

# Możliwości wykorzystania wysokiego ciśnienia w przemyśle mleczarskim

EDYTA MALINOWSKA-PAŃCZYK, ILONA KOŁODZIEJSKA

Katedra Chemii, Technologii i Biotechnologii Żywności Wydziału Chemicznego Politechniki Gdańskiej,  
ul. Narutowicza 11/12, 80-233 Gdańsk

Malinowska-Pańczyk E., Kołodziejska I.

## Possibilities of using high pressure in milk processing

### Summary

High pressure affects the structure, conformation, and functional properties of milk proteins. It may inactivate some enzymes and change the size of casein micelles and milk fat globules. High pressure technique may prove useful in cheese manufacturing, making it possible to shorten the rennet coagulation time and to increase the yield of the product. Yogurts obtained from pressure-treated milk show better rheological properties. However, some changes of milk components under the influence of high pressure may lead to the deterioration of the sensory qualities of milk, e.g. the development of a bitter taste and a rancid flavor as an effect of increasing lipoprotein lipase activity. These unfavorable changes of sensory attributes may limit the use of high pressure in milk processing.

**Keywords:** high pressure, milk, cheese, milk products

W 1899 r. w pionierskiej pracy, dotyczącej możliwości wykorzystania wysokiego ciśnienia do utrwalania żywności, Bert H. Hite (15) wykazał, że dopuszczalny okres przechowywania surowego mleka może być wydłużony o ok. 4 dni po przetrzymywaniu go przez 1 godzinę pod ciśnieniem 600 MPa w temperaturze pokojowej. Jednakże ze względu na szerokie zainteresowanie w tym okresie metodami termicznymi – m.in. pasteryzacją, wysokie ciśnienie nie znalazło wówczas zastosowania jako metoda utrwalania mleka. W latach 90. XX wieku powrócono do idei wykorzystania wysokiego ciśnienia nie tylko jako metody utrwalania żywności, ale także do przetwarzania żywności, w tym kreowania produktów o nowych cechach funkcjonalnych i sensorycznych. Ciśnienie powoduje bowiem modyfikacje składników żywności (głównie białek), które mogą prowadzić do zmiany ich właściwości funkcjonalnych i daje możliwość otrzymywania nowych lub udoskonalonych produktów. Z drugiej jednakże strony, wysokie ciśnienie może wywoływać takie zmiany składników żywności, które niekorzystnie wpływają na właściwości gotowego produktu. Poniższy przegląd piśmiennictwa przedstawia aktualny stan wiedzy dotyczący wpływu zwiększonego ciśnienia na właściwości mleka i jego składników oraz możliwości i ograniczenia wykorzystania tej techniki w przemyśle mleczarskim.

## Inaktywacja mikroorganizmów w mleku za pomocą wysokiego ciśnienia

Mleko jest doskonałym środowiskiem dla rozwoju wielu mikroorganizmów. Działanie wysokiego ciśnienia na mikroorganizmy w takim środowisku jest mniej skuteczne niż w buforach z uwagi na efekty ochronne, jakie wywierają składniki mleka (5, 12, 19, 33). Na przykład traktowanie komórek *Y. enterocolitica* w buforze fosforanowym ciśnieniem 350 MPa przez 26 minut powoduje zmniejszenie ich liczebności o 5 rzędów wielkości większe niż gdy poddawane są temu procesowi w mleku UHT (4).

W celu osiągnięcia jakości mikrobiologicznej mleka porównywalnej do uzyskiwanej w czasie pasteryzacji w temperaturze 72°C przez 15 s, konieczne jest zastosowanie ciśnienia powyżej 600 MPa (19). Przy użyciu wysokiego ciśnienia można jednak przedłużyć trwałość mleka pasteryzowanego. Ciśnienie 600 MPa stosowane w temperaturze 20°C pozwala na wydłużenie o 10 dni okresu przydatności do spożycia pasteryzowanego produktu, przechowywanego w warunkach chłodniczych (19, 34).

