

AGNIESZKA JANOWSKA, KATARZYNA KIEŁCZEWSKA,
MARIA WACHOWSKA, DAMIAN MARCINIAK

WPLYW WYSOKIEGO CIŚNIENIA NA WYBRANE WŁAŚCIWOŚCI MLEKA KOZIEGO

Streszczenie

Wprowadzenie. Celem badań było określenie wpływu ciśnienia 200 ÷ 500 MPa/20 °C/15 min. na wybrane cechy mleka koziego. Oznaczono ogólną liczbę bakterii (OLD), liczbę bakterii psychrotrofowych, kwasowość, zawartość białka, kazeiny i wolnych kwasów tłuszczowych (WKT) oraz przeprowadzono analizę obrazów mikroskopowych mleka. Analizy wykonano bezpośrednio po zastosowaniu ciśnienia i w trakcie 14 dni przechowywania w temperaturze 4 °C.

Wyniki i wnioski. Działanie ciśnień 200 ÷ 400 MPa spowodowało istotną ($p \leq 0,05$) redukcję OLD zależną od wysokości ciśnienia. Stosując ciśnienie 500 MPa uzyskano całkowitą redukcję OLD. Nie stwierdzono obecności bakterii psychrotrofowych bezpośrednio po działaniu ciśnień 300 ÷ 500 MPa, jednak zaobserwowano wzrost tych bakterii w czasie przechowywania. Zastosowanie ciśnień 200 ÷ 500 MPa nie miało wpływu na kwasowość bezpośrednio po presuryzacji oraz istotnie ($p \leq 0,05$) ograniczyło wzrost kwasowości mleka podczas przechowywania. Presuryzacja spowodowała wzrost zawartości kazeiny, jednocześnie nie stwierdzono istotnych zmian zawartości białka ($p > 0,05$), co może wynikać z interakcji kazeiny z białkami serwatkowymi. Działanie ciśnień 200 ÷ 500 MPa spowodowało wzrost zawartości WKT. Podczas przechowywania zawartość WKT była niższa w mleku presuryzowanym w porównaniu z mlekiem kontrolnym. Stwierdzono różnice obrazów mikroskopowych mleka kontrolnego i poddanego działaniu ciśnień bezpośrednio po presuryzacji i po przechowywaniu. Zmiany te wynikały z agregacji kuleczek tłuszczu bezpośrednio po presuryzacji oraz powstawania skupisk kuleczek tłuszczowych i skoagulowanego białka w czasie przechowywania.

Słowa kluczowe: mleko kozie, wysokie ciśnienia, kazeina, WKT, bakterie psychrotrofowe

*Dr hab. inż. A. Janowska, ORCID: 0000-0002-7123-8935, Katedra Inżynierii, Aparatury Procesowej i Biotechnologii Żywności, Wydział Nauk o Żywności, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski, ul. Michała Oczapowskiego 7, 10-719 Olsztyn; dr hab. inż., prof. UWM K. Kielczewska, ORCID: 0000-0002-5267-925X, Katedra Mleczarstwa i Zarządzania Jakością, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski, ul. Michała Oczapowskiego 7, 10-719 Olsztyn; dr inż. M. Wachowska ORCID: 0000-0001-5223-3701; mgr inż. D. Marciniak, Katedra Inżynierii, Aparatury Procesowej i Biotechnologii Żywności, Wydział Nauk o Żywności, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski, ul. Michała Oczapowskiego 7, 10-719 Olsztyn;
Kontakt: e-mail: agajan@uwm.edu.pl*

Wprowadzenie

Światowa produkcja mleka koziego wynosi ponad 19 milionów ton rocznie, co stanowi około 2 % produkcji przemysłu mleczarskiego [10]. W ostatnich dziesięcioleciach produkcja mleka koziego wzrosła ponad dwukrotnie, szacuje się, że do 2030 r. wzrośnie ona o kolejne 53 %. Produkty na bazie mleka koziego i jego pochodnych odgrywają istotną rolę w rozwoju społeczno-gospodarczym w wielu krajach, nie tylko słabo rozwiniętych. Hodowla kóz wpisuje się w aktualny trend produkcji żywności ekologicznej, naturalnej i tradycyjnej [21].

Mleko kozie charakteryzuje się wyższą zawartością białka ogólnego, tłuszczu, substancji mineralnych (Ca, P, Mg, Se, K) oraz większym udziałem krótkołańcuchowych kwasów tłuszczowych niż mleko krowie, co decyduje o jego wyższej wartości odżywczej [13]. Różnice składu oraz właściwości tłuszczu i białek powodują, że mleko kozie wykazuje lepszą strawność w porównaniu z mlekiem krowim, m.in. ze względu na większą zawartość kuleczek tłuszczowych o mniejszych rozmiarach. Obniżony poziom α 1-kazeiny wpływa na zmniejszenie alergenicności mleka koziego, jednak należy dodać, że obecność białek serwatkowych w mleku kozim ma również wpływ na tę cechę. Wysoka zawartość składników odżywczych, mineralnych oraz cechy sensoryczne stanowią podstawę do wykorzystania mleka koziego jako cennego surowca w przemyśle mleczarskim. Mleko kozie jest spożywane bezpośrednio, utrwalane termicznie albo wykorzystywane do produkcji sera, twarogu, jogurtów, odżywek dla niemowląt, lodów oraz proszku mlecznego [22].

Odmienność składu mleka krowiego i koziego wpływa na różnice w przebiegu obróbki wstępnej surowca oraz procesu przetwórczego. Mleko kozie charakteryzuje się niższą przydatnością technologiczną ze względu na niską oporność wobec obróbki termicznej, krótki czas krzepnięcia oraz podatność na rozrywanie skrzepu kazeinowego. Do głównych problemów technologicznych zalicza się obniżoną lepkość oraz słabą konsystencję skrzepu wynikające z niższej zawartości kazeiny w mleku kozim. Niższa koncentracja kazeiny oraz mniejszy jej udział w stosunku do azotu całkowitego determinuje niższą wydajność produkcji sera oraz problemy w obróbce skrzepu ze względu na jego podatność na rozpylenie [22]. Tłuszcz mleka koziego ulega szybkim przemianom lipolitycznym zachodzącym pod wpływem lipaz bakteryjnych. Efektem lipolizy jest wzrost zawartości wolnych kwasów tłuszczowych (WKT), które wpływają na właściwości organoleptyczne i technologiczne mleka. Obecność WKT powyżej 5,6 mg/l wpływa hamująco na rozwój kultur starterowych, zaś koncentracja WKT powyżej 9,5 mg/l może stanowić powód zahamowania ich aktywności [6].

Mleko kozie poddawane jest procesom technologicznym w celu zapewnienia jego bezpieczeństwa mikrobiologicznego podczas produkcji [5]. W celu poprawy jakości mleka koziego i serów kozich stosowano m.in. obróbkę wysokociśnieniową. Delgado i wsp. [8] zaobserwowali różnice pomiędzy serem otrzymanym z mleka pasteryzowa-

nego i poddanego działaniu wysokich ciśnień. Zastosowanie mleka koziego poddanego obróbce ciśnieniowej do produkcji serów, poprawiło ich elastyczność, zapewniając bardziej regularną i zamkniętą matrycę białkową. Natomiast poprawę cech sensorycznych jogurtu z mleka koziego uzyskali Ma i wsp. [19], stosując homogenizację wysokociśnieniową 150 MPa wobec mleka przeznaczonego do jego produkcji.

