

**Krzysztof Siemianowski, Anna Lis, Krzysztof Bohdziewicz,
Jerzy Szpendowski**

Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie
e-mail: krzysztof.siemianowski@uwm.edu.pl

PORÓWNANIE WYBRANYCH CECH TEKSTURY SKRZEPU KWASOWEGO OTRZYMANEGO Z MLEKA PASTERYZOWANEGO I MLEKA MIKROFILTROWANEGO*

SELECTED TEXTURE PARAMETERS OF ACID CURDS OBTAINED FROM PASTEURIZED MILK AND MICROFILTERED MILK – A COMPARATIVE ANALYSIS

DOI: 10.15611/nit.2015.3.05

JEL Classification: Q19

Streszczenie: Celem badań było porównanie skrzepów kwasowych z mleka pasteryzowanego i mleka mikrofiltrowanego pod względem cech tekstury. W doświadczeniu mleko odtłuszczone podzielono na dwie równe partie. Pierwszą partię mleka poddano pasteryzacji w temp. 75°C w czasie 30 sekund i wychładzano do temp. 4°C, natomiast drugą poddano mikrofiltracji w temp. 50°C w module wyposażonym w ceramiczną membranę o granicy rozdziału 1,4 µm i wychładzano do temp. 4°C. Mleko pasteryzowane i mleko mikrofiltrowane zaprawiano kulturą startową G 600 i inkubowano w cieplarni w temp. 28°C do chwili osiągnięcia pH 4,50-4,60 celem koagulacji. W mleku pasteryzowanym i mleku mikrofiltrowanym oznaczono zawartość suchej masy, białka ogółem, laktozy, tłuszczu, popiołu oraz dokonano pomiaru pH. W badaniach tekstury skrzepów kwasowych mierzono ich twardość, konsystencję, spoistość oraz indeks lepkości. Dokonano również pomiaru pH skrzepów doświadczalnych. Stwierdzono, że mleko pasteryzowane w porównaniu z mlekiem mikrofiltrowanym wykazywało istotnie większą kwasowość czynną oraz zawartość suchej masy, białka ogółem, laktozy i popiołu. Doświadczalne skrzepy kwasowe uzyskane z mleka pasteryzowanego w porównaniu ze skrzepami kwasowymi otrzymanymi z mleka mikrofiltrowanego wykazywały istotnie większe wartości określające twardość, konsystencję, spoistość i indeks lepkości oraz nie różniły się istotnie pod względem pH. Istotnie większe wartości określające twardość, konsystencję, spoistość i indeks lepkości skrzepu kwasowego z mleka pasteryzowanego w stosunku do

* Pracę zrealizowano w ramach tematu statutowego pt. „Zmiany jakości i bezpieczeństwo żywności w procesach jej przetwarzania, pakowania i przechowywania” nr 17.610.002-300, realizowanego w Uniwersytecie Warmińsko-Mazurskim w Olsztynie.

skrzepu kwasowego z mleka mikrofiltrowanego mogą być efektem większej zawartości białka oraz w pewnym stopniu interakcji zdenaturowanych białek serwatkowych z kazeiną indukowanych ogrzewaniem w czasie pasteryzacji.

Słowa kluczowe: pasteryzacja, mikrofiltracja (MF), skrzep kwasowy, tekstura.