W przeciwieństwie do komórek wegetatywnych, formy przetrwalnikujące są łatwiej inaktywowane w mleku niż w buforach. Wynika to przypuszczalnie z obecności w mleku wolnych aminokwasów, takich jak L-ala-

nina, L-leucyna, L-izoleucyna, które indukują kiełkowanie przetrwalników (28, 30). Liczba przetrwalników *B. cereus* LMG 6910, które rozwinęły się pod wpływem działania wysokiego ciśnienia z formy wegetatywnej w temperaturze 60°C była o 1,5 do 3 rzędów wielkości większa w mleku niż w buforze fosforanowym o tym samym pH, niezależnie od wartości użytego ciśnienia (28). Stwierdzono jednak, że działanie ciśnienia 200-500 MPa w temperaturze 60°C powoduje koagulację mleka. Zastosowanie procesu dwuetapowego, w którym najpierw traktowano przetrwalniki ciśnieniem 200 MPa w temperaturze 45°C przez 30 min. w celu indukcji kiełkowania, a następnie ogrzewano to mleko w temperaturze 60°C przez 10 min., pozwoliło wyeliminować niekorzystne zjawisko koagulacji przy zachowaniu tego samego stopnia inaktywacji przetrwalników *B. cereus*.

### Wpływ wysokiego ciśnienia na składniki mleka

**Woda.** Działanie ciśnienia na mleko powoduje obniżenie punktu zamarzania mleka z  $-0,5^{\circ}\text{C}$  do  $-4$ ,  $-8$  i  $-22^{\circ}\text{C}$ , odpowiednio, w 50, 100 i 210 MPa (14). Pod wpływem ciśnienia zostaje zmniejszona objętość wody o około 4% w 100 MPa lub o 15% w 600 MPa (14). Zwiększona dysocjacja wody, zachodząca podczas ciśnieniowania, powoduje obniżenie pH o około 1 jednostkę na 1000 MPa. Podobne zjawisko występuje podczas zwiększania temperatury wody z 25 do 100°C (26).

**Równowaga mineralna.** Składniki mineralne w mleku znajdują się w różnej postaci. Niektóre tworzą roztwory rzeczywiste, całkowicie zdysocjowane (chlorki, siarczany, sole sodu i potasu) lub występują w formie niezdisocjowanej (część fosforanów i cytrynianów wapnia oraz magnezu). Znaczna ilość soli wapnia i magnezu występuje w formie nierozpuszczalnej (głównie fosforany), tworząc z micelami kazeiny układ koloidalny. Związki mineralne mleka odgrywają ważną rolę w utrzymaniu stabilności miceli kazeinowych. Równowaga mineralna w mleku ulega zmianie pod wpływem ogrzewania, zakwaszenia lub podczas chłodniczego przechowywania. Również pod wpływem wysokiego ciśnienia następuje zmiana w rozkładzie składników mineralnych pomiędzy fazą koloidalną a dyfuzyjną.

Pod wpływem działania ciśnienia do 300 MPa następuje przechodzenie koloidalnych form wapnia w związki rozpuszczalne. Po 10 minutach działania ciśnienia ilość wapnia rozpuszczonego zwiększa się w mleku krowim o 17 mg/l, owczym o 4 mg/l, natomiast w mleku kozim o 18 mg/l. Wydłużenie czasu nie powoduje już dalszego zwiększania rozpuszczalności soli wapnia (21). W wyższych ciśnieniach, od 400 do 600 MPa, ilość wapnia w formie rozpuszczalnej zmniejsza się do poziomu występującego w mleku niepoddanym działaniu wysokiego ciśnienia (8, 16, 21).

Działanie podwyższonej temperatury na mleko prowadzi do przemieszczenia wapnia z fazy dyfuzyjnej do fazy koloidalnej i strącania się nierozpuszczalnego fosforanu wapnia (18). W mleku poddanym w pierwszym etapie działaniu podwyższonej temperatury, a następ-

nie działaniu ciśnienia następuje wzrost zawartości wapnia rozpuszczalnego w fazie dyfuzyjnej tego mleka. Wskazuje to, że wysokie ciśnienie powoduje rozpuszczanie cieplnie strąconego koloidalnego fosforanu wapnia (16). Technika wysokociśnieniowa może zatem zastąpić pasteryzację mleka w procesie wytwarzania sera, co pozwoli na wyeliminowanie uzupełniania ubytków wapnia jonowego, do których dochodzi podczas procesu cieplnego.

Zmiany w równowadze mineralnej mleka zachodzące pod wpływem ciśnienia powodują zmniejszenie kwasowości mleka, przy czym są one większe w mleku surowym i pasteryzowanym niż w mleku UHT. Jest to prawdopodobnie spowodowane rozpuszczaniem koloidalnego fosforanu wapnia. Zmiany pH mleka pasteryzowanego, wywołane przez wysokie ciśnienie są odwracalne po upływie 4 godzin od zakończenia procesu ciśnieniowania (17).

