

KRZYSZTOF SIEMIANOWSKI, JERZY SZPENDOWSKI

METODY WŁĄCZANIA BIAŁEK SERWATKOWYCH W TECHNOLOGII NIEDOJRZEWAJĄCYCH KWASOWYCH SERÓW TWAROGOWYCH

Streszczenie

Kwasowe sery twarogowe otrzymywane metodami tradycyjnymi zawierają niemal wyłącznie białka kazeinowe, natomiast cenne odżywczo białka serwatkowe są usuwane z serwatką w czasie produkcji, czyli tracone. Opracowano kilka rozwiązań pozwalających na włączanie białek serwatkowych do produktu, przydatnych w technologii kwasowych serów twarogowych. Praktyczne znaczenie dla przemysłu mleczarskiego mają metody: wapniowo-termiczna, z zastosowaniem procesu ultrafiltracji (UF), z dodatkiem koncentratu partykułowanych białek serwatkowych (PWPC) oraz rozwijana w ostatnich latach metoda z wykorzystaniem transglutaminazy (TG). W metodach: wapniowo-termicznej, z zastosowaniem UF do separacji masy twarogowej oraz z wykorzystaniem TG, białka serwatkowe włączane są do sera twarogowego w sposób bezpośredni, w toku produkcji. Metoda z dodatkiem PWPC jest rozwiązaniem kilkustopowym, zakładającym wydzielenie białek serwatkowych z serwatki, następnie poddanie ich koncentratu procesowi mikropartykułowania i wprowadzenie w takiej postaci do surowca przerobowego. Włączanie białek serwatkowych do sera twarogowego skutkuje wyraźnym zwiększeniem zawartości aminokwasów egzogennych w białku produktu, a w konsekwencji zwiększeniem wartości chemicznych wskaźników określających jego właściwości odżywcze. Większy wydatek sera i wyższa wartość odżywcza białek to czynniki uzasadniające doskonalenie metod włączania białek serwatkowych do niedojrzewających kwasowych serów twarogowych.

Słowa kluczowe: kwasowe niedojrzewające sery twarogowe, białka serwatkowe, włączanie białek serwatkowych do sera, wartość odżywcza białka

Wprowadzenie

Sery twarogowe to liczna grupa produktów mleczarskich często spożywanych w krajach Europy Środkowej i Wschodniej [1, 12]. Ich atrakcyjność uwarunkowana

Mgr inż. K. Siemianowski, prof. dr hab. inż. J. Szpendowski, Katedra Mleczarstwa i Zarządzania Jakością, Wydz. Nauki o Żywności, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie, ul. Oczapowskiego 7, 10-719 Olsztyn. Kontakt: krzysztof.siemianowski@uwm.edu.pl

jest tradycją, przyzwyczajeniami żywieniowymi oraz stosunkowo niską ceną [6]. W diecie człowieka sery twarogowe stanowią pod względem odżywczym dobre źródło łatwostrawnego i pełnowartościowego białka, lekkostrawnego tłuszczu mlekowego oraz wielu witamin i składników mineralnych [13, 14]. Produkcja kwasowych serów twarogowych polega na odpowiedniej obróbce skrzepu mleka odtuszczonego lub normalizowanego pod względem zawartości tłuszczu, rzadziej maślanki lub jej mieszanki z mlekiem, skoagulowanego w wyniku ukwaszania przez kultury bakterii fermentacji mlekowej do kwasowości czynnej strefy punktu izoelektrycznego białek frakcji kazeinowej [1, 9, 22]. Po osiągnięciu wartości pH 4,5 - 4,6 zewnętrzny ładunek elektryczny miceli kazeinowych jest równy zeru i tracą one zdolność wiązania wody, a tym samym ochronną powłokę hydratacyjną, w następstwie czego ulegają agregacji. Powstaje wtedy żel kazeinowy, nazywany skrzepem, zamykający w uporządkowanej przestrzennej strukturze sieciowej pozostałe składniki mleka [19, 22]. Obróbka skrzepu obejmuje krojenie, mieszanie i ogrzewanie, celem intensyfikacji wydzielania serwatki, a następnie separację powstałego ziarna twarogowego od serwatki. W zależności od parametrów obróbki skrzepu, sposobu separacji ziarna twarogowego oraz dalszego postępowania z wydzieloną masą twarogową uzyskiwane są produkty różniące się pod względem podstawowego składu chemicznego i tekstury. W asortymencie niedojrzewających kwasowych serów twarogowych można wyróżnić: produkty o zwartej strukturze – twarogi, o ziarnistej postaci – serki ziarniste (*cottage cheese*) oraz o smarowej, homogennej konsystencji – serki twarogowe i twarożki [9, 12, 22].