Summary: The aim of this study was to compare the texture parameters of acid curds obtained from pasteurized milk and microfiltered milk. In the experiment, skim milk was divided into two equal portions. The first portion was pasteurized at 75°C for 30 seconds and then cooled to 4°C. The second portion was microfiltered at 50°C in a module equipped with a ceramic membrane with a pore size of 1.4 μm, and then cooled to 4°C. Pasteurized milk and microfiltered milk was inoculated by starter culture G 600 and incubated at 28°C until coagulation occurred at pH of 4.50-4.60. The content of dry matter, total protein, lactose, fat and ash, and pH were determined in pasteurized milk and microfiltered milk. The firmness, consistency, cohesiveness and index of viscosity of acid curds were measured to determine their texture. The pH of experimental curds was also measured. pH and the content of dry matter, total protein, lactose and ash were significantly higher in pasteurized milk than in microfiltered milk. Acid curds obtained from pasteurized milk were characterized by significantly higher values of firmness, consistency, cohesiveness and index of viscosity, in comparison with acid curds obtained from microfiltered milk. No significant differences in active acidity were found between experimental curds. This could result from a higher protein content and, to a certain extent, from the interaction between denatured whey proteins and casein, induced by heating during pasteurization.

Keywords: pasteurization, microfiltration (MF), acid curd, texture.

1. Wstęp

Koagulacja kwasowa mleka stanowi kluczowy etap w produkcji serów twarogowych kwasowych oraz mlecznych napojów fermentowanych. W technologii produktów z mleka ukwaszonego koagulacja kwasowa osiągnięta jest na drodze rozwoju bakterii fermentacji mlekowej wprowadzonych w postaci kultur startowych. Efektem ukwaszania mleka jest wzrost jego kwasowości. Po osiągnięciu pH 4,6, odpowiadającego punktowi izoelektrycznemu kazeiny jej zewnętrzny ładunek elektryczny jest równy zeru. W takich warunkach micelle kazeinowe tracą zdolność wiązania wody, i tym samym ochronną powłokę hydratacyjną, w konsekwencji czego ulegają agregacji. Powstaje wtedy żel białkowy, nazywany w praktyce mleczarskiej skrzepem, który w wolnych przestrzeniach uporządkowanej struktury sieciowej zamyka pozostałe składniki mleka [Lucey 2004].

Jakość i trwałość produktów mleczarskich zależą w dużym stopniu od jakości mikrobiologicznej przerabianego mleka. W technologii produktów mleczarskich, w której jednym z etapów produkcji jest ukwaszanie, jakość mikrobiologiczna mleka wywiera duży wpływ na prawidłowy rozwój mikroflory technicznej, a tym samym na przebieg fermentacji mlekowej i właściwości powstałego skrzepu. W celu zapewnienia odpowiedniej czystości mikrobiologicznej mleko przerabiane w zakła-

dach mleczarskich poddawane jest pasteryzacji [Skrzypek i in. 2002]. Ogrzewanie mleka w wysokiej temperaturze przed ukwaszaniem powoduje denaturację i agregację białek serwatkowych oraz indukuje ich interakcje z kazeiną, co jest przyczyną zmniejszenia podatności skrzepu na synerżę [Vasbinder i in. 2003]. Parametry tekstury kwasowego skrzepu mleka są szczególnie ważne w technologii serów twarogowych, gdyż determinują przebieg jego obróbki, która obejmuje krojenie, mieszanie i ogrzewanie celem osuszenia.

Obróbka mleka w wysokiej temperaturze powoduje niekorzystne zmiany i straty składników odżywczych, pogarsza smak, zapach i barwę oraz niektóre jego właściwości technologiczne. Dlatego też poszukuje się alternatywnych nietermicznych metod zapewniających odpowiednią jakość mikrobiologiczną mleka przy maksymalnym zachowaniu jego właściwości odżywczych i sensorycznych [Dudzińska i in. 2014]. Wyniki prac badawczych wskazują, że w przypadku mleka odtłuszczonego dobrą alternatywą dla pasteryzacji może być proces mikrofiltracji (MF) [Skrzypek i in. 2002; Fritsch, Moraru 2008; Debon i in. 2012; Silva i in. 2012]. Mikrofiltracja jest techniką, w której do separacji składników płynu wykorzystywane są membrany o średnicy porów od 0,1 do 10 μm . Do usuwania drobnoustrojów z mleka odtłuszczonego w mikrofiltracji stosowane są membrany o średnicy porów 1,4 μm , a proces prowadzony jest w temp. 35-50°C [Saboya, Maubois 2000].