**Białka serwatki.** Białka te stanowią około 20% ogólnej ilości białek mleka. Należą do nich  $\beta$ -laktoglobulina ( $\beta$ -lg) i  $\alpha$ -laktoalbumina ( $\alpha$ -la).  $\beta$ -laktoglobulina jest jednym z głównych czynników wywołujących alergię u niemowląt karmionych mlekiem humanizowanym, dlatego też ważnym procesem jest eliminowanie jej z koncentratu białek serwatkowych stosowanych do produkcji mleka humanizowanego. Do tego celu może być wykorzystane wysokie ciśnienie, gdyż w tych warunkach  $\beta$ -lg ulega selektywnej proteolizie w obecności termolizyny (17).

$\beta$ -laktoglobuliny pochodzące z mleka różnych gatunków zwierząt odznaczają się odmienną wrażliwością na działanie ciśnienia.  $\beta$ -laktoglobulina mleka owczego i koziego jest bardziej podatna na ciśnieniową denaturację niż  $\beta$ -lg mleka krowiego. Jest to prawdopodobnie wynikiem wewnątrzgatunkowych różnic w budowie  $\beta$ -lg lub też spowodowane jest innymi czynnikami związanymi z odmiennym składem ilościowym poszczególnych składników mleka pochodzących z różnych źródeł (7, 22). W temperaturze pokojowej denaturacja  $\beta$ -lg zachodzi pod wpływem działania ciśnienia wyższego niż 100 MPa. Największy stopień denaturacji tego białka, 70-80%, ma miejsce po traktowaniu mleka ciśnieniem 400 MPa (32). Poziom denaturacji  $\beta$ -lg może zostać zwiększony poprzez jednoczesne zastosowanie wysokiego ciśnienia i podwyższonej temperatury. Nieomal 100% tego białka ulega denaturacji pod wpływem działania ciśnienia 300 MPa w 50-60°C lub 400 MPa w 40-60°C. W temperaturach chłodniczych, ok. 4°C, ciśnieniowa denaturacja  $\beta$ -lg jest ograniczona.

Stopień denaturacji  $\beta$ -lg w wyniku działania wysokiego ciśnienia jest mniejszy w mleku zakwaszonym do pH 5,5-6,0. Większy stopień denaturacji w pH obojętnym i zasadowym spowodowany jest prawdopodobnie zwiększoną reaktywnością wolnych grup tiolowych w tym zakresie pH niż w pH niższym (1). W porównaniu do  $\beta$ -lg,  $\alpha$ -la jest bardziej oporna na działanie podwyższonego ciśnienia.  $\alpha$ -laktoalbumina pochodząca z mleka różnych gatunków zwierząt nie ulega de-

naturacji pod wpływem działania ciśnienia 500 MPa w temperaturze pokojowej. Zwiększenie temperatury procesu ciśnieniowania do ok. 50-60°C powoduje częściową denaturację tego białka. Różnice w podatności na denaturację  $\alpha$ -la i  $\beta$ -lg pod wpływem zwiększonego ciśnienia mogą być związane z różnicami w strukturze drugorzędowej tych białek i odmiennej liczbie wiązań disulfidowych oraz brakiem wolnych grup tiolowych w  $\alpha$ -la (20).

Dane dotyczące wpływu wysokiego ciśnienia na inne białka serwatki są ograniczone. Albumina surowicy bydłowej nie ulega denaturacji pod wpływem ciśnienia, odpowiednio, 400 MPa, a immunoglobuliny – 500 MPa (7, 20).

**Micelle kazeinowe.** W skład każdej miceli kazeinowej wchodzi 4 podstawowe frakcje: kazeina –  $\alpha_{s1}$ , kazeina –  $\alpha_{s2}$ , kazeina –  $\beta$ , kazeina –  $\kappa$ , połączone wiązaniami jonowymi i oddziaływaniami hydrofobowymi. W wyniku działania podwyższonego ciśnienia (250-400 MPa) następuje osłabienie wiązań pomiędzy poszczególnymi frakcjami kazeiny i przejście poszczególnych form z fazy koloidalnej do rozpuszczalnej fazy mleka. Stopień tych zmian zależy od wielkości ciśnienia oraz temperatury procesu. W temperaturze pokojowej, przy ciśnieniu niższym od 200 MPa, wielkość miceli kazeinowych w mleku nie zmienia się. Jednakże już podczas 15-minutowego działania ciśnienia 250 MPa około 40-50% miceli rozpada się na mniejsze fragmenty zbudowane tylko z kilku podjednostek. W wyższych ciśnieniach 400-600 MPa następuje całkowity rozpad wszystkich większych miceli (11, 27). W mleku krowim dysocjacja miceli następuje w porządku  $\beta > \kappa > \alpha_{s1} > \alpha_{s2}$ , natomiast w mleku kozim lub owczym w porządku  $\kappa > \beta > \alpha_{s1} > \alpha_{s2}$ . Według López-Fandino i wsp. (21), za taką kolejność uwalniania poszczególnych podjednostek w dużej mierze odpowiada zawartości grup fosforanowych w ich cząsteczce. Kazeina –  $\kappa$  w mleku owczym i kozim posiada najmniejszą liczbę grup fosforanowych, dlatego dysocjuje najłatwiej. W krowim mleku większy stopień dysocjacji  $\beta$ -kazeiny w porównaniu do  $\kappa$ -kazeiny, pomimo iż zawiera więcej grup fosforanowych, może być związany z faktem, że część  $\beta$ -kazeiny nie jest usieciowana przez koloidalny fosforan wapnia w micelach kazeinowych.