W składzie białek mleka wyróżnia się dwie frakcje: białek kazeinowych oraz serwatkowych. W mleku krowim wymienione frakcje stanowią odpowiednio: 80 i 20 % ogólnej zawartości białka [8, 22, 36]. Tradycyjne metody wyrobu kwasowych serów twarogowych pozwalają na wykorzystanie w produkcie niemal wyłącznie białek kazeinowych, gdyż białka serwatkowe po przeprowadzeniu obróbki skrzepu pozostają w roztworze i są tracone z serwatką [4, 8, 22, 27, 33, 36]. Białka serwatkowe charakteryzuje wartość odżywcza porównywalna z białkiem całego jaja kurzego. Wynika to z dużej zawartości w nich aminokwasów egzogennych (leucyny, lizyny, izoleucyny, metioniny, cysteiny, treoniny, tryptofanu i waliny) [13, 15, 27, 36]. Białka frakcji serwatkowej wykazują również liczne właściwości prozdrowotne. Wskazuje się na korzystny efekt działania tych białek w profilaktyce i terapii chorób m.in. nowotworowych, układu krążenia czy zakaźnych. Aktywność biologiczną wykazują nie tylko natywne białka serwatkowe, ale również peptydy i aminokwasy uwalniane z ich struktur podczas trawienia [15, 27]. Za dążeniem do włączania białek serwatkowych do masy produktu przemawiają również efekty ekonomiczne, gdyż wiąże się to z wyraźnym wzrostem wydajności produkcji [2, 8, 22, 30].

Celem pracy była charakterystyka metod włączania białek serwatkowych w technologii niedojrzewających kwasowych serów twarogowych oraz ich wpływu na wartość odżywczą białka produktów.

Charakterystyka metod umożliwiających włączanie białek serwatkowych do produktu w technologii niedojrzewających kwasowych serów twarogowych

Opracowano kilka efektywnych metod włączania białek serwatkowych do masy produktu, przydatnych w technologii kwasowych serów twarogowych. Praktyczne znaczenie dla przemysłu mleczarskiego ma metoda wapniowo-termiczna [22, 29-31, 33], metoda z zastosowaniem procesu ultrafiltracji [8, 17, 22, 28, 32], metoda z dodatkiem koncentratu partykułowanych białek serwatkowych [8, 23, 24] oraz rozwijana w ostatnich latach metoda z wykorzystaniem transglutaminazy [2, 16].

Metoda wapniowo-termiczna

Istotą metody wapniowo-termicznej jest zintegrowanie kazeiny z białkami serwatkowymi poprzez ogrzewanie w wysokiej temperaturze surowca wzbogaconego w wapń i przeprowadzenie koagulacji powstałego kompleksu białek mleka metodą ukwaszania [22, 29, 30, 33]. Podczas ogrzewania w temperaturze powyżej 70 °C białka serwatkowe denaturują, co wiąże się z destabilizacją ich przestrzennej struktury i rozwinięciem łańcuchów polipeptydowych. Zdenaturowane białka serwatkowe mogą ulegać wzajemnym interakcjom i łączyć się w agregaty [7, 18, 29] oraz tworzyć z kazeiną kompleksy białkowe. Indukowane termicznie kompleksy powstają za pośrednictwem wiązań disiarczkowych, w których uczestniczą grupy sulfhydrylowe cysteiny białek serwatkowych i κ -kazeiny znajdującej się na powierzchni miceli oraz oddziaływań niekowalencyjnych [5, 29]. Zwiększenie stężenia jonów wapniowych przed ogrzewaniem wzmacnia agregację białek serwatkowych [10] oraz ich interakcje i tworzenie kompleksów z kazeiną [31, 33]. Potwierdzają to wyniki badań retencji związków azotowych surowca, wyrażonych jako białko ogółem, w twarogu w zależności od wielkości dodatku chlorku wapnia do mleka przed pasteryzacją oraz temperatury pasteryzacji. Retencja białka ogółem w twarogu z mleka bez dodatku CaCl_2 , pasteryzowanego w temp. 75 °C /15 s oraz 90 °C /15 s, wynosiła odpowiednio: 75,2 % oraz 85,9 %. Przy dodatku do mleka CaCl_2 w ilości 0,05 % i pasteryzacji w temp. 75 °C /15 s retencja białka ogółem w twarogu wynosiła 76,4 %, natomiast dodatek do mleka CaCl_2 w ilości 0,01 % i pasteryzacja w temp. 90 °C /15 s skutkowały retencją rzędu 88,2 % [30].