Technika wysokich ciśnień (HPP – high pressure processing) jest metodą utrwalania żywności stosowaną alternatywnie wobec metod termicznych [25]. Z uwagi na niską stabilność cieplną mleka koziego oraz konieczność utrzymania bezpieczeństwa mikrobiologicznego mleka przeznaczonego w dalszym etapie do produkcji lub spożycia zastosowanie wysokiego ciśnienia wydaje się dobrą alternatywą wobec metod termicznych. Dlatego też celem badań było określenie wpływu wysokiego na wybrane cechy mleka koziego.

Materialy i metody

Przygotowanie surowca do badań

Mleko do badań pozyskano od kóz matek rasy polska biała uszlachetniona oraz mieszańców tej rasy pochodzących z gospodarstwa rolnego Dariusza Marciniaka (Rydzewo 18, 06-452 Ościsłowo. woj. Mazowieckie, gm. Ciechanów). Mleko po udoju poddano cedzeniu, a następnie chłodzeniu do temperatury $4 \div 5^{\circ}\text{C}$. Pobrano próbkę surowego mleka w celu wykonania oznaczeń, zaś pozostałą część poddano działaniu ciśnienia 200, 300, 400 i 500 MPa/ $20^{\circ}\text{C}/10$ min. w generatorze wysokiego ciśnienia U4040 (Unipress Equipment, Warszawa), każdorazowo stosując objętość 100 cm^3 mleka. Oznaczenia wykonano bezpośrednio po zastosowaniu ciśnienia i w trakcie przechowywania w temperaturze chłodniczej (4°C) w czasie 14 dni.

Oznaczenia mikrobiologiczne. Ogólną liczbę drobnoustrojów oraz psychrotrofów w mleku oznaczono metodą płytkową zgodnie z PN-ISO 8553:2023-06 [23] oraz PN-ISO 6730:2008 [24].

Oznaczanie zawartości kazeiny i białka ogólnego. Oznaczenie wykonano metodą formolową Walkera [20].

Oznaczenie kwasowości mleka. Wykonano oznaczenie kwasowości czynnej oraz miareczkowej [30].

Oznaczenie zawartości wolnych kwasów tłuszczowych. Oznaczenie wykonano metodą ekstrakcyjno-miareczkową Dole'a [7].

Analiza mikroskopowa mleka

Mleko barwiono 1,0 % (w/v) Nile Blue i 1,0 % (w/v) Fast Green (Sigma Aldrich, Saint Louis, MO, USA). Próbkę mleka analizowano pod mikroskopem konfokalnym Nikon Eclipse Ti-E (Nikon Instruments, Amsterdam, Holandia) przy powiększeniu 60

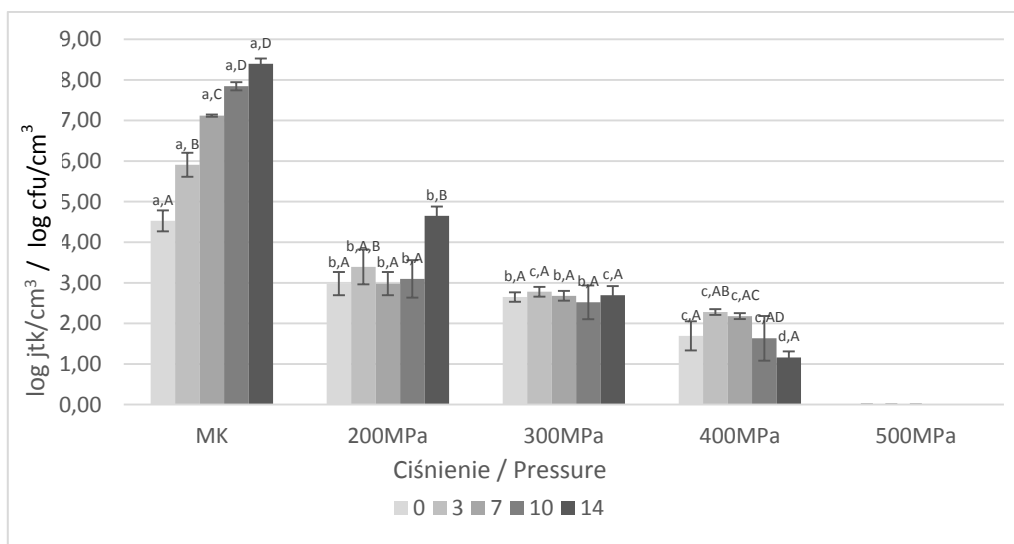
[33]. Obserwacje przeprowadzono bezpośrednio po presuryzacji i po 14 dniach przechowywania mleka w warunkach chłodniczych.

Analiza statystyczna. Wyniki badań przedstawiono jako wartości średnie z odchyleniem standardowym. Istotność różnic określono przy pomocy dwuczynnikowej analizy wariancji ANOVA oraz testu Tukeya przy poziomie istotności 0,05. Wyniki obliczeń nieróżniące się między sobą statystycznie istotnie zostały pogrupowane w jednorodne grupy i oznaczone taką samą literą. Analizę statystyczną wykonano w programie StatSoft Inc. Statistica v. 10,0 (Tulsa, Oklahoma, USA).

Wyniki i dyskusja

Ogólna liczba drobnoustrojów (OLD) i liczba bakterii psychrotrofowych.

Liczba oraz zróżnicowanie gatunkowe drobnoustrojów w mleku jest składową sposobu żywienia, warunków higienicznych siedziby stada, sposobu udoju oraz stanu zdrowia zwierząt. Zgodnie z wymogami rozporządzenia Komisji (WE) nr 1662/2006 [26] mleko kozie surowe nie powinno zawierać więcej niż $6,18 \log \text{ jtk/cm}^3$. W mleku kontrolnym OLD wynosiła $4,53 \log \text{ jtk/cm}^3$. Po 14 dniach przechowywania w warunkach chłodniczych ogólna liczba drobnoustrojów wzrosła do $8,40 \log \text{ jtk/cm}^3$. Zastosowanie ciśnień 200, 300 i 400 MPa obniżyło OLD odpowiednio o 1,54; 1,88 i 2,84 cyklu logarytmicznego w odniesieniu do próby kontrolnej (rycina 1).



