



Stabilność cieplna mleka

Maria Czerniewicz*, Katarzyna Kiełczewska, Waldemar Brandt

Katedra Mleczarstwa i Zarządzania Jakością
Wydział Nauki o Żywności
Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

*Kontakt e-mail: czermar@uwm.edu.pl

Streszczenie

W niniejszym opracowaniu zdefiniowano stabilność cieplną (SC) mleka w relacji do czynników ją kształtujących. Należą do nich: 1) rozmiar i stopień hydratacji micel kazeiny, we współzależności z udziałem poszczególnych frakcji kazeiny micelarnej (głównie kazeina- κ); 2) proporcja kazeiny do białek serwatkowych, w szczególności kazeiny- κ do laktoglobuliny- β (SC_{max} , molowa proporcja tych białek 1:1); 3) środowisko jonowe micel kazeinowych, warunkowane przez poziom i proporcje pomiędzy rozpuszczalnymi formami soli mleka, w tym Ca jonowy i rozpuszczalny (korelacja ujemna) oraz fosfor rozpuszczalny, cytryniany (korelacja dodatnia). W opracowaniu przedstawiono metody oceny stabilności cieplnej mleka i kryteria selekcji, na podstawie których można przeznaczyć mleko do produkcji artykułów mleczarskich utrwalanych wysokotemperaturowo, oraz modyfikacje układu koloidalnego, występujące w mleku wskutek poddania go procesom technologicznym.

Stabilność cieplna mleka określa jego zdolność do zachowania właściwości koloidalnych podczas działania wysokiej temperatury. W przemyśle mleczarskim oporność mleka na działanie wysokiej temperatury determinuje jego przydatność technologiczną do produkcji oraz stabilność przechowalniczą gotowego produktu. Zastosowanie obróbki cieplnej w procesie technologicznym, z wykorzystaniem temperatury przekraczającej wartości SC charakteryzujące surowiec skierowany do przerobu, może skutkować takimi formami destabilizacji fazy koloidalnej jak: koagulacja mleka czy żelifikacja, z towarzyszącym jej wzrostem lepkości produktu w trakcie przechowywania [1,6,8].

Badania stabilności cieplnej zapoczątkowane zostały dążeniem do otrzymania trwałych, płynnych produktów mleczarskich, tj.: mleka spożywczego i zagęszczonego mleka niesłodzonego, produkowanych z zastosowaniem wysokotermicznych metod utrwalania. Wychodząc naprzeciw zapotrzebowaniom konsumentów oraz problemom związanym z przetwarzaniem termicznym w ramach dostępnej technologii, stabilność cieplna stała się cechą determinującą przydatność technologiczną mleka surowego do produkcji trwałych, płynnych artykułów mleczarskich. Proces ich wytwarzania, oparty na technologii UHT (Ultra High Temperature) lub sterylizacji konwencjonalnej LTS (Long Time Sterilization), wymaga, jako surowca, mleka o wysokiej SC, czyli zdolnego do fizycznego przetrzymania zastosowanej obróbki cieplnej [6,8,17].



Stabilność cieplna nie jest stałą cechą mleka surowego. Uzależniona jest ona od szeregu różnych czynników wynikających bezpośrednio ze składu chemicznego mleka, jego jakości higienicznej, w tym mikrobiologicznej i cytologicznej, oraz ze sposobu obchodzenia się z surowcem od momentu pozyskania do czasu przerobu (chłodnicze przechowywanie, zafatszowanie/zanieczyszczenia, proces transportowy). Do podstawowych czynników wynikających ze składu chemicznego mleka należą: zawartość i wzajemne proporcje jego białek (tj. kazeina i jej frakcje, białka serwatkowe i ich proporcja w stosunku do kazeiny) oraz koncentracja i układ rozpuszczalnych soli (tj. równowaga kwasowo-zasadowa tworzona głównie przez wapń i magnez oraz fosforany i cytryniany). Stąd też, wszelkie modyfikacje w składzie chemicznym mleka, wynikające np. z rasy, okresu laktacji, sposobu żywienia i stanu zdrowotnego krów, prowadzą do zmian jego stabilności cieplnej, przy czym szczególnie niekorzystnie na tę cechę mleka oddziałuje stan zapalny wymienia krów (*mastitis*) [6,8,17].