W produkcji kwasowych serów twarogowych metodami tradycyjnymi przygotowanie surowca przed koagulacją obejmuje pasteryzację realizowaną najczęściej w temperaturze nieprzekraczającej 80 ÷ 85 °C/15 s [9, 22]. Przemysłową produkcję kwasowych serów twarogowych metodą wapniowo-termiczną proponuje się realizo-

wać przez dodatek CaCl_2 do mleka w ilości $0,015 \div 0,04$ %, a następnie jego pasteryzację w temperaturze nie niższej niż $90 \div 92$ °C /15 s. Metoda ta może być stosowana w produkcji twarogów, serków twarogowych i twarożków, a jej zastosowanie pozwala na zwiększenie wydatku produktu o $10 \div 15$ % [22, 29, 30, 33].

Metoda z zastosowaniem procesu ultrafiltracji

Ultrafiltracja (UF) jest ciśnieniowym procesem rozdziału składników cieczy za pomocą membran o odpowiedniej selektywności. Średnica porów membran do UF wynosi $0,01 \div 0,1$ μm . Ciśnienie operacyjne stosowane w czasie procesu UF nie przekracza 1,0 MPa [34]. Podczas UF mleka, składniki wielkocząsteczkowe (białko i tłuszcz) zatrzymywane są przez membranę i ulegają koncentracji, natomiast składniki charakteryzujące się mniejszą masą cząsteczkową (niebiałkowe związki azotowe, laktoza, składniki mineralne, witaminy i kwasy) wraz z wodą ulegają częściowo permeacji do odcieku [4, 17, 34]. Proces UF jest przydatny w technologii niedojrzewających kwasowych serów twarogowych do włączania białek serwatkowych do produktów mających pastowatą, homogenną konsystencję [8, 17, 22, 32]. W tej metodzie włączanie białek serwatkowych do produktu może być osiągnięte przez: (I) poddanie serwatki procesowi UF i dodanie uzyskanego koncentratu do masy twarogowej, (II) zastosowanie UF do zagęszczenia surowca niezakwaszonego lub słabo zakwaszonego przed koagulacją, (III) zastosowanie UF do separacji koagulatu, (IV) zastosowanie UF do wstępnego zagęszczenia surowca przed ukwaszaniem, a następnie do separacji koagulatu [8]. Ze względów techniczno-technologicznych oraz atrakcyjności sensorycznej uzyskiwanych produktów, najbardziej korzystne spośród wymienionych wariantów są rozwiązania z zastosowaniem UF do separacji koagulatu [8, 17, 22, 32]. Takie zastosowanie procesu UF pozwala na wykorzystanie blisko 100 % białka surowca w produkcie [8].

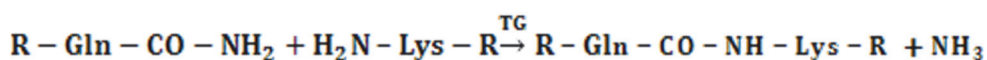
Metoda z dodatkiem koncentratu partykułowanych białek serwatkowych

Metoda ta zakłada włączanie białek serwatkowych do produktu przez dodatek do surowca przerobowego koncentratu partykułowanych białek serwatkowych (PWPC), otrzymywanego w wyniku odpowiedniego przetwarzania serwatki. W technologii PWPC można wyróżnić dwa etapy. W pierwszym etapie oczyszczona, odtłuszczona i spasteryzowana serwatka poddawana jest UF celem uzyskania koncentratu białek serwatkowych (WPC) o zawartości np. 10 % białka. Drugi etap polega na poddaniu koncentratu WPC procesowi mikropartykułowania. Wymieniony proces ma na celu przekształcenie białek serwatkowych z postaci rozpuszczalnej w nierozpuszczalną. Efekt ten jest osiągany w wyniku działania na białka temperaturą przez ściśle określony czas, w kombinacji z określonym naprężeniem tnącym podczas ogrzewania i przy chłodzeniu, co powoduje ich denaturację i agregację. Natywne białka serwatkowe