Rycina 1. Ogólna liczba drobnoustrojów (OLD) w mleku kozim kontrolnym (MK) i poddanym działaniu ciśnień 200 ÷ 500 MPa, przechowywanym przez 14 dni w temperaturze 4 °C

Figure 1. Total number of microorganisms(OLD) in control (MK) and pressurized (200 ÷ 500 MPa) goat's milk during 14 days of storage at a temperature of 4 °C

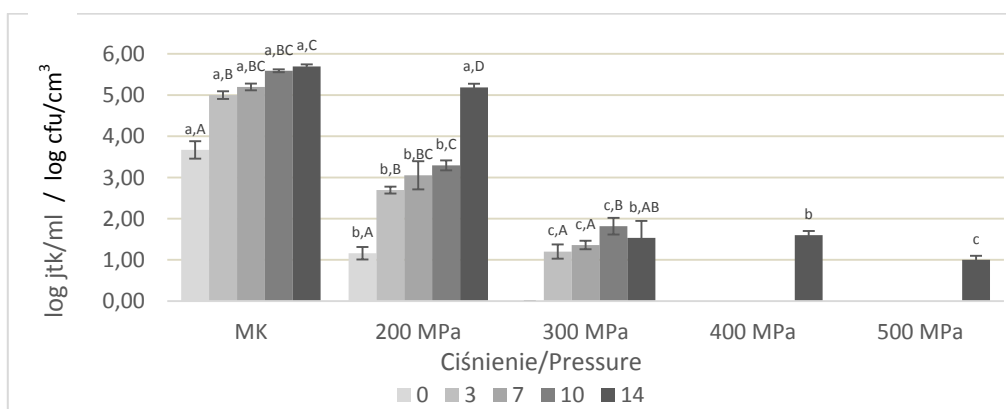
Objaśnienia / Explanatory notes:

$n = 3$; ^{a-d} – wartości średnie oznaczone różnymi małymi literami w indeksie górnym wskazują istotnie statystycznie różnice przy $p \leq 0,05$ w zależności od zastosowanego ciśnienia, ^{A-D} – wartości średnie oznaczone dużymi literami w indeksie górnym wskazują istotnie statystycznie różnice przy $p \leq 0,05$ w zależności od czasu przechowywania/ ^{a-d} – mean values denoted by different superscript lower case letters indicate statistically significant differences at $p \leq 0.05$ depending on pressure value, ^{A-D} – mean values denoted with different upper case letters in superscript indicate statistically significant differences at $p \leq 0.05$ depending on storage time.

Nie stwierdzono obecności mikroorganizmów (OLD) w próbach mleka presuryzowanego ciśnieniem 500 MPa bezpośrednio po presuryzacji i w trakcie przechowywania. Zbliżone wyniki uzyskał Razali i wsp. [25], badając wpływ presuryzacji w zakresie 200 ÷ 600 MPa/25 °C/5, 10, 15 min. na mleko kozie. Ciśnienia 400 i 600 MPa spowodowało całkowitą redukcję OLD w badanym mleku. Inaktywacja mikroorganizmów była związana z wysokością zastosowanego ciśnienia. Tan i wsp. [29] stwierdzili, że liczba bakterii w mleku kozim po presuryzacji w 15 °C obniżyła się o 4 rzędy log (450 MPa/7 min) i 5 rzędów log (600 MPa/7 min). Wysokie ciśnienie powoduje krystalizację fosfolipidów błon komórkowych, osłabiając w ten sposób mikroorganizmy i powoduje ich inaktywację. Podatność drobnoustrojów na działanie ciśnienia jest wypadkową zastosowanych parametrów procesu, obecności składników odżywczych oraz stanem fizjologicznym komórek [32]. Działanie ciśnień 300 ÷ 400 MPa spowodowało zahamowanie namnażania drobnoustrojów w mleku podczas przechowywania. Spowolnienie wzrostu mikroorganizmów jest spowodowane uszkodzeniem ściany komórkowej, błony komórkowej i składników cytoplazmatycznych komórki w wyniku presuryzacji. Stosowanie wysokich ciśnień przyczynia się do powstania zmian ilościowych oraz jakościowych w obrębie DNA, co powoduje degradację komórki i niezdolność do namnażania [3].

Bakterie psychrotrofowe powodują stopniowe, niekorzystne i nieodwracalne zmiany składu chemicznego oraz cech sensorycznych, mleka a natężenie tych zmian zależy od początkowej liczby i charakteru drobnoustrojów. Udział bakterii psychrotrofowych w ogólnej liczbie drobnoustrojów w świeżym mleku kształtuje się na poziomie 20 % i ta proporcja może zmieniać się w trakcie chłodniczego przechowywania, kiedy to bakterie psychrotrofowe stanowią mogą 90 % OLD a nawet ją przewyższać [17]. Bakterie psychrotrofowe charakteryzuje zdolność wzrostu w temperaturze poniżej 7 °C i wytwarzania w niskich temperaturach enzymów termoopornych, w tym proteolitycznych i lipolitycznych, które są zdolne do hydrolizy tłuszczu i białka mleka, co znacznie obniża przydatność technologiczną [27]. Liczba bakterii psychrotrofowych w próbce mleka świeżego, wynosiła 3,67 log jtk/cm³, co stanowiło 27,15 % OLD. W czasie przechowywania mleka niepresuryzowanego stwierdzono wzrost liczby bakterii psychrotrofowych, który był najbardziej dynamiczny w pierwszych 3 dniach przechowywania (rycina 2). W kolejnych dniach wzrost liczby bakterii przebiegał wolniej, osiągając

wartość 5,59 log jtk/ cm³ po 14 dniach przechowywania. Ciśnienie 200 MPa obniżyło liczbę bakterii psychrotrofowych o 2,51 cyklu logarytmicznego. Odnotowano wzrost liczby psychrotrofów w 3 ÷ 10 dniu przechowywania w następstwie rozwoju bakterii wykazujących żywotność w temperaturach chłodniczych. Nie stwierdzono obecności bakterii psychrotrofowych po zastosowaniu ciśnień 300 MPa bezpośrednio po presuryzacji oraz po zastosowaniu ciśnień 400 i 500 MPa, jednak po 14 dniach przechowywania oznaczono bakterie w mleku, co można wytłumaczyć obecnością form przetrwalnych, opornych na presuryzację [29]. Bakterie psychrotrofowe wykazują zróżnicowaną oporność wobec wysokich ciśnień. Stosowanie ciśnienia 200 MPa /25 °C/30 min. zredukowało liczbę *Streptococcus aureus* o 75 % i *Salmonella sp.* o 90 %. Ciśnienie powyżej 500 MPa/20 °C/10 min. spowodowało znaczącą redukcję *L. monocytogenes* w surowym mleku [32]. Inaktywacja mikroorganizmów determinowana przez wysokie ciśnienia przebiega zgodnie z kolejnością: *P. fluorescens* > *E. coli* > *L. innocua* > *L. helveticus* > *S. aureus* i jest uzależniona od wysokości stosowanego ciśnienia [9]. Biorąc pod uwagę efekt działania ciśnienia na mikroorganizmy, presuryzację można porównać do pasteryzacji. Stabilność mikrobiologiczna mleka wynosiła do 10 dni



Rycina 2. Liczba bakterii psychrotrofowych w mleku kozim kontrolnym (MK) i poddanym działaniu ciśnień (200 ÷ 500 MPa), przechowywanym przez 14 dni w temperaturze 4 °C

Figure 2. Number of psychrotrophic bacteria in control (MK) and pressurized (200 ÷ 500 MPa) goat's milk during 14 days of storage at a temperature of 4 °C

Objaśnienia / Explanatory notes:

n = 3; ^{a-d} – wartości średnie oznaczone różnymi małymi literami w indeksie górnym wskazują istotnie statystycznie różnice przy $p \leq 0,05$ w zależności od zastosowanego ciśnienia, ^{A-D} – wartości średnie oznaczone dużymi literami w indeksie górnym wskazują istotnie statystycznie różnice przy $p \leq 0,05$ w zależności od czasu przechowywania/ ^{a-d} – mean values denoted by different superscript lower case letters indicate statistically significant differences at $p \leq 0.05$ depending on pressure value, ^{A-D} – mean values denoted with different upper case letters in superscript indicate statistically significant differences at $p \leq 0.05$ depending on storage time.

przechowywania w temperaturze chłodniczej, co potwierdzają również badania innych autorów [25].