Celem przeprowadzonych badań było porównanie skrzepów kwasowych uzyskanych z mleka pasteryzowanego oraz mikrofiltrowanego pod względem wybranych cech tekstury.

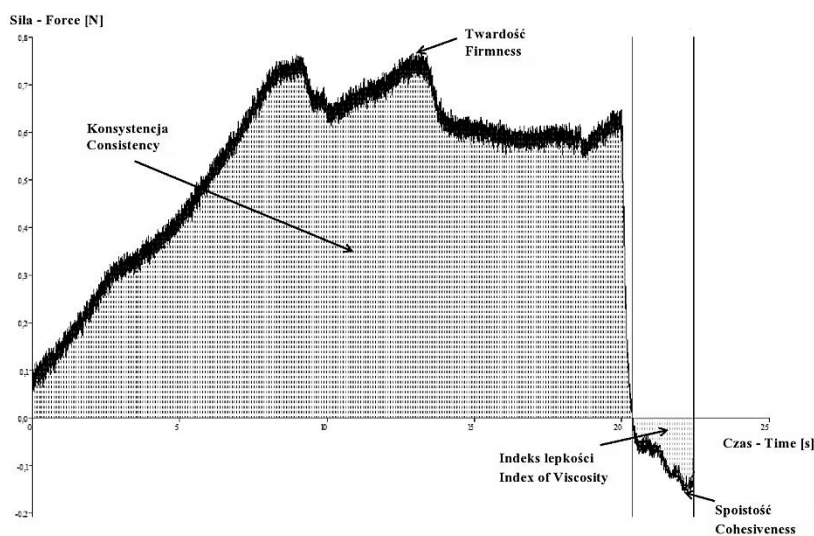
2. Materiał i metodyka badań

W przeprowadzonym doświadczeniu wykorzystywano mleko krowie pochodzące z gospodarstwa Stacji Dydaktyczno-Badawczej w Bałdach, należącej do Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie. Mleko surowe poddawano obróbce wykorzystując urządzenia pilotowe hali technologicznej Katedry Mleczarstwa i Zarządzania Jakością Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie. Mleko surowe podgrzane do temp. 45°C odtłuszczano przy użyciu wirówki LWG 20 (Spomasz, Gniezno, Polska), a uzyskane mleko odtłuszczone w ilości 150 dm³ podzielono na dwie partie po 75 dm³. Pierwszą partię mleka odtłuszczonego poddano pasteryzacji w temp. 75°C w czasie 30 sekund i ochłodzono do temp. 4°C w wielosekcyjnym płytowym wymienniku ciepła (GEA Ecoflex, Sarstedt, Niemcy) wchodzącym w skład układu do obróbki mleka (Obram, Olsztyn, Polska). Drugą partię mleka odtłuszczonego podgrzano do temp. 50°C i poddano mikrofiltracji w module (Obram, Olsztyn, Polska) wyposażonym w ceramiczną membranę o granicy rozdziału 1,4 μm Isoflux (Tami Industries, Nyons, Francja), a następnie wychłodzono do 4°C. Mleko pasteryzowane oraz mleko mikrofiltrowane podgrzano do temp. 28°C i zaprawiono kulturą startową G 600 (CSK Food Enrichment, Toruń, Polska) w sposób zgodny z zaleceniami producenta. Kultura G 600 jest skoncentrowaną szczepionką w postaci głęboko

mrożonego granulatu, w skład której wchodzi szczep *Lactococcus lactis* subsp. *lactis*, *Lactococcus lactis* subsp. *cremoris*, *Lactococcus lactis* subsp. *lactis* var *diacetylactis* oraz *Leuconostoc* spec., i jest przeznaczona do bezpośredniego zaszczepiania mleka przy produkcji mlecznych produktów fermentowanych i twarogu. Zaprawione mleka nalewano do szklanych zlewek o pojemności 250 cm³ i inkubowano w ciepłarni w temp. 28°C do chwili osiągnięcia pH 4,50-4,60 celem koagulacji.

