej gumista. Spowodowane mogło być to słabnącym współdziałaniem białko-białko w sieci kazeinowej, która w wyniku topienia i deformacji kuleczek tłuszczowych mogła być zmiękczone, co powodowało zwiększenie lepkości badanej próbki. W temp. 55 °C stwierdzono wzrost

modułu zachowawczego (G'), co mogło wskazywać na utwardzanie macierzy sera, natomiast analogi zawierające więcej inuliny charakteryzowały się wzrostem wartości modułu G' w wyższej temperaturze. Podczas ogrzewania i topienia sera, inulina mogła wiązać wolną wodę, prowadząc do wzrostu stężenia i w ten sposób opóźniając roztopienie się badanej próbki. Potwierdzają to także badania Montesinos-Herrero i wsp. [16], którzy stwierdzili wzrost wartości modułu zachowawczego (G') w temp. powyżej 55 °C, stosując skrobię natywną jako zamiennik oleju palmowego w analogach (imitacjach) serowych. Również Ye i wsp. [26], w pracy dotyczącej otrzymywania modelowych serów topionych na bazie kazeiny podpuszczkowej z dodatkiem skrobi kukurydzianej, stwierdzili, że nawet małe stężenie skrobi w produkcie powodowało wzrost modułu zachowawczego (G') w temp. powyżej 60 °C. Wzrost modułu G' mógł być spowodowany prawdopodobnie wzrostem poziomu uwodnienia lub żelowania skrobi w tych temperaturach.

Wnioski

1. W przypadku badanych analogów wraz ze zwiększaniem zawartości kazeiny w zakresie 12 - 20 % i zmniejszaniem zawartości tłuszczu w zakresie 30 - 10 % zwiększała się ich twardość oraz żujność. Natomiast zastosowanie kazeiny kwasowej (KK) w ilości 22 % oraz bezwodnego tłuszczu mlecznego (BTM) w ilości 5 % wpłynęło na znaczne zmniejszenie twardości i żujności analogów serów topionych, porównywalnie do próbki pełnotłustej (12 % KK + 30 % BTM).
2. Wszystkie badane analogi serów topionych charakteryzowały się dużą sprężystością.
3. Wraz ze zwiększaniem zawartości kazeiny i zmniejszaniem zawartości tłuszczu w produkcie zwiększała się wartość modułu zachowawczego (G') podczas topienia analogów sera.
4. Zmiany proporcji kazeiny oraz bezwodnego tłuszczu mlecznego miały wpływ na teksturę i właściwości reologiczne analogów serów topionych.

Literatura

- [1] Association of Official Analytical Chemists (AOAC). Official Methods of Analysis (14th Ed.). Arlington, VA, 1984.
- [2] Barłowska J., Litwińczuk A.: Właściwości funkcjonalne białek mleka krowiego. *Przegl. Hod.*, 2008, **5**, 26-28.
- [3] Berlitz H.O., Grosh W.: Food chemistry. Springer Verlag Berlin/Heidelberg 1999.
- [4] Cichosz G.: Technologia serów topionych. Oficyna Wyd. „Hoża”, Warszawa 2000.
- [5] Durand R.: Kazeina przed snem zwiększa masę mięśniową. *Muscular Development*, 2010, **3**, 38.
- [6] Gawęcki J. (red.) : Białka w żywności i żywieniu. Wyd. AR, Poznań 2003.
- [7] Gupta V.K., Reuter H.: Processed cheese foods with added whey protein concentrates. *Lait*, 1992, **72**, 201-212.