Zmiany w wielkości miceli kazeinowych zachodzące pod wpływem ciśnienia zależne są od temperatury, w której mleko poddane jest ciśnieniu. Działanie ciśnienia 250 MPa na odtłuszczone mleko w temperaturze 40°C zwiększa, a w 4°C zmniejsza rozmiar miceli kazeinowych, jednakże w ciśnieniach większych niż 450 MPa zmiany wielkości miceli nie są już zależne od temperatury (11).

Dysocjacja miceli kazeinowych w mleku pod ciśnieniem (400 MPa) zależy od pH. Jest ona większa przy pH 5,5 lub 7,0 niż w mleku o pH 6,7. Spowodowane to jest prawdopodobnie częściowym rozpuszczaniem koloidalnego fosforanu wapnia lub wzrostem elektrostatycznego odpychania.

**Enzymy.** W mleku zidentyfikowano ok. 60 enzymów we frakcji kazein, wśród białek serwatki oraz w białkowej otoczce kuleczek tłuszczowych. Wpływają one na smak, konsystencję i stabilność produktów mleczarskich. Jednym z ważniejszych enzymów mleka jest plazmina, która występuje głównie w formie nieaktywnej jako plazminogen związany z micelami kazeinowymi i otoczką kuleczek tłuszczowych. Plazminogen może być uaktywniony przez obecne w mleku aktywatory (6). Działanie plazminy powoduje niekorzystne zmiany fizykochemicznych właściwości mleka, sera lub roztworów kazeiny, takie jak na przykład obniżenie stabilności mleka czy pogorszenie struktury sera.

Wrażliwość plazminy na działanie ciśnienia zależy od środowiska, w jakim prowadzony jest proces. Oczyszczona plazmina zawieszona w buforze fosforanowym o pH 6,7 jest nieomal całkowicie oporna na działanie ciśnienia 600 MPa w 20°C przez 20 minut (31). Natomiast aktywność plazminy obecnej w mleku zmniejsza się w tych warunkach o ponad połowę (17, 32). Podwyższenie temperatury podczas ciśnieniowania znacznie zmniejsza aktywność tego enzymu. Plazmina poddana działaniu ciśnienia 400 MPa w 60°C przez 15 minut zachowuje jedynie 13,5% początkowej aktywności (10). Mniejsza aktywność plazminy w mleku niż w buforze fosforanowym związana jest z obecnością  $\beta$ -laktoglobuliny, która zwiększa wrażliwość plazminy na działanie wysokiego ciśnienia (17). Przypuszczalnie te warunki sprzyjają powstawaniu wiązań disulfidowych między plazminą a  $\beta$ -laktoglobuliną (32). Tworzenie tych wiązań zachodzi również podczas ogrzewania mleka (13).

Innym enzymem mleka jest fosfataza alkaliczna, która jest wskaźnikiem skuteczności procesu pasteryzacji mleka. W wyniku działania ciśnienia 400 MPa przez 60 minut w 20°C fosfataza alkaliczna nie ulega denaturacji (20). Połowę swojej pierwotnej aktywności zachowuje po traktowaniu ciśnieniem 500 MPa przez 90 minut, natomiast całkowita inaktywacja zachodzi dopiero po ciśnieniu w 800 MPa w czasie 8 minut (24). Stwierdzono również, że w temperaturach, w których zachodzi utrata aktywności tego enzymu, działanie wysokiego ciśnienia zmniejsza stopień jego inaktywacji (24).

Lipaza lipoproteinowa jest odpowiedzialna za gorzkienie i powstawanie zjełczałego zapachu mleka. Proces pasteryzacji całkowicie ją inaktywuje, natomiast działanie ciśnienia w zakresie 300-400 MPa w 3°C przez krótki czas zwiększa aktywność enzymu (29).