Kazeina jest podstawowym białkiem mleka i w największym stopniu determinuje jego stabilność cieplną. Frakcją stabilizującą micelle kazeinowe jest kazeina- κ oraz zawarty w niej glikomakropeptyd, który dzięki właściwościom hydrofilnym współuczestniczy w powstaniu i utrzymaniu otoczki hydratacyjnej na powierzchni micel kazeinowych (hydratacja kazeiny), warunkując im stabilność w formie zolu. Ponadto pozytywny wpływ kazeiny- κ na stabilność mleka należy przypisać jej amfifilnym właściwościom dyspergującym układ micelarny oraz kształtowaniu ujemnego ładunku micel, partycypującego w odpychaniu elektrostatycznym i stabilizacji sterycznej kompleksu kazeinowego. Również wielkość micel kazeinowych, a tym samym zawartość kazeiny- κ , pozostaje w istotnej współzależności ze stabilnością cieplną mleka. Małe micelle kazeiny, zawierające relatywnie więcej kazeiny- κ , cechują się wyższą stabilnością cieplną od większych micel. Ponadto, obniżona stabilność dużych micel związana jest z większym udziałem frakcji kazeiny- β , której grupy fosforanowe, odgrywając decydującą rolę w wiązaniu wapnia, wpływają na wzrost ilości koloidalnego fosforanu wapnia (KFW) adsorbowanego w miceli, co potęguje ich skłonność do asocjacji podczas ogrzewania [5,6,8,17].

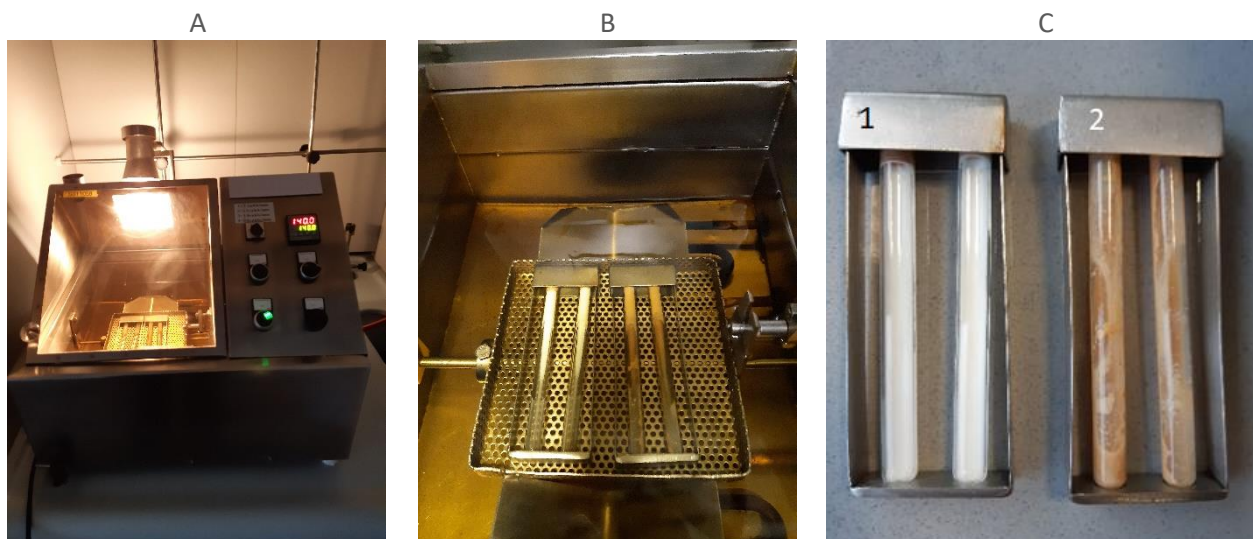
Białka serwatkowe są istotnym składnikiem mleka kształtującym jego stabilność cieplną, ze względu na ich większą termolabilność, w porównaniu do kazeiny. Już nawet podczas łagodnej obróbki cieplnej – termizacji (temp. 57-68°C/15-20 s) stwierdza się ich niewielki stopień denaturacji (np. laktoglobulina- β do 12%, albuminy serum krwi do 31%). Szereg wrażliwości termicznej głównych białek serwatkowych w kolejności malejącej stabilności cieplnej przedstawia się następująco: laktoalbumina- α > laktoglobulina- β > albumina serum > immunoglobuliny. Szczególnie znaczącą rolę w relacji do stabilności cieplnej mleka odgrywa proporcja pomiędzy kazeiną- κ a laktoglobuliną- β , a najwyższą odpornością na ogrzewanie charakteryzuje się układ, w którym stosunek molowy tych białek wynosi 1. Z kolei podwyższona zawartość immunoglobulin w mleku, występująca w odpowiedzi na stan chorobowy organizmu, jak również występująca naturalnie w colostrum, skutkuje obniżeniem stabilności cieplnej mleka [5,6,8,17].