W mleku pasteryzowanym oraz mleku mikrofiltrowanym oznaczono zawartość: suchej masy metodą suszenia w temp. 102°C, laktozy metodą Bertranda, tłuszczu metodą butyrometryczną, popiołu metodą spalania w piecu komorowym w temp. 550°C [PN-68-A-86122:1968; Krełowska-Kułas 1993], białka ogółem metodą makro [PN-EN ISO 8968-2:2004] oraz mierzono kwasowość czynną przy użyciu pH-metru CPC-505 (Elmetron, Zabrze, Polska) wyposażonego w elektrodę JnLab® Solids pH (Mettler Toledo, USA) po uprzedniej kalibracji na buforze o pH 4,0 oraz 7,0 (Merck). Kwasowość czynną mierzono również w badanych skrzepach kwasowych mleka. Oznaczenia składu chemicznego oraz pomiary pH wykonano w trzech powtórzeniach.

Pomiarów parametrów tekstury badanych skrzepów kwasowych dokonywano z wykorzystaniem teksturometru TEXTURE ANALYSER TA.XT plus (Stable Micro Systems, Wielka Brytania). Zlewkę ze skrzepem umieszczano centralnie pod trzpieniem pomiarowym urządzenia z końcówką w kształcie płaskiego krążka



Rys. 1. Przykładowa krzywa pomiarowa
Fig. 1. Measurement curve

Źródło: opracowanie własne.
Source: own study.

o średnicy 40 mm (typ A/BE), który penetrował skrzep na głębokość 20 mm z prędkością $1 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$ przy stałej sile nacisku (0,098 N), a następnie wracał do pozycji wyjściowej z prędkością $10 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$. Na podstawie otrzymanych krzywych pomiarowych wyznaczono następujące parametry tekstury badanych skrzepów kwasowych: twardość, konsystencję, spoistość i indeks lepkości. Przykładową krzywą pomiarową obrazuje rys. 1.

Twardości odpowiadała maksymalna siła nacisku końcówki pomiarowej na badaną próbkę, a spoistości wartość maksymalnej siły niezbędnej do pokonania oporu próbki w czasie powrotu końcówki pomiarowej do pozycji wyjściowej. Konsystencję wyznaczało pole powierzchni pod krzywą zmian siły nacisku w czasie, natomiast indeks lepkości odpowiadał polu powierzchni ograniczonej krzywą zmian siły niezbędnej na pokonanie oporu próbki w czasie. Uzyskane wartości określające spoistość i indeks lepkości badanych skrzepów były ujemne, co wynikało z kierunku działania trzpienia pomiarowego. W analizie wyników brano były pod uwagę wartości bezwzględne wymienionych cech tekstury. Pomiaru tekstury wykonano w sześciu powtórzeniach.

Uzyskane wyniki opracowano statystycznie przy użyciu programu Statistica 12 (StatSoft). Obliczono wartości średnie i odchylenia standardowe. Do analizy wyników zastosowano test HSD Tukeya. Istotność różnic badano na poziomie $p = 0,05$.

3. Omówienie i dyskusja wyników

Kwasowość czynną oraz podstawowy skład chemiczny wykorzystywanego w przeprowadzonym doświadczeniu mleka pasteryzowanego i mleka mikrofiltrowanego zestawiono w tab. 1.