Laktoperoksydaza, stanowiąca 0,5-1% białek serwatki, jest enzymem o właściwościach przeciwdrobnoustrojowych. W wyniku działania umiarkowanego ciśnienia następuje nieznaczny wzrost aktywności tego enzymu. Zahamowanie aktywności laktoperoksydazy pod ciśnieniem atmosferycznym zachodzi poprzez krótkotrwałe ogrzewanie w temperaturze 73°C. Natomiast wzrost ciśnienia do 700 MPa powoduje, że enzym zachowuje wyjściową aktywność w tej temperaturze. Tak więc przy



odpowiednim połączeniu ciśnienia i temperatury właściwości przeciwbakteryjne mleka mogą zostać nienaruszone (25). Stwierdzono, że laktoperoksydaza w mleku działa bakteriostatycznie na wiele bakterii, lecz nie powoduje inaktywacji *E. coli* i *Listeria innocua* (12). Z kolei zastosowanie połączonego działania ciśnienia 350 MPa i laktoperoksydazy powoduje całkowitą inaktywację badanych szczepów *L. innocua*. Efekt działania laktoperoksydazy i wysokiego ciśnienia zależy również od gatunku mikroorganizmów, a ponadto, jak wykazali Garcia-Graells i wsp. (9), od składu środowiska, jego pH oraz od temperatury.

**Inne składniki.** Z nielicznego dostępnego piśmiennictwa wynika, iż wzrost ciśnienia do 500 MPa wpływa na wielkość i rozproszenie kuleczek tłuszczowych w mleku. Działanie ciśnienia w temperaturze od 25°C do 50°C powoduje powstawanie dużej liczby małych kuleczek tłuszczowych o średnicy 1-2 µm, co może być wykorzystane do zwiększenia stabilności mleka. Natomiast w 4°C występuje odwrotny efekt. To z kolei może ułatwiać oddzielanie śmietanki w procesie otrzymywania masła (34).

Wysokie ciśnienie 100÷400 MPa indukuje krystalizację lipidów w produktach mlecznych o wysokiej zawartości tłuszczu. Największy stopień krystalizacji zachodzi podczas przechowywania w temperaturze 23°C po ciśnieniu w 200 MPa (2, 3). Kryształy powstające po procesie ciśnieniowym nie różnią się od tych powstałych po procesie termicznym. Według autorów, zjawisko to może zostać wykorzystane do przyspieszenia dojrzewania masy lodowej oraz śmietanki do produkcji masła. Po działaniu ciśnienia wyższego niż 200 MPa lipidy mleka krystalizują w mniejszym stopniu niż po zastosowaniu ciśnień niższych.

Pod wpływem wysokiej temperatury laktoza w mleku może izomeryzować do laktulozy i następnie ulegać degradacji do kwasów i innych cukrów. Natomiast w wyniku działania ciśnienia 100-400 MPa przez 10-60 minut w temperaturze 25°C te reakcje nie zachodzą (20).

### **Wpływ wysokiego ciśnienia na właściwości mleka i produktów mlecznych**

**Koagulacja białek mleka.** Podczas tego procesu wyróżnia się dwie główne fazy: enzymatyczną i żelifikacji. Podstawowym etapem jest enzymatyczna hydroлиза κ-kazeiny, podczas której następuje uwolnienie kazeinomakropeptydu (CMP) z κ-kazeiny. Ilość uwolnionego CMP uzależniona jest od wielkości stosowanego ciśnienia – im niższe ciśnienie, tym jest większa (23). Ilość CMP zależy także od temperatury procesu ciśnieniowania. W temperaturze 40-60°C ilość uwolnionego CMP jest znacznie mniejsza niż w temperaturze 25°C. Mniejsza ilość uwolnionego CMP podczas procesu w temperaturze wyższej niż 40°C spowodowana jest wzajemnymi oddziaływaniami pomiędzy zdenaturowaną pod wpływem ciśnienia β-laktoglobuliną i glikozylowaną κ-kazeiną (21, 23). To z kolei wpływa na

zmniejszenie stopnia hydrolizy κ-kazeiny przez chymozynę.

W drugim etapie, w którym ma miejsce wytworzenie skrzepu kazeinowego w procesie koagulacji, ciśnienie także może wpływać na stopień i szybkość agregacji. Z jednej strony, wysokie ciśnienie powoduje zwiększenie agregacji miceli kazeinowych, z drugiej – pod wpływem ciśnienia następuje zwiększenie stopnia denaturacji β-laktoglobuliny, która poprzez asocjację z micelami kazeinowymi zmniejsza szybkość agregacji.