Istotne znaczenie w profilowaniu stabilności ciepłej mleka odgrywa równowaga kwasowo-zasadowa tworzona przez jego sole. Dotychczasowe badania pozwoliły ustalić pewne zależności w kształtowaniu stabilności od zawartych w nim soli, a przede wszystkim soli wapnia i magnezu oraz fosforanów i cytrynianów. Szczególne znaczenie pełni równowaga pomiędzy poziomem koloidalnego fosforanu wapnia a zawartością i proporcjami soli rozpuszczalnych, która decyduje o dyspersji micel kazeinowych i stopniu ich hydratacji. Przy naturalnym pH mleka micelle kazeinowe mają ładunek ujemny, który jest szczególnie ważny w ich stabilizacji w roztworze. W znacznym stopniu elektroujemność miceli jest zależna od ilości wapnia z nią związanego, a tym samym od poziomu jonów Ca^{2+} w mleku. Wzrost stężenia wapnia zwiększa jego ilość zaadsorbowaną przez kazeinę, co zmniejsza ujemny ładunek micel, ich stopień hydratacji oraz ich potencjał elektrokinetyczny, skutkiem czego jest obniżenie energii aktywacji procesu koagulacji cieplnej. Z kolei zmniejszenie poziomu wapnia podnosi elektroujemność micel i w ten sposób ich precypitacja zachodzi trudniej. Wzrost koncentracji jonów wapnia i magnezu pozostaje ze stabilnością cieplną w korelacji ujemnej, podczas gdy wyższa zawartość fosforanów i cytrynianów, poprzez wiązanie kationów, zwiększa ujemny ładunek micel i stabilizację systemu koloidalnego – korelacja dodatnia [3,5,6,8].



Kwasowość naturalna mleka, o normalnym składzie chemicznym, nie ma istotnego wpływu na kształtowanie stabilności cieplnej, jednakże każda, nawet niewielka zmiana fizjologicznego pH (6,6–6,7), tj. zarówno obniżenie jak i podwyższenie, wywołują destabilizację układu koloidalnego (rys 1.). Najczęstszą przyczyną zmian kwasowości surowca jest jego nadkwaszenie, ale również występuje jej obniżenie (wzrost pH), jak np. w mleku mastitisowym lub zafałszowanym przez dodatek wody czy środków neutralizujących, a niekiedy również w mleku długo przechowywanym w warunkach chłodniczych. Zarówno nadkwaszenie jak i alkalizacja mleka skutkuje obniżeniem stabilności cieplnej, w stosunku do surowca charakteryzującego się kwasowością typową dla mleka świeżego [5,6,8,16].

Jakość mikrobiologiczna surowca, a szczególnie stopień zakażenia drobnoustrojami wytwarzającymi enzymy podpuszczkopodobne (bakterie psychrotrofowe), jest istotnym determinantem stabilności cieplnej mleka. Efekty działalności enzymów proteolitycznych to degradacja białek, szczególnie kazeiny-k, destabilizacja micel kazeinowych wraz z wynikającymi z tego zmianami tekstury mleka (wzrost lepkości, gęstnienie i żelifikacja), a dalsza degradacja białek prowadzi do tworzenia gorzkich peptydów i innych produktów rozpadu, powodujących wady smakowo-zapachowe mleka surowego i jego przetworów. Wykazano, że rozłożenie 10-20% kazeiny-k może spowodować obniżenie stabilności ciepłej mleka nawet o 50%. Taki sam rząd obniżenia SC mleka stwierdzono przy hydrolitycznym rozkładzie około 30% natywnej zawartości mocznika [4,8].