- [8] Hennelly P.J., Dunne P.G., O'Sullivan M., O'Riordan E.D.: Textural, rheological and microstructural properties of imitation cheese containing inulin. *J. Food Eng.*, 2006, **75**, 388-395.
- [9] Kiziloz M.B., Cumhur O., Kilic M.: Development of the structure of an imitation cheese with low protein content. *Food Hydrocoll.*, 2009, **23**, 1596-1601.
- [10] Kuczyńska B. Właściwości prozdrowotne składników frakcji białkowej mleka krowiego. *Przegl. Hod.*, 2008, **11**, 8-12.
- [11] Kycia K.: Czynniki kształtujące teksturę serów topionych. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2008, **3 (58)**, 5-17.
- [12] Lobato-Calleros C., Vernon-Carter E.J., Sanchez-Garcia J., Garcia-Galindo H.S.: Textural characteristics of cheese analogs incorporating fat replacers. *J. Texture Stud.*, 1999, **30**, 533-548.
- [13] Lobato-Calleros C., Vernon-Carter E.J., Guerrero-Legarreta I., Soriano-Santos J., Escalona-Beundia H.: Use of fat blends in cheese analogs: Influence on sensory and instrumental textural characteristics. *J. Texture Stud.*, 1997, **28**, 619-632.
- [14] Lopez C., Lavigne F., Lesieur P., Keller G., Ollivon M.: Thermal and structural behavior of anhydrous milk fat. 2. Crystalline forms obtained by slow cooling. *J. Dairy Sci.*, 2001, **84**, 2402-2412.
- [15] Mleko S., Lucey J.A.: Production and properties of processed cheese with reduced lactose whey, *Milchwissenschaft*, 2003, **58**, 9-10.
- [16] Montesinos-Herrero C., Cotel D.C., O'Riordan E.D., O'Sullivan M.: Partial replacement of fat by functional fibre in imitation cheese: Effects on rheology and microstructure. *Int. Dairy J.*, 2006, **16**, 910-919.
- [17] Nastaj M.: Czym jest mleko? *Kulturystyka i Fitness*, 2009, **4**, 122-125.
- [18] Oziemkowski P., Pikul J.: Zastosowanie białek mleka w przemyśle spożywczym. W: Surowce, technologia i dodatki a jakość żywności. Red. J. Czapski. Wyd. AR, Poznań 1999.
- [19] Schramm G.: Reologia. Podstawy i zastosowania. Ośrodek Wyd. Nauk. PAN, Poznań 1998.
- [20] Sołowiej B., Gustaw W., Nastaj M.: Wpływ dodatku koncentratów białek serwatkowych na właściwości reologiczne analogów serów topionych. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2008, **5 (60)**, 226-234.
- [21] Sołowiej B., Mleko S., Gustaw W.: Physicochemical properties of acid casein processed cheese analogs obtained with different whey products. *Milchwissenschaft*, 2008, **63**, 299-302.
- [22] Sołowiej B.: Analiza tekstury analogów serów topionych z dodatkiem preparatów serwatkowych. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2007, **5 (54)**, 292-300.
- [23] Surówka K.: Tekstura żywności i metody jej badania. *Przem. Spoż.* 2002, **10**, 12-17.
- [24] Surmacka-Szcześniak A.: Texture is a sensory property. *Food Qual. Prefer.*, 2002, **13**, 215-225.
- [25] Thapa T.B., Gupta V.K.: Rheology of processed cheese foods with added whey protein concentrates. *Indian J. Dairy Sci.*, 1992, **45**, 88-92.
- [26] Ye A., Hewitt S., Taylor S.: Characteristics of rennet-casein-based model processed cheese containing maize starch: Rheological properties, meltabilities and microstructures. *Food Hydrocoll.*, 2009, **23**, 1220-1227.

EVALUATION OF RHEOLOGICAL PROPERTIES OF REDUCED-FAT PROCESSED CHEESE ANALOGUES

S u m m a r y

The objective of this study was to evaluate the rheological properties of reduced-fat processed cheese analogues. Fat in the cheese analogues was partially replaced with acid casein in order to obtain a high

protein product designed primarily for people wanting to lose their weight, as well as for physically active people. The texture of cheese analogues was analysed using a TA-XT2i Texture Analyser. To analyse the hardness of processed cheese analogues, there was applied a 10 mm dia cylindrical sampler (penetration rate: 1 mm/s; constant temperature of 21 °C). The Textural Profile Analysis (TPA) to analyse springiness and chewiness of processed cheese analogues was carried out using a 15 mm cylindrical sampler (penetration rate: 1 mm/s; constant temperature of 21 °C). The analysis of viscoelastic properties of the processed cheese analogues was performed using a plate - plate arrangement system at a temperature varying from 30 to 80 °C, and a RS 300 oscillatory rheometer. Changes in the storage modulus (G') were determined. In the case of the cheese analogues studied, along with the increase in the acid casein concentration ranging from 12 to 20 % and the decrease in the fat content from 30 to 10 %, the hardness and chewiness of the cheese analogues increased. However, where the acid casein (AC) in an amount of 22% and the anhydrous milk fat (AMF) in an amount of 5 % were applied, the hardness and chewiness of the processed cheese analogues significantly decreased to a level that could be compared with that of a full-fat sample (12 % of AC + 30 % of AMF). All the tested processed cheese analogues were characterized by a high springiness value. With the increasing content of casein and the decreasing fat content in the product, the value of storage modulus (G') increased while the cheese analogues studied melted. Changes in the ratios of casein and anhydrous milk fat affected the texture and rheological properties of the processed cheese analogues.

Key words: processed cheese analogues, acid casein, anhydrous milk fat, rheology, meltability 