Traktowanie surowego mleka krowiego ciśnieniem 200 MPa przez 30 minut skraca czas koagulacji białek mleka przy użyciu podpuszczki (20, 23, 27). Przyspieszenie wytwarzania skrzepu jest prawdopodobnie związane ze zmniejszeniem rozmiaru miceli kazeinowych. Czas koagulacji białek zależy także od czasu trwania procesu ciśnieniowania. Skrócenie tego czasu następuje po działaniu ciśnienia 200 MPa przez 10-60 minut. Dłuższe działanie ciśnienia niż 60 minut powoduje efekt odwrotny (20, 23). Na koagulację białek mleka wpływa również temperatura ciśnieniowania i pH mleka. Wzrost temperatury procesu utrudnia enzymatyczną koagulację białek mleka. Działanie ciśnienia 100 MPa w temperaturze 25°C przyspiesza koagulację białek, zaś w temperaturach powyżej 40°C znacznie ją utrudnia (21). Zakwaszenie mleka do pH 5,5 lub 6,0 tuż przed procesem ciśnieniowania powoduje skrócenie czasu koagulacji, podczas gdy w pH ok. 7,0 czas ulega wydłużeniu (1).

Wpływ ciśnienia na czas koagulacji białek przy użyciu podpuszczki zależy od rodzaju mleka. W mleku owczym ulega on skróceniu po działaniu ciśnienia 200-300 MPa. W ciśnieniach niższych i wyższych następuje wydłużenie tego parametru. W mleku kozim czas koagulacji pozostaje bez zmian po działaniu ciśnienia w zakresie od 100 do 200 MPa, jednak już przy wyższym ciśnieniu znacznie się wydłuża (22).

Żele powstające pod wpływem wysokich ciśnień różnią się pod względem twardości od żeli uzyskanych tradycyjnymi metodami. Kierunek tych zmian zależy od czasu działania i wielkości ciśnienia. Przykładowo, działanie 200 MPa przez 10 minut na mleko krowie powoduje wzrost twardości żeli. Natomiast twardość żeli uzyskanych po działaniu ciśnienia 400 MPa w czasie dłuższym niż 10 minut jest mniejsza niż żeli uzyskanych metodą termiczną.

**Właściwości produktów mlecznych.** Działanie ciśnieniem poniżej 200 MPa na mleko krowie nie wywiera znaczącego wpływu na wydatek twarogu, natomiast przy ciśnieniach 300-400 MPa zwiększa się on o 20% (20, 22). Największy wzrost wydatku twarogu następuje w pierwszych 20 minutach procesu. Wydłużenie czasu działania ciśnienia 400 MPa do 60 minut pociąga za sobą zwiększenie w nim ilości białek serwatki.

Zastosowanie wysokich ciśnień przy produkcji serów dojrzewających wpływa na proces solenia oraz znacznie skraca czas dojrzewania sera. Konsystencja i cechy smakowo-zapachowe takich serów są porów-

nywalne do wyróżników sensorycznych serów dojrzewających tradycyjnie. Walory estetyczno-sensoryczne danego gatunku sera zależą od temperatury i czasu dojrzewania, rodzaju i liczby drobnoustrojów, a także zawartości wody. W tradycyjnych metodach proces dojrzewania trwa od kilku tygodni do pół roku i zależy od rodzaju sera. Istnieje możliwość kontroli enzymatycznej i skrócenia czasu dojrzewania do 3 dni poprzez wykorzystanie wysokiego ciśnienia. W Japonii w 1992 r. opatentowano metodę otrzymywania sera cheddar za pomocą wysokiego ciśnienia. Gęstwa serowa traktowana jest ciśnieniem 50 MPa przez 3 dni w temperaturze 25°C. Po tym czasie otrzymuje się ser, którego wyróżniki sensoryczne są porównywalne z serem otrzymanym po 6-miesięcznym dojrzewaniu (34).