Oznaczanie zawartości białka ogólnego i kazeiny

Zawartość białka w mleku jest wartością zmienną, zależną od czynników genetycznych oraz sposobu żywienia. Udział białka w mleku kóz rasy polska biała uszlachetniona mieści się w zakresie $2,8 \div 3,5$ %. Przechowywanie nieutrwalonego mleka koziego może prowadzić do obniżenia zawartości białka ogólnego (w tym kazeiny) na skutek proteolizy i wykorzystania białka jako źródła aminokwasów determinujących wzrost mikroorganizmów w mleku [2]. Działanie wysokiego ciśnienia powoduje szereg zmian struktury, wzajemnych oddziaływań białek mleka oraz ich interakcji z innymi składnikami. Presuryzacja, w zależności od wysokości stosowanego ciśnienia, może wpływać na zmiany rozmiarów micel kazeinowych, wzrost udziału rozpuszczalnych frakcji kazeiny, denaturację białek serwatkowych, interakcje białek mleka ze składnikami otoczek kuleczek tłuszczowych [4].

Surowiec cechował się wysoką zawartością procentową kazeiny ($2,57 \pm 0,4$ %) oraz białka ogólnego ($3,97 \pm 0,6$ %). W czasie przechowywania mleka nieutrwalonego w warunkach chłodniczych nie stwierdzono istotnych ($p > 0,05$) zmian zawartości kazeiny oraz białka ogólnego (tabela 2). W czternastym dniu przechowywania zawartość kazeiny była niższa o 3,11 % a zawartość białka o 7,15 % w stosunku do zawartości oznaczonej przed przechowywaniem (tabela 1).

Działanie ciśnienia spowodowało istotny statystycznie ($p \leq 0,05$) wzrost zawartości kazeiny w mleku, jednocześnie nie stwierdzono istotnych statystycznie ($p > 0,05$) zmian zawartości białka. Również Tan i wsp. [29] nie stwierdzili istotnego wpływu ciśnień $450 \div 600$ MPa/15 °C/7 min. na zawartość białka w mleku. Natomiast większa zawartość kazeiny może wynikać z jej interakcji z białkami serwatkowymi w mleku poddanym presuryzacji, co zostało stwierdzone w badaniach Kielczewskiej i wsp. [15]. Podczas przechowywania nie stwierdzono istotnych statystycznie różnic zawartości kazeiny w mleku niepresuryzowanym a poddanym działaniu ciśnienia. Reakcja łączenia białek serwatkowych z micelami kazeinowymi mleka ma charakter odwracalny ze względu na brak obecności wolnych grup tiolowych w strukturze β -laktoglobulin i nietrwałość powstających mostków dwusiarczkowych pomiędzy micelami kazeinowymi a β -laktoglobuliną [31]. Nie stwierdzono istotnych statystycznie ($p > 0,05$) różnic zawartości kazeiny podczas przechowywania mleka niepresuryzowanego i presuryzowanego. Zaobserwowano natomiast istotne statystycznie ($p \leq 0,05$) zmniejszenie zawartości białka w mleku poddanym działaniu ciśnienia 400 i 500 MPa od siódmego dnia przechowywania. Po przechowywaniu zawartość białka w mleku poddanym działaniu ciśnień 200 i 300 MPa zmniejszyła się odpowiednio o 3,34 % i 5,91 %, a po zastosowaniu ciśnień 400 MPa i 500 MPa o 8,64 % i 9,61 %. Mniejsza ilość białka może

być spowodowana zmianami denaturacyjnymi białek serwatkowych po zastosowaniu ciśnień powyżej 400 MPa [12].

Tabela 1. Zawartość kazeiny i białka ogólnego w mleku kozim kontrolnym (MK) i poddanym działaniu ciśnień 200 ÷ 500 MPa i przechowywanym przez 14 dni w temperaturze 4 °C

Table 1. Casein content and total protein content in control (MK) and pressured (200 ÷ 500 MPa) goat's milk during 14 days of storage at temperature 4 °C

czas (dni) / time (days)	0	3	7	10	14
ciśnienie / pressure (MPa)	zawartość kazeiny / casein content (%)				
MK	2,57 ^{aA} ±0,04	2,53 ^{aA} ±0,06	2,52 ^{aA} ±0,06	2,52 ^{aA} ±0,06	2,49 ^{aA} ±0,06
200	2,67 ^{bA} ±0,03	2,59 ^{aA} ±0,06	2,54 ^{aA} ±0,01	2,54 ^{aA} ±0,11	2,53 ^{aA} ±0,03
300	2,70 ^{bA} ±0,02	2,59 ^{aA} ±0,12	2,56 ^{aA} ±0,01	2,56 ^{aA} ±0,06	2,54 ^{aA} ±0,03
400	2,72 ^{bA} ±0,01	2,66 ^{aA} ±0,10	2,58 ^{aA} ±0,13	2,56 ^{aA} ±0,01	2,54 ^{aB} ±0,03
500	2,76 ^{bA} ±0,02	2,70 ^{bA} ±0,21	2,62 ^{aA} ±0,14	2,56 ^{aB} ±0,01	2,54 ^{aB} ±0,03
ciśnienie / pressure (MPa)	zawartość białka ogólnego / total protein content (%)				
MK	3,97 ^{aA} ±0,06	3,87 ^{aA} ±0,01	3,80 ^{aA} ±0,09	3,78 ^{aA} ±0,09	3,69 ^{aA} ±0,09
200	3,89 ^{abA} ±0,16	3,89 ^{aA} ±0,09	3,83 ^{aA} ±0,05	3,80 ^{aA} ±0,07	3,76 ^{aA} ±0,13
300	3,89 ^{aA} ±0,22	3,88 ^{aA} ±0,13	3,86 ^{aAB} ±0,01	3,72 ^{aA} ±0,09	3,66 ^{aA} ±0,23
400	4,03 ^{aA} ±0,09	3,99 ^{aA} ±0,05	3,83 ^{aAB} ±0,05	3,82 ^{aAB} ±0,05	3,68 ^{aB} ±0,01
500	4,06 ^{aA} ±0,13	3,98 ^{aA} ±0,32	3,82 ^{aAB} ±0,17	3,79 ^{aAB} ±0,01	3,67 ^{aB} ±0,09 ^b

Objaśnienia / Explanatory notes:

n = 3; ^{a-d} – wartości średnie oznaczone różnymi małymi literami w indeksie górnym wskazują istotnie statystycznie różnice przy $p \leq 0,05$ w zależności od zastosowanego ciśnienia, ^{A-D} – wartości średnie oznaczone dużymi literami w indeksie górnym wskazują istotnie statystycznie różnice przy $p \leq 0,05$ w zależności od czasu przechowywania/ ^{a-d} – mean values denoted by different superscript lower case letters indicate statistically significant differences at $p \leq 0.05$ depending on pressure value, ^{A-D} – mean values denoted with different upper case letters in superscript indicate statistically significant differences at $p \leq 0.05$ depending on storage time.