Fotografia 1. Ocena stabilności cieplnej mleka, jako czasu koagulacji w temperaturze 140°C przeprowadzona w łaźni z olejem parafinowym. A – łaźnia olejowa podczas oznaczania stabilności cieplnej, B – próbówki z mlekiem podczas oceny dostrzegalnej wizualnie agregacji skoagulowanych białek mleka, C – próbówki z mlekiem przed oznaczeniem (1) i po oznaczeniu stabilności cieplnej (2) (materiały własne)

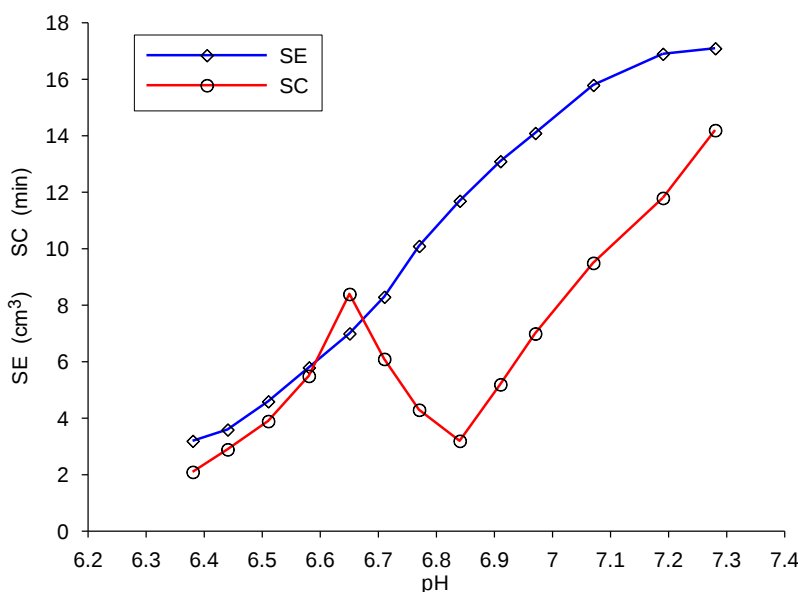
Najczęściej w praktyce przemysłowej ocenę stabilności cieplnej mleka przeprowadza się w oparciu o testy alkoholowe (próba pojedyncza, próba podwójna, próba wzmocniona czy liczba alkoholowa), bazujące na przesłance, że odporność białek mleka na etanol koreluje z ich stabilnością cieplną oraz ze względu na łatwość i szybkość wykonania oznaczenia. Do selekcji mleka przeznaczonego do wyrobu produktów UHT zalecane są próby z alkoholem etylowym o stężeniu powyżej 70%, przy czym segregację surowca do produkcji śmietanki i mleka zagęszczonego należy prowadzić w oparciu o testy z etanolem o stężeniu 75% lub 80%, a nawet 85%. Metody te nadają się względnie dobrze do wyeliminowania mleka, które jest nieodpowiednie do obróbki UHT z uwagi na nadkwaszenie, a także nieprawidłowy układ soli lub nadmiar białek serwatkowych, które to anomalia są typowe dla mleka kolostralnego i mastitisowego. Natomiast nie nadają się one do eliminacji mleka zafałszowanego

o podwyższonym pH i zanieczyszczonego pozostałościami środków dezynfekcyjnych, które niekorzystnie oddziałują na stabilność cieplną, a praktycznie nie wpływają na stabilność mleka wobec etanolu. Testy alkoholowe nie są w pełni miarodajne przy selekcji surowca do wyrobu produktów UHT, gdyż przy ich pomocy można wyselekcjonować mleko o wysokiej stabilności etanolowej, ale często niskiej stabilności cieplnej (rys. 1).

Metodami bezpośrednimi oznaczania stabilności cieplnej są testy, w których czynnikiem koagulującym jest ciepło [3,8]. Najbardziej miarodajnym testem oceny stabilności mleka jest pomiar czasu jego cieplnej koagulacji w określonej wysokiej temperaturze, np. 140°C (fot. 1).

Mając na uwadze prawidłowość przebiegu procesu technologicznego oraz jakość gotowych produktów mleczarskich utrwalanych w wysokich temperaturach można sformułować najważniejsze kryteria, które powinno spełniać mleko surowe kierowane do przerobu [8]:

- kwasowość czynna (pH) 6,6 – 6,7
- kwasowość miareczkowa 6,5 – 7,0°SH
- stabilność cieplna – SC (czas koagulacji w temp. 140°C)
 - mleko UHT $\geq 8,0$ min
 - śmietanka UHT, mleko zagęszczone ≥ 10 min
- stabilność etanolowa – SE wyrażona jako:
 - liczba alkoholowa (96% etanol) $\geq 6,0$ cm³