o wielkości $3 \div 5$ nm przekształcane są w prawidłowo przeprowadzonym procesie mikropartykułowania do aglomeratów białkowych o wielkości cząstek z zakresu $0,1 \div 15$ μm , przy czym dominują cząstki o wielkości od 2 do 10 μm [23, 24]. PWPC nie wykazuje posmaku serwatki, ma barwę śnieżnobiałą, a pod względem smaku przypomina śmietankę, co wynika z wielkości jego cząstek zbliżonych do kuleczek tłuszczu mlekowego. Dodane do mleka cząstki PWPC zamykane są w sieci przestrzennej powstającego podczas koagulacji żelu kazeinowego i są w nim mechanicznie zatrzymywane, dzięki czemu zostają włączone do masy produktu [8, 23, 24]. Wielkość retencji białek serwatkowych w produkcie wzrasta wraz ze wzrostem stopnia ich denaturacji. Maksymalny dodatek PWPC w procesie produkcji serów miękkich, do których zalicza się również sery twarogowe, powinien wynosić 7 g białka preparatu/1000 g surowca. Przy takim dodatku PWPC, o stopniu denaturacji białek wynoszącym ok. 90 %, wykorzystanie wprowadzonych białek serwatkowych w produkcie może sięgać 100 % [8].

Metoda z wykorzystaniem transglutaminazy

Transglutaminaza (TG) jest enzymem (EC 2.3.2.13) szeroko rozpowszechnionym w przyrodzie. Jej obecność wykryto u wielu kręgowców, bezkręgowców, roślin i drobnoustrojów [11, 26]. Praktyczne zastosowanie TG w przetwórstwie spożywczym na skalę przemysłową stało się możliwe po odkryciu i opracowaniu metod pozyskiwania tego enzymu ze źródeł mikrobiologicznych. Stanowiło to alternatywę dla kosztocłonnego otrzymywania TG z surowców pochodzenia zwierzęcego [25, 35]. Mikrobiologiczną TG pozyskuje się najczęściej przy wykorzystaniu szczepów *Streptovorticillium* sp., np. *Sv. mobaraense*. TG pochodzenia mikrobiologicznego jest pojedynczym łańcuchem polipeptydowym, składającym się z 331 aminokwasów o masie atomowej ok. $38 \cdot 10^3$ Da i punkcie izoelektrycznym przy pH 8,9. Mikrobiologiczna TG, w przeciwieństwie do TG pochodzenia zwierzęcego, wykazuje aktywność katalityczną niezależnie od jonów Ca^{2+} . W centrum aktywnym TG znajduje się triada katalityczna reszt: cysteiny, histydyny i kwasu asparaginowego [11, 20, 25, 26]. Mikrobiologiczna TG jest stabilna przy pH $5,0 \div 6,0$ i wykazuje optimum aktywności w temp. 50 °C [20]. TG katalizuje reakcję przenoszenia reszty acylowej, w której rolę donora pełni grupa γ -karboksamidowa glutaminy wchodzącej w skład peptydu lub białka, natomiast funkcję akceptora mogą pełnić pierwszorzędowe grupy aminowe różnych związków. Gdy akceptorem reszty acylowej jest lizyna należąca do cząsteczki peptydu lub białka, wówczas powstają wewnątrzcząsteczkowe i międzycząsteczkowe wiązania sieciujące, zgodnie z reakcją [11, 20, 25, 26, 35]:



Wiązania sieciujące tworzone między cząsteczkami łączą białka w polimery. Efektywność tworzenia wiązań sieciujących jest ściśle związana ze strukturą białka. Kazeiny stanowią dobry substrat dla TG. Wynika to z braku wiązań disiarczkowych w α_{s1} - i β -kazeinie, dzięki czemu kazeina charakteryzuje się niskim udziałem struktury trzeciorzędowej oraz otwartą, elastyczną konformacją, sprzyjającą dostępności reaktywnych grup dla enzymu. W porównaniu z kazeiną białka serwatkowe w stanie natywnym są mniej podatne na sieciowanie z powodu globularnej struktury stabilizowanej wiązaniami disiarczkowymi. Podatność białek serwatkowych na działanie TG można zwiększyć przez ich denaturację, powodującą rozfałdowanie cząsteczek i odsłonięcie grup biorących udział w tworzeniu wiązań sieciujących [2, 3, 20, 21, 25]. Z tego względu w metodzie produkcji kwasowych serów twarogowych z wykorzystaniem TG zalecane jest poddanie surowca pasteryzacji w dłuższym czasie i w wyższej temperaturze niż przewidują metody klasyczne. Preparat TG wprowadza się do uprzednio spasteryzowanego i ochłodzonego surowca przed zaprawieniem kulturą startową. W badaniach technologicznych realizowanych w warunkach przemysłowych wykazano, że dodatek preparatu mikrobiologicznej TG do mleka realizowany od 1,5 do 3 h przed wprowadzeniem kultur startowych pozwala na zwiększenie wydatku twarogu półtłustego o 10 ÷ 15 % [2]. Korzystny wpływ na efektywność polimeryzacji białek mleka ma wprowadzenie TG do surowca o temp. 40 ÷ 50 °C i utrzymanie tej temperatury do momentu dodatku kultur startowych. W metodzie tej włączanie białek serwatkowych do masy produktu następuje w wyniku ich integracji z białkami kazeinowymi oraz mechanicznego uwięzienia polimerów tych białek w strukturze skrzepu tworzonego przez usieciowaną kazeinę [16].

Wpływ włączania białek serwatkowych na skład aminokwasowy oraz chemiczne wskaźniki wartości odżywczej białka niedojrzewających kwasowych serów twarogowych

Zatrzymanie białek serwatkowych w masie sera twarogowego jest bardzo korzystne pod względem żywieniowym, co potwierdza skład aminokwasowy oraz wyliczone na jego podstawie chemiczne wskaźniki wartości odżywczej białka (tab. 1).

W porównaniu z białkiem twarogu tradycyjnego, białko twarogu uzyskanego metodą wapniowo-termiczną charakteryzuje się większą zawartością wszystkich aminokwasów egzogennych, do których zalicza się izoleucynę, leucynę, lizynę, metioninę, fenyloalaninę, treoninę, tryptofan i walinę, z grupy względnie egzogennych histydyny oraz spośród endogennych cysteiny, kwasu glutaminowego, proliny i tyrozyny [30]. W składzie aminokwasowym białka serka twarogowego, wyprodukowanego przy zastosowaniu UF do separacji masy twarogowej, wykazano mniejszą zawartość treoniny niż w białku serka separowanego wirówkowo, natomiast w przypadku pozostałych

Tabela 1. Skład aminokwasowy oraz chemiczne wskaźniki wartości odżywczej białka niedojrzewających kwasowych serów twarogowych produkowanych metodami niepozwalającymi oraz pozwalającymi na włączenie białek serwatkowych do produktu

Table 1. Amino acid composition and chemical indicators of nutritional value of protein in unripened acid curd cheeses produced using methods that make and do not make it possible to incorporate whey proteins into the product

Skład aminokwasowy oraz chemiczne wskaźniki wartości odżywczej białka Amino acid composition and chemical indicators of nutritional value of protein [g/16 g N]	Twaróg Tvorog		Serek twarogowy Curd cheese	
	tradycyjny traditional	wapniowo-termiczny calcium-thermal	separowany wirówkowo separation with centrifugation	separowany ultrafiltracyjnie separation with ultrafiltration
Izoleucyna / Isoleucine	4,89	5,39	4,94	5,38
Leucyna / Leucine	9,49	10,60	9,58	10,33
Lizyna / Lysine	7,82	8,51	7,80	8,51
Metionina / Methionine	2,87	3,02	3,01	3,11
Cysteina / Cysteine	0,33	0,46	0,53	0,73
Suma aminokwasów siarkowych Sum of sulphuraminoacids	3,20	3,48	3,54	3,84
Feniloalanina / Phenylalanine	5,90	6,20	5,87	6,26
Tyrozyna / Tyrosine	6,22	6,67	6,24	6,66
Suma aminokwasów aromatycznych Sum of aromaticaminoacids	12,12	12,87	12,11	12,92
Treonina / Threonine	4,96	5,05	4,95	4,86
Tryptofan / Tryptophan	1,45	1,91	1,43	1,84
Walina / Valine	5,94	6,49	5,97	6,72
Arginina / Arginine	5,36	4,51	5,37	4,64
Histydyna / Histidine	2,56	2,88	2,52	2,74
Alanina / Alanine	4,19	3,59	4,17	3,53
Kwas asparaginowy / Asparticacid	8,56	8,21	8,59	7,99
Kwas glutaminowy / Glutamicacid	21,52	24,32	21,57	23,35
Glicyna / Glycine	4,33	2,21	4,36	2,22
Prolina / Proline	10,56	10,91	10,52	11,05
Seryna / Serine	8,42	8,02	8,44	7,89
Suma aminokwasów egzogennych Sum of essential amino acids	49,87	54,30	50,32	54,40
Wskaźnik aminokwasu ograniczającego (CS) Limiting amino acid chemical score	71,1 (Met+Cys)	77,3 (Met+Cys)	70,8 (Met+Cys)	76,6 (Met+Cys)
Zintegrowany wskaźnik aminokwasów egzogennych (EAAI) Essential amino acid index	81,9	89,9	82,8	89,0