Oznaczenie kwasowości czynnej (pH) i potencjalnej mleka

Kwasowość czynna i potencjalna stanowi jeden z najważniejszych czynników determinujących przebieg oraz wydajność procesów technologicznych obróbki mleka. Składnikami odpowiedzialnymi za kwasowość mleka są przede wszystkim: sole kwasne, kazeina, kwasy nieorganiczne oraz organiczne. Kwasowość czynna określana jest za pomocą stężenia jonów wodorowych w roztworze i wyrażana w postaci wykładnika wodorowego pH. Głównymi czynnikami determinującymi wartość kwasowości potencjalnej mleka jest ilość kazeiny oraz kwasów organicznych. Mleko o kwasowości mia-

reczkowej w zakresie $8,0 \div 9,0$ °SH uznaje się za surowiec lekko nadkwaszony, cechujący się niską stabilnością termiczną białka; zaś powyżej 9° SH jako nadkwaszone silnie nieposiadające przydatności technologicznej w mleczarstwie [5]. W tabeli 2 przedstawiono wyniki analiz kwasowości mleka koziego bezpośrednio po presuryzacji i podczas przechowywania.

Tabela 2. Kwasowość w mleku kozim kontrolnym (MK) i poddanym działaniu ciśnień $200 \div 500$ MPa i przechowywanym przez 14 dni w temperaturze 4°C

Table 2. Acidity of control (MK) and pressured ($200 \div 500$ MPa) goat's milk during 14 days of storage at a temperature of 4°C

czas (dni) time (days)	0	3	7	10	14
ciśnienie/pressure (MPa)	°SH				
MK	$4,80^{aA} \pm 0,05$	$5,25^{aA} \pm 0,31$	$5,53^{aB} \pm 0,20$	$7,90^{aB} \pm 0,48$	$13,97^{aB} \pm 0,25$
200	$4,55^{aA} \pm 0,00$	$4,30^{bA} \pm 0,35$	$4,60^{bA} \pm 0,18$	$5,05^{bB} \pm 0,05$	$5,45^{bB} \pm 0,14$
300	$4,50^{aA} \pm 0,10$	$4,20^{bA} \pm 0,09$	$4,45^{bA} \pm 0,08$	$4,95^{bAB} \pm 0,09$	$5,30^{bcB} \pm 0,14$
400	$4,50^{aA} \pm 0,15$	$4,25^{bA} \pm 0,20$	$4,39^{bA} \pm 0,14$	$4,90^{bAB} \pm 0,18$	$5,21^{bcB} \pm 0,14$
500	$4,63^{aA} \pm 0,15$	$4,21^{bA} \pm 0,36$	$4,35^{bA} \pm 0,10$	$4,50^{bA} \pm 0,13$	$4,95^{cA} \pm 0,09$
ciśnienie/pressure (MPa)	pH				
MK	$6,63^{aA} \pm 0,02$	$6,60^{aA} \pm 0,02$	$6,61^{aA} \pm 0,02$	$6,44^{aA} \pm 0,05$	$6,07^{aB} \pm 0,08$
200	$6,67^{abA} \pm 0,05$	$6,74^{aA} \pm 0,04$	$6,65^{aA} \pm 0,01$	$6,61^{aA} \pm 0,01$	$6,55^{aA} \pm 0,04$
300	$6,70^A \pm 0,05$	$6,79^{aA} \pm 0,05$	$6,67^{aAB} \pm 0,07$	$6,63^{aA} \pm 0,03$	$6,62^{bA} \pm 0,04$
400	$6,65^{aA} \pm 0,09$	$6,71^{aA} \pm 0,05$	$6,66^{aAB} \pm 0,02$	$6,66^{aAB} \pm 0,02$	$6,63^{bA} \pm 0,01$
500	$6,64^{aA} \pm 0,02$	$6,70^{aA} \pm 0,04$	$6,66^{aAB} \pm 0,05$	$6,67^{aAB} \pm 0,07$	$6,64^{bA} \pm 0,04^b$

Objaśnienia / Explanatory notes:

$n = 3$; ^{a-d} – wartości średnie oznaczone różnymi małymi literami w indeksie górnym wskazują istotnie statystycznie różnice przy $p \leq 0,05$ w zależności od zastosowanego ciśnienia, ^{A-D} – wartości średnie oznaczone dużymi literami w indeksie górnym wskazują istotnie statystycznie różnice przy $p \leq 0,05$ w zależności od czasu przechowywania/ ^{a-d} – mean values denoted by different superscript lower case letters indicate statistically significant differences at $p \leq 0.05$ depending on pressure value, ^{A-D} – mean values denoted with different upper case letters in superscript indicate statistically significant differences at $p \leq 0.05$ depending on storage time.

Świeże mleko kozie cechowało się kwasowością potencjalną $4,8 \pm 0,05$ °SH i czynną pH $6,63 \pm 0,02$. Stwierdzono nieznaczące ($p > 0,05$) zmniejszenie kwasowości czynnej i potencjalnej mleka bezpośrednio po presuryzacji i do trzeciego dnia przechowywania we wszystkich analizowanych próbach presuryzowanych. Podobne wyniki uzyskali Tan i wsp. [29] po zastosowaniu ciśnień $200 \div 600$ MPa. Zmniejszenie kwasowości może stanowić następstwo wzrostu rozpuszczalności kazeiny oraz fosfo-

ranu wapnia w mleku prowadząc do śladowej alkalizacji surowca. Law i wsp. [18] zaobserwowali wzrost rozpuszczalności kazeiny oraz związków mineralnych (wapń, fosfor) w mleku kozim poddanym presuryzacji w zakresie 100 ÷ 500 MPa (10 min, 20°C).

W czasie przechowywania mleka niepoddanego działaniu ciśnienia stwierdzono wzrost kwasowości. Po tygodniu przechowywania kwasowość miareczkowa wynosiła $5,25 \pm 0,31$ °SH, co świadczy o postępujących przemianach metabolicznych i enzymatycznych zachodzących w surowcu. Zwiększenie kwasowości miareczkowej odnotowano w 10. dniu oraz 14. dniu przechowywania mleka (tabela 2). Wzrost kwasowości potencjalnej był następstwem przemian enzymatycznych i rozwoju drobnoustrojów. Działanie ciśnienia 200 ÷ 500 MPa spowodowało zahamowanie wzrost kwasowości miareczkowej mleka koziego podczas przechowywania. Kwasowość czynna mleka niepresuryzowanego uległa stopniowemu wzrostowi od pH $6,63 \pm 0,02$ do pH $6,07 \pm 0,08$ po 14 dniach przechowywania. Natomiast nie stwierdzono istotnych statystycznie ($p > 0,05$) zmian kwasowości czynnej mleka presuryzowanego 200 ÷ 500 MPa podczas przechowywania w warunkach chłodniczych. Działanie wysokiego ciśnienia ograniczyło przemiany enzymatyczne i działanie drobnoustrojów w mleku, co wpłynęło na zahamowanie przemian prowadzących do wzrostu kwasowości.

Oznaczenie zawartości wolnych kwasów tłuszczowych

Lipoliza prowadzi do uwalniania wolnych kwasów tłuszczowych (WKT), mono- i diglicerydów z triglicerydów. Rozmiar lipolizy mierzony ilością powstających WKT ma decydujący wpływ na parametry organoleptyczne (smak, zapach) mleka świeżego, pogarsza przydatność technologiczną mleka jako surowca dla przemysłu mleczarskiego, a w konsekwencji obniża jakość uzyskanych produktów [28].