Tabela 1. Kwasowość czynna oraz skład chemiczny mleka pasteryzowanego i mleka mikrofiltrowanego
Table 1. Active acidity and chemical composition of pasteurized milk and microfiltered milk

Mleko/ Milk	Kwasowość czynna/ Active acidity [pH]	Sucha masa/ Dry matter [%]	Białko ogółem/ Total protein [%]	Laktoza Hydrat/ Lactose hydrate [%]	Tłuszcz/ Fat [%]	Popiół/ Ash [%]
Pasteryzowane/ Pasteurized	6,75 ^a ±0,00	9,29 ^b ±0,02	3,76 ^b ±0,01	4,87 ^b ±0,04	<0,02	0,74 ^b ±0,01
Mikrofiltrowane/ Microfiltered	6,76 ^b ±0,00	8,56 ^a ±0,04	3,27 ^a ±0,03	4,67 ^a ±0,03	<0,02	0,69 ^a ±0,00

Wartość średnia ± odchylenie standardowe ($n = 3$); wartości średnie oznaczone w tej samej kolumnie różnymi literami różnią się statystycznie istotnie przy $p = 0,05$.

Mean value ± standard deviation ($n = 3$); mean values designated with different letters and placed in the same column differ statistically significantly at $p = 0.05$.

Źródło: opracowanie własne.
Source: own study.

Między mlekiem pasteryzowanym i mlekiem mikrofiltrowanym wykazano statystycznie istotne (przy $p = 0,05$) różnice w kwasowości czynnej, która wynosiła średnio $\text{pH} = 6,75$ w przypadku mleka pasteryzowanego oraz $\text{pH} = 6,76$ dla mleka mikrofiltrowanego. Analizując podstawowy skład chemiczny, wykazano, że mleko pasteryzowane w porównaniu z mlekiem mikrofiltrowanym zawierało średnio statystycznie istotnie (przy $p = 0,05$) więcej suchej masy (9,29% wobec 8,56%), białka ogółem (3,76% wobec 3,27%), laktozy (4,87% wobec 4,67%) oraz popiołu (0,74% wobec 0,69%). Zawartość tłuszczu w mleku pasteryzowanym oraz mleku mikrofiltrowanym wynosiła poniżej 0,02%.

W badaniach Debon i in. [2012] wykazano, że proces mikrofiltracji powodował statystycznie istotny spadek zawartości suchej masy, białka i tłuszczu oraz statystycznie nieistotne zmniejszenie zawartości węglowodanów i popiołu w mleku odłuszczone. Mniejsza zawartość suchej masy oraz składających się na jej zawartość komponentów, takich jak białko ogółem, laktoza i popiół, w mleku mikrofiltrowanym w stosunku do mleka pasteryzowanego może być skutkiem niekorzystnych procesów zachodzących w czasie mikrofiltracji mleka. Podczas mikrofiltracji białka kazeinowe osadzają się w porach i na powierzchni membrany. Warstwy powstające na skutek polaryzacji stężeniowej i zarastania membrany stawiają opór dla strumienia mleka i poza spadkiem wydajności permeacji mogą również zmieniać charakterystykę rozdzielczą procesu [Brans i in. 2004; Debon i in. 2012]. Konsekwencją tego może być istotne zmniejszenie zawartości niektórych składników w mleku odłuszczone podczas procesu mikrofiltracji.

Kwasowość czynną oraz wyznaczone parametry tekstury skrzepów kwasowych otrzymanych z mleka pasteryzowanego i mleka mikrofiltrowanego w przeprowadzonym doświadczeniu zestawiono w tab. 2.

Między badanymi skrzepami kwasowymi nie stwierdzono statystycznie istotnych (przy $p = 0,05$) różnic w kwasowości czynnej, która wynosiła średnio $\text{pH} = 4,54$ w przypadku skrzepów z mleka pasteryzowanego oraz $\text{pH} = 4,57$ dla skrzepów z mleka mikrofiltrowanego.