Rysunek 1. Charakterystyka zależności stabilności cieplnej (SC) oraz stabilności etanolowej (SE) od zmian kwasowości czynnej mleka surowego [3]

W badaniach modelowych nad stabilnością cieplną mleka wraz ze zmianami jego kwasowości czynnej wykazano, że w zakresie pH 6,4-7,4 krzywa zależności $SC=f(pH)$ wykazuje w swoim przebiegu pośredni punkt maksimum (SC_{max}), przypadający blisko wartość $pH=6,6$, oraz pośredni punkt minimum (SC_{min}), występujący przy pH w zakresie 6,8–6,9 (rys. 1). Ten rodzaj mleka nazwano typem A i występuje on powszechniej, aniżeli drugi – typ B mleka, który nie wykazuje w przebiegu funkcji $SC=f(pH)$ pośrednich punktów ekstremum, a swoją charakterystyką przypomina sigmoidalny kształt zależności $SE=f(pH)$ – rys. 1 – tj. dążąc do minimum w niskim pH, zaś przy wysokim pH do osiągnięcia maksimum [6,16,17].



Przebieg zależności stabilności cieplnej w funkcji pH (rys. 1) oraz wystąpienie pośredniego punktu maksimum wartości stabilności cieplnej SC_{max} może być modyfikowane przez następujące czynniki [3,6,16]:

- wapń jonowy (Ca^{2+}) – redukuje stabilność cieplną mleka w zakresie pH 6,4–7,4;
- cytrynian i fosforan – poprzez wiązanie wapnia zwiększają stabilność cieplną mleka;
- laktoalbumina- β (i prawdopodobnie laktoalbumina- α) – wpływa na stabilizację micel kazeinowych przy pH w zakresie 6,4–6,7 oraz zmniejszenie stabilności cieplnej przy pH w zakresie 6,7–7,0; zatem wystąpienie pośrednich punktów ekstremalnych, tj. SC_{max} i SC_{min} , na krzywej $SC=f(pH)$ zależy od obecności laktoalbuminy- β ;
- kazeina- κ – dodatek tej frakcji do mleka zwiększa stabilność cieplną mleka w punkcie SC_{min} na krzywej $SC=f(pH)$;
- koloidalny fosforan wapnia (KFW) – obniżenie poziomu KFW zwiększa stabilność cieplną mleka w regionie maksimum stabilności cieplnej (SC_{max});
- mocznik – naturalne wahania stabilności cieplnej mleka surowego wynikają głównie ze zmian w nim koncentracji mocznika, skorelowanego z żywieniem zwierząt.

Obecność pośredniego punktu minimum – SC_{min} – na krzywej $SC=f(pH)$ stanowiła przyczynek do poszukiwania metod zwiększających oporność układu koloidalnego mleka na działanie wysokich temperatur w regionie wystąpienia minimalnych wartości stabilności cieplnej (tabela 1).

Tabela 1. Metody eliminacji punktu SC_{min} mleka na krzywej zależności $SC=f(pH)$ [16]

Konwersja krzywej zależności $SC=f(pH)$ mleka typu A do typu B
Obniżenie temperatury ogrzewania (ze 150°C do 120°C)
Dodatek kazeiny- κ
Usunięcie białek serwatkowych
Redukcja poziomu soli rozpuszczalnych
Dodatek aldehydów, związków utleniających, polifenoli
Zastosowanie transglutaminazy

Procesy technologiczne stosowane w produkcji płynnych artykułów mleczarskich w znacznym stopniu wpływają na ich składniki oraz właściwości fizykochemiczne, w tym na zmianę stabilności układu koloidalnego mleka, co przedstawiono w tabeli 2. Z uwagi na szereg procesów, powszechnie stosowanych w technologii mleczarskiej, powoduje obniżenie stabilności układu koloidalnego mleka, tym większego znaczenia nabiera jakość mleka surowego, jak i możliwość stabilizacji białek mleka poprzez hartowanie. Dodatkowym zabiegiem skutkującym poprawą stabilności białek jest dodatek soli stabilizujących, które podwyższają pH i wiążą jony wapnia, oraz zastosowanie transglutaminazy, która oprócz wzrostu stabilności cieplnej mleka, powoduje eliminację minimum stabilności cieplnej w przebiegu zależności $SC=f(pH)$ [6,8,16].