Zmiany stężenia wolnych kwasów tłuszczowych (WKT) w próbach świeżego mleka koziego oraz mleka poddanego presuryzacji przedstawiono w tabeli 3.

Początkowa niska zawartość wolnych kwasów tłuszczowych ($3,73 \pm 0,41$ $\mu\text{Eq}/\text{cm}^3$) w próbce świeżego mleka koziego świadczy o dobrej jakości surowca. Istotny wzrost ($p \leq 0,05$) zawartości wolnych kwasów tłuszczowych w próbce mleka nieutrwalanego oznaczono po 7 dniach przechowywania. W czasie 10-dniowego okresu przechowywania zaobserwowano dalsze zwiększenie liczby wolnych kwasów tłuszczowych. Po 14 dniach przechowywania nie stwierdzono istotnego statystycznie ($p > 0,05$) wzrostu zawartości WKT w mleku, co może świadczyć o wyczerpaniu dostępnych lipidów bądź inhibicji enzymatycznej w wyniku obniżenia pH lub wysokiej koncentracji WKT w mleku. Działanie ciśnień 200 ÷ 500 MPa spowodowało początkowy wzrost zawartości WKT w odniesieniu do mleka świeżego. Gervilla i wsp. [11] stwierdzili, że ciśnienia w zakresie 100 ÷ 500 MPa stosowane w temp. 4, 25 i 50 °C nie wywołują wzrostu ilości WKT w mleku krów. Natomiast w badaniach Kim i wsp. [16]

stwierdzono znaczący ($p \leq 0,05$) wpływ ciśnienia 200 MPa/20 i 30 min./ $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$ na wzrost zawartości WKT. Działanie ciśnień od 100 do 500 MPa wywołuje zmiany średnicy kuleczek tłuszczowych. Zmiany średnicy kuleczek mogą być spowodowane ich dezintegracją lub agregacją [14]. Ciśnienia działające w temperaturze 25 i $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ prowadzą do zwiększenia udziału małych kuleczek o średnicy w zakresie $1 \div 2\text{ }\mu\text{m}$, a ich mechaniczne uszkodzenie na skutek działania ciśnienia może być przyczyną zmian lipolitycznych i wzrostu zawartości WKT. Wyższa zawartość wolnych kwasów tłuszczowych w próbach mleka presuryzowanego utrzymywała się do 3 dnia przechowywania. Najniższą zawartość wolnych kwasów tłuszczowych po 14 dniach przechowywania oznaczono w próbce mleka presuryzowanego 500 MPa ($8,61 \pm 0,79\text{ }\mu\text{Eq/cm}^3$), co wskazuje na zahamowanie zmian lipolitycznych w mleku wraz ze wzrostem ciśnienia.

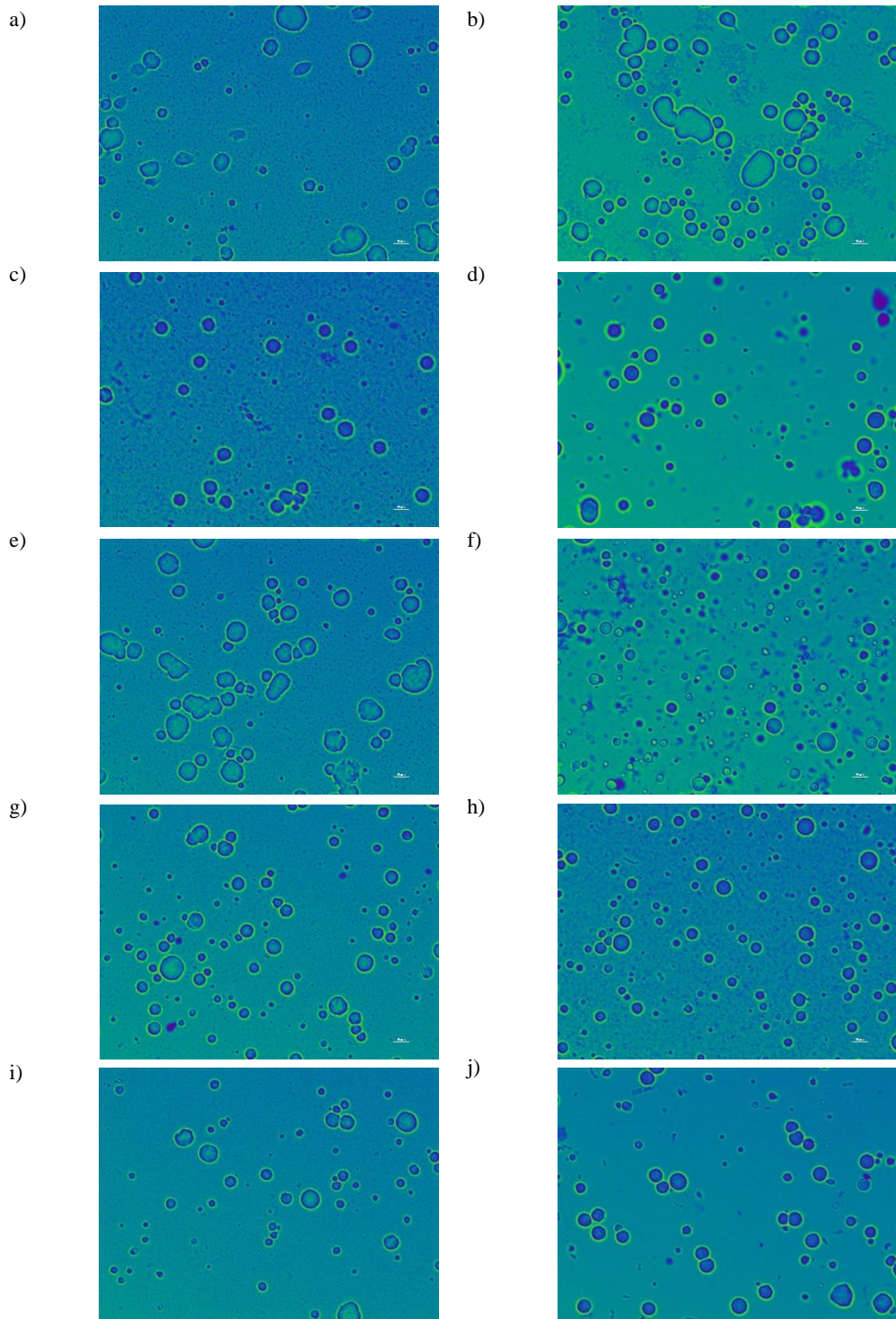
Tabela 3. Zawartość wolnych kwasów tłuszczowych (WKT) w mleku kozim kontrolnym (MK) i poddanym działaniu ciśnień (200 ÷ 500 MPa) podczas przechowywania przez 14 dni w temperaturze $4\text{ }^{\circ}\text{C}$