W badaniach tekstury doświadczalnych skrzepów kwasowych z mleka pasteryzowanego i mleka mikrofiltrowanego analizowano ich twardość, konsystencję, spoistość i indeks lepkości. Twardość wyraża siłę jaką należy przyłożyć do produktu, aby uzyskać jego określoną deformację. Konsystencja określa stopień twardości (zwartości), gęstości lub lepkości produktu albo jego składnika. Spoistość określa stopień do jakiego można odkształcić daną substancję, ale jej nie złamać. Cecha ta wyraża wielkość wiązań sił wewnętrznych utrzymujących daną substancję jako całość. Lepkość charakteryzuje płynność produktu pod wpływem przyłożonej siły [Surońka 2002; Baryłko-Pikielna, Matuszewska 2009]. Pod względem analizowanych parametrów tekstury wykazano statystycznie istotne (przy $p = 0,05$) różnice między badanymi skrzepami kwasowymi z mleka pasteryzowanego oraz mleka mikrofiltrowanego. Skrzepy otrzymane z mleka pasteryzowanego w stosunku do skrzepów

Tabela 2. Kwasowość czynna oraz parametry tekstury skrzepu kwasowego otrzymanego z mleka pasteryzowanego i mleka mikrofiltrowanego

Table 2. Active acidity and texture parameters of acid curds obtained from pasteurized milk and microfiltered milk

Skrzep Kwasowy/ Acid curd	Kwasowość czynna/ Active acidity [pH]	Twardość/ Firmness [N]	Konsystencja/ Consistency [N·s]	Spoistość/ Cohesiveness [N]	Indeks lepkości/ Index of viscosity [N·s]
Z mleka Pasteryzowanego/ From pasteurized milk	4,54 ^a ±0,03	0,95 ^b ±0,05	13,46 ^b ±0,70	0,23 ^b ±0,03	0,26 ^b ±0,04
Z mleka Mikrofiltrowanego/ From microfiltered milk	4,57 ^a ±0,03	0,78 ^a ±0,08	10,92 ^a ±0,82	0,17 ^a ±0,01	0,16 ^a ±0,03

Wartość średnia ± odchylenie standardowe ($n = 6$); wartości średnie oznaczone w tej samej kolumnie różnymi literami różnią się statystycznie istotnie przy $p = 0,05$.

Mean value ± standard deviation ($n = 6$); mean values designated with different letters and placed in the same column differ statistically significantly at $p = 0.05$.

Źródło: opracowanie własne.
Source: own study.

z mleka mikrofiltrowanego charakteryzowały się większymi średnimi wartościami określającymi twardość (0,95 N wobec 0,78 N), konsystencję (13,46 N·s wobec 10,92 N·s), spoistość (0,23 N wobec 0,17 N) oraz indeks lepkości (0,26 N·s wobec 0,16 N·s).

Według Vasbinder i in. [2003] przyczyną większej twardości skrzepu kwasowego uzyskanego z mleka pasteryzowanego jest denaturacja białek serwatkowych i tworzenie ich połączeń z kazeiną, przez co skrzep wykazuje również słabszą podatność na synerzę. Lucey [2004] twierdzi, że wzrost zawartości kazeiny w mleku prowadzi do zwiększenia twardości i lepkości skrzepu kwasowego. Podobny wpływ zawartości białka na parametry tekstury jogurtów z mleka koziego stwierdzili Domała i Wszolek [2008].

W związku z tym istotnie większe wartości określające twardość, konsystencję, spoistość i indeks lepkości skrzepu kwasowego z mleka pasteryzowanego w porównaniu ze skrzepem kwasowym z mleka mikrofiltrowanego można tłumaczyć większą zawartością białka oraz w pewnym stopniu interakcjami zdenaturowanych białek serwatkowych z kazeiną indukowanymi ogrzewaniem w czasie pasteryzacji.