Tabela 2. Wybrane jednostkowe operacje technologiczne modyfikujące stabilność cieplną mleka [5,6,7,8,10,14]

Operacja jednostkowa	Przemiany	Kierunek zmian SC
Przechowywanie chłodnicze	alkalizacja mleka; dysocjacja micel kazeinowych – wzrost stopnia dyspersji micel i poziomu kazeiny rozpuszczalnej (głównie w początkowej fazie chłodniczego przechowywania); zmiany zawartości poszczególnych frakcji w kazeinie rozpuszczalnej (głównie wzrost kazein β i γ); obniżenie poziomu Ca związanego z kazeiną, na skutek dezintegracji micel kazeinowych	↓
Wstępne ogrzewanie (hartowanie)	utworzenie na powierzchni micel kazeinowych ochronnego kompleksu zdenaturowanych białek serwatkowych (głównie laktoglobuliny- β) z kazeiną- κ , który blokuje dostęp wapnia jonowego do uaktywnionych podczas ogrzewania centrów kazeiny, zapobiegając w ten sposób jej agregacji; wzrost ujemnego ładunku powierzchni miceli, odpychania sterycznego, potencjału elektrokinetycznego zeta ξ i stopnia hydratacji; mikroagregacja białek serwatkowych; obniżenie (nawet o 25%) poziomu wapnia jonowego	↑
Homogenizacja	adsorpcja aktywnych frakcji białek (micel i submicel, białek serwatkowych) na powierzchni międzyfazowej tłuszcz mlekowy/plazma mleka, z wytworzeniem zhomogenizowanych kuleczek tłuszczowych	↓
Zagęszczanie	obniżenie pH; wzrost koncentracji białek mleka i jonów wapnia; zwiększenie rozmiarów micel kazeiny; zmniejszenie hydratacji micel kazeinowych, zmniejszenie udziału rozpuszczalnych form kazeiny i wapnia	↓

Zakłady mleczarskie, śledząc trendy konsumenckie na rynku, odpowiadają projektowaniem nowych wyrobów, wpisujących się m.in. w żywność funkcjonalną, w tym dietę wysokobiałkową. Technologie filtracji membranowej są szeroko rozpowszechnionymi operacjami jednostkowymi w przemyśle mleczarskim, często aplikowanymi w celu uzyskania wyizolowanych składników. Zastosowanie separacji membranowej mleka umożliwia pozyskanie bioaktywnych komponentów, do których należą białka mleka, a dodatkowo pozwala na modyfikację poziomu soli mineralnych [9]. Dużą uwagę poświęca się wysokobiałkowym produktom mleczarskim wzbogacanym we wszystkie proteiny mleka, tj. kazeinę, białka otoczki kuleczek tłuszczowych, glikomakropeptyd lub/i białka serwatkowe, z których każde wykazuje istotny wpływ na funkcje fizjologiczne człowieka [12,13]. Z punktu widzenia stabilności cieplnej, wysokobiałkowe produkty mleczarskie charakteryzują się stabilnością układu koloidalnego zależną od rodzaju i ilości białka dodanego. Szczególnie silna destabilizacja fazy koloidalnej występuje wraz ze wzrostem koncentracji białka w roztworze i podwyższoną aktywnością jonów wapnia [2]. Z kolei obniżenie poziomu wapnia w wysokobiałkowych napojach mlecznych poprawia ich stabilność cieplną i w przypadku koncentratów mleczarskich pozwala na eliminację dodatku soli stabilizujących wiążących jony wapnia [11]. Inną możliwością modyfikacji właściwości koloidalnych jest częściowe usunięcie białek serwatkowych, w wyniku którego następuje znaczny wzrost stabilności cieplnej koncentratów mleczarskich, pomimo braku zróżnicowania pH, wielkości micel kazeiny i koncentracji soli mineralnych [15]. Stabilność cieplna koncentratów białek mleka uzależniona jest od zawartości protein i odczynu roztworu. Wraz ze wzrostem poziomu białka i przy wartościach pH<6,8 stwierdza się

obniżenie SC, co jest następstwem wysokiej aktywności jonów wapnia, zaś przy pH>6,8 stabilność cieplna nie zmienia się, wskutek obniżania poziomu jonów Ca^{2+} wraz ze wzrostem pH roztworu [2,6].