Table 3. Free fatty acid content (FFA) in control (MK) and pressured (200 ÷ 500 MPa) goat's milk during 14 days of storage at a temperature of $4\text{ }^{\circ}\text{C}$

czas (dni) time (days)	0	3	7	10	14
ciśnienie/ pressure (MPa)	WKT / FFA [$\mu\text{Eq/cm}^3$]				
MK	$3,73^{aA} \pm 0,41$	$5,43^{aA} \pm 0,15$	$8,76^{aB} \pm 0,50$	$20,45^{aC} \pm 0,31$	$20,48^{aC} \pm 2,20$
200	$6,01^{bA} \pm 0,37$	$6,32^{bAC} \pm 0,71$	$7,56^{aAC} \pm 0,86$	$8,98^{bBC} \pm 0,19$	$9,71^{bB} \pm 0,62$
300	$6,18^{bA} \pm 0,80$	$6,99^{bA} \pm 0,54$	$7,86^{aAC} \pm 0,48$	$8,99^{bBC} \pm 0,28$	$9,43^{bBC} \pm 0,44$
400	$5,53^{bA} \pm 0,18$	$7,38^{bAC} \pm 1,16$	$8,26^{abB} \pm 0,58$	$9,09^{bBC} \pm 0,27$	$9,56^{bB} \pm 0,59$
500	$5,63^{bA} \pm 0,53$	$5,98^{bA} \pm 0,30$	$6,40^{bA} \pm 0,73$	$8,52^{bB} \pm 0,54$	$8,61^{bB} \pm 0,79$

Objaśnienia / Explanatory notes:

$n = 5$; $a-b$ – wartości średnie oznaczone różnymi małymi literami w indeksie górnym wskazują istotnie statystycznie różnice przy $p \leq 0,05$ w zależności od zastosowanego ciśnienia, $A-C$ – wartości średnie oznaczone dużymi literami w indeksie górnym wskazują istotnie statystycznie różnice przy $p \leq 0,05$ w zależności od czasu przechowywania/ $a-b$ – mean values denoted by different superscript lower case letters indicate statistically significant differences at $p \leq 0.05$ depending on pressure value, $A-C$ mean values denoted with different upper case letters in superscript indicate statistically significant differences at $p \leq 0.05$ depending on storage time.



Rycina 3. Wpływ ciśnień (200-500 MPa) na mikrostrukturę mleka koziego bezpośrednio po presuryzacji (lewa kolumna; a,c,e,g,i) i po przechowywaniu (prawa kolumna; b, d, f, h, j), powiększenie 60 x, skala 10 mm: a i b, mleko kontrolne (MK); c i d, 200 MPa; e i f, 300 MPa; g i h, 400 MPa; i i j, 500 MPa

Figure 3. The effect of pressure treatment (200-500 MPa) on the microstructure of goat's milk directly after processing (left column; a,c,e,g,i) and after storage (right column; b, d, f, h, j), 60 x magnification, scale 10 mm: a and b, control milk (MK); c and d, 200 MPa; e and f, 300 MPa; g and h, 400 MPa; i and j, 500 MPa

Analiza mikroskopowa mleka

Zmiany wywołane działaniem wysokiego ciśnienia oraz zachodzące podczas chłodniczego przechowywania mleka zostały zaobserwowane w obrazach mikroskopowych. Brak aglutyniny w mleku kozim powoduje, że kuleczki tłuszczu nie tworzą skupisk podczas jego przechowywania [1]. Jednakże w próbkach mleka poddanych działaniu ciśnienia 300 MPa i wyższemu zaobserwowano skupienie się kuleczek tłuszczu (ryc. 1 e, g, i). Tworzenie się aglomeratów kuleczek tłuszczowych i skoagulowanego białka zaobserwowano w próbce mleka kontrolnego, które wykazywało najniższe pH ($6,07 \pm 0,08$) po przechowywaniu. Zaobserwowano także aglomeraty kuleczek tłuszczu i skoagulowanego białka mleka w próbkach poddanych działaniu ciśnień 200 MPa i 300 MPa po przechowywaniu (ryc. 1 d, f). Jednak pomiary wielkości cząstek wykazały, że proces grupowania był mniej wyraźny niż w mleku kontrolnym [14]. Koagulacji białek nie obserwowano w próbkach po obróbce ciśnieniem 400 i 500 MPa, co zostało potwierdzone w obrazach mikroskopowych.

Wnioski

1. Na podstawie uzyskanych wyników można wnioskować o dużym potencjale techniki wysokich ciśnień w poprawie jakości mikrobiologicznej mleka koziego, pozwalającej na zastąpienie tradycyjnej metody utrwalania przy zastosowaniu wysokiej temperatury. Ma to szczególne znaczenie z uwagi na niską stabilność cieplną mleka koziego uniemożliwiającą jego utrwalenie w wysokiej temperaturze.
2. Mając na względzie standardy higieniczne mleka jako surowca i bezpieczeństwo konsumenta można stwierdzić, że presuryzacja spełnia postawione cele pod względem mikrobiologicznym, ponieważ skutkuje destrukcją drobnoustrojów bez oznak widocznej koagulacji skrzepu.
3. Zatem mleko kozie poddane presuryzacji może zostać przeznaczone do dalszej produkcji. Kolejne etapy badań nad wpływem presuryzacji na cechy mleka koziego należy rozszerzyć o oznaczenie innych grup drobnoustrojów oraz skoncentrować się na przemianach zwiększających wartość odżywczą i biologiczną mleka.