Źródło: / Source: opracowanie własne na podstawie [28, 30] / the authors' own study based on [28, 30].

aminokwasów zmiany zawartości były analogiczne jak w białku twarogu uzyskanego metodą wapniowo-termiczną [28, 30]. Włączenie białek serwatkowych do sera twarogowego skutkuje wyraźnym zwiększeniem udziału aminokwasów egzogennych

w białku produktu oraz wartości wskaźników określających jego właściwości odżywcze. Białko twarogu otrzymanego metodą wapniowo-termiczną, w porównaniu z białkiem twarogu uzyskanego metodą tradycyjną, wykazywało większe wartości sumy aminokwasów egzogennych o 4,43 jednostki, wskaźnika aminokwasu ograniczającego (CS) o 6,2 jednostki oraz zintegrowanego wskaźnika aminokwasów egzogennych (EAAI) o 8,0 jednostek [30]. Białko serka twarogowego uzyskanego przy zastosowaniu UF do separacji masy twarogowej, w porównaniu z białkiem serka otrzymanego przy zastosowaniu wirówki do separacji masy twarogowej, wykazywało większe wartości sumy aminokwasów egzogennych o 4,1 jednostki, CS o 5,8 jednostki oraz EAAI o 6,2 jednostki [28].

Podsumowanie

Poszukiwanie rozwiązań pozwalających na zatrzymanie białek serwatkowych w produkcji stanowi bardzo ważny kierunek w technologii niedojrzewających kwasowych serów twarogowych. W metodach: wapniowo-termicznej, z zastosowaniem UF do separacji masy twarogowej oraz z wykorzystaniem TG, białka serwatkowe włączane są do produktu jednoetapowo, w sposób bezpośredni w toku produkcji. Metoda z dodatkiem PWPC jest rozwiązaniem kilkuetapowym, gdyż zakłada wydzielenie białek serwatkowych z serwatki, zwykle słodkiej, nie pochodzącej z produkcji serów kwasowych, następnie poddanie ich koncentratu procesowi mikropartykułowania i wprowadzenie w takiej postaci do surowca przerobowego. Produkcję kwasowych serów twarogowych metodami pozwalającymi na włączanie białek serwatkowych do masy sera oraz doskonalenie tych metod w pełni uzasadnia większy wydatek oraz wyższa wartość odżywcza białka w porównaniu z produktami uzyskiwanymi metodami klasycznymi. Wdrożenie metody wapniowo-termicznej lub metody z wykorzystaniem TG może być realizowane przez bezpośrednie zastąpienie metody klasycznej, natomiast w przypadku metod z zastosowaniem UF oraz metody z dodatkiem PWPC wymagane jest posiadanie dodatkowego wyposażenia techniczno-technologicznego.



Mgr inż. Krzysztof Siemianowski otrzymał stypendium współfinansowane przez Unię Europejską w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego.