Techniki separacji membranowej umożliwiają modyfikację składu białek i soli napojów mleczarskich, ze szczególnym uwzględnieniem produktów narażonych na obniżenie stabilności koloidalnej, z racji specyfiki ich produkcji oraz koncentracji składu. Znajomość podstawowych czynników kształtujących stabilność cieplną, stanowi bazę do projektowania produktów mleczarskich z wykorzystaniem separacji membranowej, przeznaczonych dla konsumentów o określonych preferencjach żywieniowych, a ponadto charakteryzujących się stabilną i zrównoważoną zawartością składników fazy koloidalnej.

Literatura

1. Bienvenue A., Jimenez-Flores R., Singh H. (2003). Rheological properties of concentrated skim milk: importance of soluble minerals in the changes in viscosity during storage. *Journal of Dairy Science*, 86, 3813-3821.
2. Crowley S. V., Megemont M., Gazi I., Kelly A. L., Huppertz T., O'Mahony J. A. (2014). Heat stability of reconstituted milk protein concentrate powders. *International Dairy Journal*, 37, 104-110.
3. Czerniewicz M., Kruk A., Kiełczewska K. (1999), Ethanol-induced changes in proteins and some mineral compounds of milk. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 8/49, 4, 27-38.
4. Czerniewicz M., Kruk A., Kiełczewska K. (2000), Heat and ethanol stability and the urea level in raw milk. *Acta Academiae Agriculturae ac Technicae Olstenensis*, Polish Journal of Natural Sciences, 6, 95-104.
5. Dimpler J., Huppertz T., Kulozik U. (2020). Invited review: Heat stability of milk and concentrated milk: Past, present, and future research objectives. *Journal of Dairy Science*, 103(12), 10986-11007.
6. Fox P. F., Uniacke-Lowe T., McSweeney P.L.H., O'Mahony J. A. (2015). *Dairy Chemistry and Biochemistry*, Second Edition, Springer International Publishing AG Switzerland.
7. Kiełczewska K., Kruk A., Czerniewicz M. (1999). Effect of homogenization on physico-chemical properties of condensed milk. *Acta Academiae Agriculturae ac Technicae Olstenensis*, Polish Journal of Natural Sciences, 3, 71-80.
8. Kruk A., Ziajka S. (1997). Koncentraty mleczne. (w:) *Mleczarstwo. Zagadnienia wybrane*. Red. S. Ziajka, Wyd. ART w Olsztynie, 241-294.
9. Li Y., Corredig M. (2014). Calcium release from milk concentrated by ultrafiltration and diafiltration. *Journal of Dairy Science*, 97, 5294-5302.
10. Liu D. Z., Dunstan D. E., Martin G.J.O. (2012). Evaporative concentration of skimmed milk: Effect on casein micelle hydration, composition, and size. *Food Chemistry*, 134, 1446-1452.
11. Pandalaneni, K., Amamcharla, J. K., Marella, C., Metzger, L. E. (2018). Influence of milk protein concentrates with modified calcium content on enteral dairy beverage formulations: Physicochemical properties. *Journal of Dairy Science*, 101(11), 9714-9724.
12. Park Y.W. (2009). Overview of Bioactive Components in Milk and Dairy Products. *Bioactive Components in Milk and Dairy Products*, Ed. Wiley-Blackwell, Publishers, Ames, Iowa and Oxford, England, 3-12.
13. Park. Y. W., Nam M. S. (2015). Bioactive Peptides in Milk and Dairy Products: A Review. *Korean Society for Food Science of Animal Resources*, 35(6), 831-840.
14. Pesic M. B., Barac M. B., Stanojevic S. P., Ristic N. M., Macej O. D., Vrvic M. M. (2012). Heat induced casein-whey protein interactions at natural pH of milk: A comparison between caprine and bovine milk. *Small Ruminant Research*, 108, 77-86.
15. Renhe I. R. T., Corredig M. (2018). Effect of partial whey protein depletion during membrane filtration on thermal stability of milk concentrates. *Journal of Dairy Science*, 101(10), 8757-8766.
16. Singh H. (2004). Heat stability of milk. *International Journal of Dairy Technology*, 57, 2/3, 111-119.
17. Walstra P., Wouters J.T., Geurts M.T.J. (2006). *Dairy Science and Technology*. Second Edition, CRC Press Taylor & Francis Group, LLC Boca Raton London New York.

Źródło: Przegląd Mleczarski 12/2021