Literatura

- [1] Abbas H.M., Hassan F.A.M., Abd El-Gawad M.A.M., Enab A.K.: Physicochemical characteristics of goat's milk. *Life Sci. J.*, 2014, 11(1s), 307-317.
- [2] Adamiak A., Górska A., Mróz B.: Bakterie psychrotrofowe w mleku surowym i jego przetworach., *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość.*, 2015, 4 (101), 36-48.
- [3] Andrés V., Villanueva M.J., Tenorio M.D.: Influence of high pressure processing on microbial shelf life, sensory profile, soluble sugars, organic acids, and mineral content of milk- and soy smoothies. *LWT-Food Sci. Technol.*, 2016, 65, 98-105.
- [4] Considine T., Patel H.A., Anema S.G., Singh H., Creamer L.K.: Interaction of milk proteins during heat and high hydrostatic pressure treatments - a review. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* 2007, 8(1), 1-23.
- [5] Danków-Kubisz R.: Nowoczesne metody przetwarzania mleka koziego. *Wiadomości Zootechniczne*, R. XLV, 2007, 1-2, 15-21.
- [6] Danków R., Wójtowski J., Pikul J., Gut A.: Przydatność mleka koziego do przetwórstwa. *Ann. Warsaw Agric. Univ.*, 2000, 37, 60-73.
- [7] Deeth H.C., Fitz-Gerald C.H., Wood A.F.: A convenient method determining the extend of lipolysis in milk, *Austral. Dairy Technol.*, 1975, 30(3), 109-113.
- [8] Delgado F.J., González-Crespo J., Cava R, Ramírez R.: Changes in the volatile profile of a raw goat milk cheese treated by hydrostatic high pressure at different stages of maturation, *Int. Dairy J.*, 2011, 21(3), 135-141.
- [9] Dudzińska A., Domagała J., Wszolek M.: Wpływ wysokiego ciśnienia hydrostatycznego na mikroorganizmy występujące w mleku i na właściwości mleka. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2014, 3 (94), 27-40.
- [10] FAOSTAT Crops and livestock products. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL> (26.07. 2023)
- [11] Gervilla R., Ferragut V., Guamis B.: High hydrostatic pressure effects on colour and milk-fat globule of ewe's milk. *J. Food Sci.*, 2001, 66(6), 880-885
- [12] Huppertz T., Fox P.F, Kelly A.L.: High pressure treatment of bovine milk: Effects on casein micelles and whey proteins. *J Dairy Res.*, 2004, 71(1), 98-106.
- [13] Joon R., Mishra S.K., Brar G.S., Singh P.K., Panwar H.: Instrumental texture and syneresis analysis of yoghurt prepared from goat and cow milk. *Pharma Innov.*, 2017, 6(7), 971-974.
- [14] Kielczewska K., Jankowska A., Dąbrowska A., Wachowska M., Ziajka J.: The effect of high pressure treatment on the dispersion of fat globules and the fatty acid profile of caprine milk. *Int. Dairy J.*, 2020, 102, #104607.
- [15] Kielczewska K., Dąbrowska, A., Jankowska A., Wachowska M., Kowalik J.: The effect of high-pressure treatment and skimming on caprine milk proteins. *Appl Sci.*, 2021, 11(13), #5982.
- [16] Kim H. Y., Kim S.H., Choi M.J., Min S.G., Kwak H.S.: The Effect of High Pressure-Low Temperature Treatment on Physicochemical Properties in Milk. *J. Dairy Sci.* 2007, 91, 4176-4182.
- [17] Kim I.S., Hur Y.K., Kim E.J., Ahn Y.T., Kim J.G., Choi Y. J., Huh Ch.S.: Comparative analysis of the microbial communities in raw milk produced in different regions of Korea. *Asian-Australas J. Anim. Sci.*, 2017, 30, 11, 1643-1650.
- [18] Law A.J.R., Leaver J., Felipe X., Ferragut V., Pla R., Guamis B.: Comparison of the effects of high pressure and thermal treatments on the casein micelles in goat's milk. *J. Agric. Food Chem.*, 1998, 46(7), 2523-2530.
- [19] Ma J., Wang Q., Dou N., Li Y., Ma Y., Liu Y., Wu M., Wei X., Miao Y., Chen L., Xu D., Hou J., Jiang Z.: Evaporative concentration and high-pressure homogenization for improving the quality attributes and functionality of goat milk yogurt. *LWT-Food Sci. Technol.*, 2023, 184, #115016.
- [20] Matyjewicz O., Czyżak-Runowska G., Pankiewicz R., Leska B.: Determination of casein, calcium

- and magnesium in different types of milk. *Ind. Technol. Engin.*, 2016, 4(21), 34-40.
- [21] Miller B.P., Lu Ch. D.: Current status of global dairy goat production: an overview. *Asian-Australasian J. Anim. Sci.*, 2019, 32, (8 Suppl), 1219-1232.
- [22] Park Y.W., Jeanjulien, C., Siddique A.: Factors affecting sensory quality of goat milk cheeses: a review. *J. Adv. Dairy Res.*, 2017, 5, #185.
- [23] PN-ISO 8553:2023-06 - Mleko - Oznaczanie liczby drobnoustrojów - Technika płytkowo-ezowa w temperaturze 30 stopni C.
- [24] PN-ISO 6730:2008 - Mleko - Oznaczanie liczby jednostek tworzących kolonie drobnoustrojów psychrotrofowych -- Metoda liczenia kolonii w temperaturze 6,5 stopni C.
- [25] Razali M.F., Narayanan S., Hazmi N.A.M., Shah N.N.A.K., Kamal S.M.M., Fauzi N.A.M., Sulaiman, A.: Minimal processing for goat milk preservation: Effect of high-pressure processing on its quality. *J. Food Process. Preserv.*, 2021, 45(12), #7.
- [26] Rozporządzenie Komisji (WE) nr 1662/2006 z dnia 6 listopada 2006 r. dotyczące higieny w odniesieniu do żywności pochodzenia zwierzęcego.
- [27] Samaržija, D., Zamberlin Š., Pogacic T.: Psychrotrophic bacteria and their negative effects on milk and dairy products quality psychrotrophic bacteria and milk and dairy products quality. *Mljekarstvo*, 2012, 62(2), 75-95
- [28] Strzałkowska N., Józwiak A., Bagnicka E., Krzyżewski J., Horbańczuk K., Pyzel B., Siwiec D., Horbańczuk J.O.: The concentration of free fatty acids in goat milk as related to the stage of lactation, age and somatic cell count. *Int. J. Adv. Integr. Med. Sci.*, 2010, 28(4), 389-396.
- [29] Tan S.F., Chin N.L., Tee T.P., Chooi S.K.: Physico-chemical changes, microbiological properties, and storage shelf life of cow and goat milk from industrial high-pressure processing. *Processes*, 2020, 8(6), #697.
- [30] Tomovska J., Gjorgievski N., Makarijoski B.: Examination of pH, Titratable Acidity and Antioxidant Activity in Fermented Milk. *J. Mater. Sci. Eng.*, 2016, 11-12, 326-333.
- [31] Vasbinder A., De Kruif C. G.: Casein-whey protein interactions in heated milk: the influence of pH. *Int. Dairy J.*, 2003, 13, 669-677.
- [32] Yang B., Ying S., Xiaodong X., Meili X., Xin W., Baoyi J., Jinghong M.: Inactivation of foodborne pathogens in raw milk using high hydrostatic pressure. *Food Control*. 28, (12), 273-278.
- [33] Ye A., Cui J., Singh H.: Effect of the fat globule membrane on in vitro digestion of milk fat globules with pancreatic lipase. *Int. Dairy J.*, 2010, 20(12), 822-829.

THE EFFECT OF HIGH PRESSURE ON THE SELECTED PROPERTIES OF GOAT'S MILK

S u m m a r y

Background. The aim of the study was to determine the effect of the pressure of 200 ÷ 500 MPa/20 °C/15 min. on the selected characteristics of goat's milk. The total bacterial count (OLD), psychrotrophic bacterial count, acidity, protein, casein and free fatty acid (FFA) content were determined and microscopic images of the milk were analyzed. The analyses were performed immediately after pressure application and during 14 days of storage at 4 °C.

Results and conclusions. The application of the pressure of 200 ÷ 400 MPa resulted in a significant ($p \leq 0.05$) pressure-dependent reduction in OLD. Applying the pressure of 500 MPa resulted in a complete reduction of OLD. Psychrotrophic bacteria were not found immediately after the application of the pressure of 300 ÷ 500 MPa; however, an increase of these bacteria was observed during storage. The application of the pressure of 200 ÷ 500 MPa had no effect on acidity immediately after pressurization and signif-

icantly ($p \leq 0.05$) reduced the increase in milk acidity during storage. Pressurization resulted in an increase of casein content, while no significant change of protein content was found ($p > 0.05$), which may be due to the interaction of casein with whey proteins. The effect of the pressure of 200 ÷ 500 MPa resulted in an increase in FFA content. During storage, the FFA content was lower in the pressurized milk compared to the control milk. Differences were found in the microscopic images of control and pressure-treated milk immediately after pressurization and after storage. These changes were due to the aggregation of fat globules immediately after pressurization and the formation of clusters of fat globules and coagulated protein during storage.

Key words: goat's milk, high pressures, casein, FFA, psychrotrophic bacteria ☒