Literatura

- [1] Bohdziewicz K.: Twaróg – pierwszy świeży ser świata. *Przegl. Mlecz.*, 2009, **2**, 4-8.
- [2] Bohdziewicz K.: Wpływ transglutaminazy na proces produkcji, wydatek oraz jakość twarogów. *Przegl. Mlecz.*, 2010, **2**, 4-9.
- [3] Bönisch M.P., Huss M., Lauber S., Kulozik U.: Yoghurt gel formation by means of enzymatic protein cross-linking during microbial fermentation. *Food Hydrocoll.*, 2007, **4 (21)**, 585-595.
- [4] de Wit J.N.: *Lecturer's handbook on whey and whey products*. First edition. The European Whey Products Association, Brussels 2001.
- [5] Donato L., Guyomarch F.: Formation and properties of the whey protein/ κ -casein complexes in heated skim milk – A review. *Dairy Sci. Technol.*, 2009, **1 (89)**, 3-29.
- [6] Górską-Warsewicz H.: Rozwój rynku produktów mleczarskich. *Przem. Spoż.*, 2005, **10**, 20-23.
- [7] Havea P., Singh H., Creamer L.K.: Characterization of heat-induced aggregates of α -lactoglobulin, α -lactalbumin and bovine serum albumin in a whey protein concentrate environment. *J. Dairy Res.*, 2001, **3 (68)**, 483-497.
- [8] Hinrichs J.: Incorporation of whey proteins in cheese. *Int. Dairy J.*, 2001, **4-7 (11)**, 495-503.
- [9] Holanowski A.: *Twarogi i serki twarogowe*. Wyd. Spółdzielcze, Warszawa 1986.
- [10] Ju Z.Y., Hettiarachchy N., Kilara A.: Thermal properties of whey protein aggregates. *J. Dairy Sci.*, 1999, **9 (82)**, 1882-1889.
- [11] Kashiwagi T., Yokoyama K., Ishikawa K., Ono K., Ejima D., Matsui H., Suzuki E.: Crystal structure of microbial transglutaminase from *Streptovorticillium obaraense*. *J. Biol. Chem.*, 2002, **46 (277)**, 44252-44260.
- [12] Kolanowski W.: Twaróg. Od śniadania po desery. *Przegl. Gastron.*, 2003, **10**, 22-23.
- [13] Kozikowski W., Przybyłowicz K.: Wartość żywieniowa składników mleka krowiego. *Przegl. Mlecz.*, 1994, **10**, 256-261.
- [14] Kunachowicz H., Nadolna I., Przygoda B., Iwanow K.: *Tabele składu i wartości odżywczej żywności*. Wyd. Lek. PZWL, Warszawa 2005.
- [15] Król J., Brodziak A., Litwińczuk Z., Sz wajkowska M.: Wykorzystanie białek serwatkowych w promocji zdrowia. *Żyw. Człow. Met.*, 2011, **1**, 36-45.
- [16] Mazuknaite I., Guyot Ch., Leskauskaitė D., Kulozik U.: Influence of transglutaminase on the physical and chemical properties of acid milk gelled cottage type cheese. *J. Food Agric. Environ.*, 2013, **3-4 (11)**, 119-124.
- [17] Obrusiewicz T., Szwoce J., Wituszyńska B.: Badania technologiczne produkcji serków twarogowych z zastosowaniem wybranych rodzajów modułów ultrafiltracyjnych. *Post. Tech. Przetw. Spoż.*, 2000, **1**, 7-13.
- [18] Oldfield D.J., Singh H., Taylor M.W.: Association of β -lactoglobulin and α -lactalbumin with the casein micelles in skim milk heated in an ultra-high temperature plant. *Int. Dairy J.*, 1998, **9 (8)**, 765-770.
- [19] Oziemkowski P., Caris-Sokolińska D.: Kwas mlekowy w wybranych technologiach mleczarskich. *Przegl. Mlecz.*, 1994, **11**, 276-279.
- [20] Ózrenk E.: The use of transglutaminase in dairy products. *Int. J. Dairy Technol.*, 2006, **1 (59)**, 1-7.
- [21] Rodriguez-Nogales J.M.: Enhancement of transglutaminase – induced protein cross – linking by preheat treatment of cows milk: A statistical approach. *Int. Dairy J.*, 2006, **1 (16)**, 26-32.
- [22] Rymaszewski J., Śmietana Z.: Sery dojrzewające i sery twarogowe. W: *Mleczarstwo. Zagadnienia wybrane*. Tom II. Red. S. Ziajka. Wyd. ART, Olsztyn 1997, ss. 151-209.
- [23] Schier G., Paar S.: Integration von partikuliertenmolkenproteinen (PWPC) in weichund schnittkäse – Teil 2. *Deutsche Milchwirtschaft*, 2003, **23/24**, 5-8.
- [24] Schier G., Paar S., Derengiewicz W., Izbicki T.: Pierwsze w Polsce urządzenie do partykułowania białek serwatkowych. *Przegl. Mlecz.*, 2006, **11**, 38-40.
- [25] Schorsch C., Carrie H., Clark A.H., Norton I.T.: Cross-linking casein micelles by a microbial transglutaminase conditions for formation of transglutaminase-induced gels. *Int. Dairy J.*, 2000, **8 (10)**, 519-528.