Wydatek sera cheddar z mleka poddawanego działaniu wysokiego ciśnienia jest ok. 7% większy niż sera otrzymanego z mleka pasteryzowanego. Wzrost wydatku może być wynikiem większego uwodnienia miceli kazeinowych. Stwierdzono również, że masa serowa uzyskana z mleka poddanego działaniu wysokiego ciśnienia charakteryzuje się wyższym pH przez cały okres dojrzewania, a produkt zawiera nie tylko większą zawartość wody, ale także soli. Ilość wchłoniętej soli podczas solenia jest proporcjonalna do zawartości wody. Taki ser charakteryzuje się także mniejszą zawartością tłuszczu (16). Jakość sensoryczna sera wytworzonego z mleka traktowanego ciśnieniem jest podobna do jakości produktu otrzymanego z mleka pasteryzowanego z wyjątkiem tekstury. Ser wytworzony z ciśnieniowanego mleka ma luźniejszą teksturę, prawdopodobnie z powodu większej zawartości wody.

Wysokie ciśnienie wpływa także na jakość jogurtu. Efekt zależy od wielkości stosowanego ciśnienia, temperatury procesu, czasu działania i pH mleka. Podczas fermentacji mleka ciśnieniowanego koagulacja następuje przy wyższym pH, a otrzymany jogurt charakteryzuje się większą gęstością w porównaniu do produktu wytworzonego z mleka pasteryzowanego. Gęstość jogurtu wyprodukowanego z ciśnieniowanego mleka wzrasta wraz ze wzrostem ciśnienia do 600 MPa i temperatury do 55°C, co jest wynikiem zmniejszającego się rozmiaru miceli kazeinowych.

Niekiedy podczas przechowywania jogurtu wytworzonego tradycyjną metodą występuje syneresa. Tego niekorzystnego zjawiska nie stwierdzono w przypadku przechowywania w temperaturze 4°C jogurtu wytworzonego z mleka poddawanego ciśnieniowaniu (16).

## Piśmiennictwo

- Arias M., Lopez-Fandino R., Olano A.: Influence of pH on the effects of high pressure on milk proteins. *Milchwiss.* 2000, 55, 191-194.
- Buchheim W., Abou El Nour A. M.: Induction of milkfat crystallization in the emulsified state by high hydrostatic pressure. *Fat Sci. Technol.* 1992, 10, 369.
- Buchheim W., Schütt M., Frede E.: High pressure effects on emulsified fats, [w:] Hayashi R., Balny C. (wyd.): *High Pressure Bioscience and Biotechnology*. Elsevier, Amsterdam 1996, 331-336.
- Chen H., Hoover D.: Pressure inactivation kinetic of *Yersinia enterocolitica* ATCC35669. *Int. J. Food Microbiol.* 2003, 87, 161-171.
- Dogan C., Erkmen O.: High pressure inactivation kinetics of *Listeria monocytogenes* in broth, milk, and peach and orange juice. *J. Food Eng.* 2004, 62, 47-52.