4. Podsumowanie

Mleko pasteryzowane w porównaniu z mlekiem mikrofiltrowanego wykazywało istotnie większą kwasowość czynną oraz zawartość suchej masy, białka ogółem, laktozy i popiołu. Skrzepy kwasowe z mleka pasteryzowanego w porównaniu ze skrzepami kwasowymi z mleka mikrofiltrowanego wykazywały istotnie większe wartości określające twardość, konsystencję, spoistość i indeks lepkości oraz nie różniły się istotnie pod względem kwasowości czynnej. Istotnie większe wartości określające twardość, konsystencję, spoistość i indeks lepkości skrzepu kwasowego z mleka pasteryzowanego w porównaniu ze skrzepem kwasowym z mleka mikrofiltrowanego mogą być efektem większej zawartości białka oraz w pewnym stopniu interakcji zdenaturowanych białek serwatkowych z kazeiną indukowanych ogrzewaniem w czasie pasteryzacji.

Literatura

- Baryłko-Pikielna N., Matuszewska I., 2009, *Sensoryczne badania żywności. Podstawy. Metody. Zastosowania*, Wydawnictwo Naukowe PTTŻ, Kraków.
- Brans G., Schroën C.G.P.H., van der Sman R.G.M., Boom R.M., 2004, *Membrane fractionation of milk: State of the art and challenges*, J. Membrane Sci., 243(1-2), s. 263-272.
- Debon J., Prudêncio E.S., Petrus J.C.C., Fritzen-Freire C.B., Müller C.M.O., Amboni R.D.M.C., Vieira C.R.W., 2012, *Storage stability of prebiotic fermented milk obtained from permeate resulting of the microfiltration process*, LWT - Food Sci. Technol., 47(1), s. 96-102.
- Domagała J., Wszolek M., 2008, *Wpływ sposobu zagęszczania oraz rodzaju szczepionki na teksturę i podatność na synerезę jogurtu i biojogurtów z mleka koziego*, Żywność. Nauka. Technologia. Jakość, 6(61), s. 118-126.
- Dudzińska A., Domagała J., Wszolek M., 2014, *Wpływ wysokiego ciśnienia hydrostatycznego na podstawowe składniki mleka*, Żywność. Nauka. Technologia. Jakość, 2(93), s. 19-32.
- Fritsch J., Moraru C.I., 2008, *Development and optimization of a carbon dioxide-aided cold microfiltration process for the physical removal of microorganisms and somatic cells from skim milk*, J. Dairy Sci., 91(10), s. 3744-3760.
- Krelowska-Kułas M., 1993, *Badanie jakości produktów spożywczych*, PWE, Warszawa.
- Lucey J.A., 2004, *Cultured dairy products: An overview of their gelation and texture properties*, Int. J. Dairy Technol., 57(2/3), s. 77-84.
- PN-EN ISO 8968-2: 2004, *Mleko. Oznaczanie zawartości azotu. Część 2: Metoda z zastosowaniem bloku do mineralizacji (Metoda makro)*.
- PN-68-A-86122: 1968. *Mleko. Metody badań*.
- Saboya L., Maubois J.-L., 2000, *Current developments of microfiltration technology in the dairy industry*, Lait, 80(6), s. 41-553.
- Silva R.C.S.N., Vasconcelos C.M., Suda J.Y., Minim V.P.R., Pires A.C.S., Carvalho A.F., 2012, *Acceptance of microfiltered milk by consumers aged from 7 to 70 years*, Rev. Inst. Adolfo. Lutz., 71(3), s. 481-487.
- Skrzypek J., Cais-Sokolińska D., Pikul J., Skrzypek M., 2002, *Jakość mikrobiologiczna mleka poddanego procesowi mikrofiltracji i pasteryzacji*, Przegl. Mlecz., 5, s. 229-233.
- Surówka K., 2002, *Tekstura żywności i metody jej badania*, Przem. Spoż., 10, s. 12-17.
- Vasbinder A.J., Alting A.C., Visschers R.W., de Kruif C.G., 2003, *Texture of acid milk gels: Formation of disulfide cross-links during acidification*, Int. Dairy J., 13(1), s. 29-38.