- [26] Shleikin A.G., Danilov N.P.: Evolutionary-biological peculiarities of transglutaminase. Structure, physiological functions, application. *Zh. Evol. Biokhim. Fiziol.*, 2011, **1** (47), 3-14.
- [27] Smithers G.W.: Whey and whey proteins – from gutter-to-gold. *Int. Dairy J.*, 2008, **7** (18), 695-704.
- [28] Szpendowski J., Kłobukowski J., Bohdziewicz K., Kujawski M.: Characteristics of the chemical composition of the nutritive value of protein in selected curd cheeses. *Pol. J. Natur. Sci.*, 2004, **2** (Supl.), 143-150.
- [29] Szpendowski J., Kłobukowski J., Prokop E.: Wpływ dodatku chlorku wapnia i ogrzewania mleka na skład chemiczny serów twarogowych. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2005, **3** (44), 36-45.
- [30] Szpendowski J., Śmietana Z., Płodzień T., Lewandowski K., Owczarzak A., Buczman E.: Technologia serów twarogowych o podwyższonej wartości odżywczej. *Przegl. Mlecz.*, 2007, **1**, 4-9.
- [31] Śmietana Z.: Studia nad ukierunkowaną modyfikacją białek mleka do celów technologicznych. *Zesz. Nauk. ART. w Olsztynie*, 1979, **14** (198), 123-184.
- [32] Śmietana Z., Mojak J.: Linia technologiczna firmy APV AnhydroMembraneFiltration – Dania w SM „Biomlek” w Chełmie do produkcji serka twarogowego. *Przegl. Mlecz.*, 1996, **7**, 210-214.
- [33] Śmietana Z., Szpendowski J., Bohdziewicz K., Świgoń J.: Ogólne zasady produkcji twarogu i serków twarogowych. Część II. Ze wszystkich białek mleka. *Przegl. Mlecz.*, 1994, **2**, 41-43.
- [34] Zander L., Zander Z.: Podstawy separacji membranowej. *Przegl. Mlecz.*, 2006, **9**, 38-41.
- [35] Zhu Y., Tramper J.: Novel applications for microbial transglutaminase beyond food processing. *Trends Biotechnol.*, 2008, **10** (26), 559-565.
- [36] Zmarlicki S.: Zdrowotne aspekty mleka i przetworów mlecznych. *Zdrowie Publiczne*, 2006, **1** (116), 142-146.

METHODS OF INCORPORATING WHEY PROTEINS IN TECHNOLOGY OF UNRIPENED ACID CURD CHEESES

Summary

Acid curd cheeses produced according to traditional methods contain, almost exclusively, casein proteins, whereas during the production, nutritionally valuable whey proteins are removed together with whey and, thus, are lost. Several solutions were developed, which made it possible to incorporate whey proteins, useful for the technology of acid curd cheeses, into a product. The following methods are of practical importance for the dairy industry: thermal processing incl. calcium chloride added, ultra-filtration (UF) process, a method with the particulate whey protein concentrate (PWPC) added, and a method, being just developed, which applied transglutaminase (TG). In the methods that involve: thermal processing with calcium chloride added plus UF used to separate curd cheese mass, and TG, whey proteins are directly incorporated into the product during the production process. A method with PWPC added is a multistage solution where whey proteins are separated from whey; next, the whey protein concentrate is microparticulated and added, in this form, to the raw material under processing. The incorporation of whey proteins into curd cheese results in a considerable increase in the concentrations of essential (exogenous) amino acids in the protein of the final product and, consequently, in an increase in the values of chemical indicators that describe its nutritional quality. In turn, a higher cheese yield and a higher nutritional value of proteins are factors that give explanation why those methods are improved, which include the incorporation of whey proteins into unripened acid-curd cheeses.

Key words: unripened acid curd cheeses, whey proteins, incorporation of whey proteins into cheese, nutritional value of protein ☒