- Dziuba J.: Enzymy mleka, [w:] Ziajka S. (red.): *Mleczarstwo: zagadnienia wybrane*. T. I. ART. Olsztyn 1997, 91-100.
- Felipe X., Capellas M., Law A. J. R.: Comparison of the effects of high pressure treatments and heat pasteurization on the whey proteins and goat's milk. *J. Agric. Food Chem.* 1997, 45, 627-631.
- Fuente De la M., Olano A., Casel V., Juarez M.: Effects of high pressure and heat treatment on the minerals balance of goats' milk. *J. Dairy Res.* 1999, 66, 65-72.
- Garcia-Graells C., Valckx C., Michiels C.: Inactivation of *Escherichia coli* and *Listeria innocua* in milk by combined treatment with high hydrostatic pressure and the lactoperoxidase system. *Appl. Environ. Microbiol.* 2000, 66, 4173-4179.
- Garcia-Risco M. R., Olano A., Ramos M., Lopez-Fandino R.: Micellar changes induced by high pressure. Influence on the proteolytic activity and organoleptic properties of milk. *J. Dairy Sci.* 2000, 83, 2184-2189.
- Gaucheron F., Famelart M. H., Marriete F., Raulot K., Michel F., Le Graet Y.: Combined effects of temperature and high pressure treatments on physico-chemical characteristics of skim milk. *Food Chem.* 1997, 59, 439-447.
- Gervilla R., Mor-Mur M., Ferragut V., Guamis B.: Kinetics of destruction of *Escherichia coli* and *Pseudomonas fluorescens* inoculated in ewe's milk by high hydrostatic pressure. *Food Microbiol.* 1999, 16, 173-184.
- Grufferty M. B., Fox P. F.: Potassium iodate-induced proteolysis in ultra-heat-treated milk during storage: the role of  $\beta$ -lactoglobulin and plasmin. *J. Dairy Res.* 1986, 53, 601-613.
- Hinrichs J., Rademacher B., Kessler H. G.: Reaction kinetics of pressure-induced denaturation of whey proteins. *Milchwiss.* 1996, 51, 504-509.
- Hite B.: The effects of pressure in the preservation of milk. *Bull. WV Univ. Agric. Exp. Sta. Morgantown* 1899, 58, 15-35.
- Huppertz T., Fox P. F., Kelly A. L.: Plasmin activity and proteolysis in high pressure-treated bovine milk. *Lait* 2004, 84, 297-304.
- Huppertz T., Kelly A. L., Fox P. F.: Effects of high pressure on constituents and properties of milk. *Int. Dairy J.* 2002, 12, 561-572.
- Jaworski J.: Właściwości fizykochemiczne mleka, [w:] Ziajka S. (red.): *Mleczarstwo: zagadnienia wybrane*. T. I. ART. Olsztyn 1997, 45-91.
- Kolakowski P., Rejs A., Fetliński A.: Microbial quality and some physico-chemical properties of high pressure-processed cow milk. *Pol. J. Food Nutr. Sci.* 2000, 9, 19-26.
- Lopez-Fandino R., Carrascosa A. V., Olano A.: The effects of high pressure on whey protein denaturation and cheese-making properties of raw milk. *J. Dairy Sci.* 1996, 65, 155-160.
- Lopez-Fandino R., De la Fuente M. A., Ramos M., Olano A.: Distribution of minerals between the soluble and colloidal phases of pressurized milks from different species. *J. Dairy Res.* 1998, 65, 69-78.
- Lopez-Fandino R., Olano A.: Effects of high pressures combined with moderate temperatures on the rennet coagulation properties of milk. *Int. Dairy J.* 1998, 8, 623-627.
- Lopez-Fandino R., Ramos M., Olano A.: Rennet coagulation of milk submitted to high pressure. *J. Agric. Food Chem.* 1997, 45, 3233-3237.
- Ludikhuyze L., Claeys W., Hendrickx M.: Combined pressure-temperature inactivation of alkaline phosphatase in bovine milk: A kinetic study. *J. Food Sci.* 2000, 65, 155-160.
- Ludikhuyze L., Claeys W., Hendrickx M.: Effect of temperature and/or pressure on lactoperoxidase activity in bovine milk and acid whey. *J. Dairy Res.* 2001, 68, 625-637.
- Marshall W. L., Frank E. U.: Ion product of water substance, 0-1000°C, 1-10000 bars. New international formulation and 1<sup>st</sup> background. *J. Phys. Chem Ref. Data* 1981, 10, 295-304.
- Needs E. C., Capellas M., Bland P., Manoj P., MacDougall D. B., Gopal P.: Comparison of heat and pressure treatments of skimmed milk, fortified with whey protein concentrate, for set yoghurt preparation: effects on milk proteins and gel structure. *J. Dairy Res.* 2000, 67, 329-348.
- Opstal Van I., Bagamboula C. F., Vanmuysen S. C. M., Wuytack E., Michiels W.: Inactivation of *Bacillus cereus* spores in milk by mild pressure and heat treatments. *Int. J. Food Microbiol.* 2004, 92, 227-234.
- Pandey P. K., Ramaswamy H. S.: Effect of high pressure treatment of milk on lipase and  $\gamma$ -glutamyl transferase activity. *J. Food Biochem.* 2004, 28, 449-462.
- Raso J., Barbosa-Canovas G., Swanson B. G.: Sporulation temperature affects initiation of germination and inactivation by high hydrostatic pressure of *Bacillus cereus*. *J. Appl. Microbiol.* 1998, 85, 17-24.
- Scollard P. G., Beresford T. P., Murphy P. M., Kelly A. L.: Barostability of milk plasmin activity. *Lait* 2000, 80, 609-619.
- Scollard P. G., Beresford T. P., Murphy P. M., Kelly A. L.: Plasmin activity  $\beta$ -lactoglobulin denaturation and proteolysis in high pressure treated milk. *Int. Dairy J.* 2000, 10, 835-841.
- Simpson R. K., Gilmour A.: The resistance of *Listeria monocytogenes* to high hydrostatic pressure in foods. *Food Microbiol.* 1997, 14, 567-573.
- Trujillo A. J., Capellas M., Saldo J., Gervilla R., Guamis B.: Application of high-hydrostatic pressure on milk and dairy products: a review. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* 2002, 3, 295-307.

Adres autora: prof. dr hab. inż. Ilona Kołodziejka, ul. Narutowicza 11/12, 80-233 Gdańsk; e-mail: ilona.kolodziejka@pg.gda.pl