

# Możliwości wykorzystania wysokiego ciśnienia w przemyśle mięsnym i rybnym\*)

EDYTA MALINOWSKA-PAŃCZYK, ILONA KOŁODZIEJSKA

Katedra Chemii, Technologii i Biotechnologii Żywności Wydziału Chemicznego Politechniki Gdańskiej,  
ul. Narutowicza 11/12, 80-952 Gdańsk

Malinowska-Pańczyk E., Kołodziejska I.

## Possibilities of using high pressure in meat and fish industry

### Summary

The influence of high pressure on mammal or fish meat components is complex. High pressure induces a denaturation of meat proteins but in a different way than high temperature. Pressure leads to an increase in the solubilization of myofibrillar proteins at a low salt concentration and causes their gelation even at ambient temperature. Such gels have better properties than those obtained by heating. High pressure in a range of 150-500 MPa produces drastic changes in the colour of the red muscles of mammal meat and dark muscles of fish. The colour of meat becomes pink and turns into grey-brown. These changes in the meat colour make it impossible to sell the products as fresh meat. However, high pressure technology can be used to extend the shelf-life and to improve the tenderness of cooked or processed meat. The effects of pressure on the solid-liquid phase transition of water can be applied for pressure-assisted freezing and pressure-assisted thawing of food. Freezing under pressure leads to the formation of ice forms which have greater density than ice I. In these conditions the destruction of meat structure is minimal and therefore the quality of products is better than in the case of standard freezing.

**Keywords:** high pressure, changes of meat components, texture, gelation, surimi

Technika wysokociśnieniowa jest stosowana już od kilku lat na skalę przemysłową, głównie do utrwalania żywności kwaśnej, takiej jak: soki owocowe, dżemy i jogurty. Po raz pierwszy wysokie ciśnienie zostało wykorzystane na początku lat 90. przez Meidi-ya Food Co (Osaka, Japonia) do przemysłowej sterylizacji dżemów jabłkowych i truskawkowych (20). Obecnie produkty utrwalane za pomocą wysokiego ciśnienia są również dostępne na rynku europejskim i amerykańskim. Jednakże nadal trwają intensywne badania nad rozszerzeniem możliwości wykorzystania techniki wysokociśnieniowej w przemyśle żywnościowym, zarówno jako nietermicznej metody utrwalania żywności, jak też jej przetwarzania, w tym kreowania produktów o nowych cechach funkcjonalnych i sensorycznych.

O możliwości wykorzystania wysokiego ciśnienia w przemyśle żywnościowym decydują dwa czynniki. Pierwszy z nich to zapewnienie skutecznej inaktywacji drobnoustrojów patogennych dla człowieka oraz drobnoustrojów powodujących psucie żywności. Racjonalnym uzasadnieniem zastosowania wysokiego ciśnienia zamiast podwyższonej temperatury w procesach utrwalania żywności jest zachowanie jej pożą-

danych cech sensorycznych. Dlatego drugim czynnikiem warunkującym wykorzystanie techniki wysokociśnieniowej w przemyśle żywnościowym jest jej wpływ na składniki żywności. Wiadomo, że na ogół związki o małej masie cząsteczkowej, wśród nich substancje zapachowe, barwniki lub biologicznie aktywne cząsteczki, w tym witaminy, pozostają nienaruszone. Z kolei zmiany w strukturze innych składników, jak na przykład w białkach, w tym enzymatycznych, zachodzące pod wpływem działania wysokiego ciśnienia, w niektórych przypadkach mogą ograniczać przydatność tej metody jako procesu łagodnego przetwarzania żywności, natomiast w innych efekt ten może być korzystny w kształtowaniu pożądanych właściwości produktów żywnościowych. W poniższym krytycznym przeglądzie piśmiennictwa przedstawiono wpływ wysokiego ciśnienia na składniki tkanki mięśniowej zwierząt stałocieplnych i ryb.

### Wpływ wysokiego ciśnienia na mikrostrukturę tkanki mięśniowej

W mięsie poddanym działaniu ciśnienia we wczesnej fazie *pre-rigor*, mięśnie ulegają skurczowi i następuje skrócenie ich długości o 35-50%. Ponadto w tych warunkach następuje uszkodzenie struktury włókna mięśniowego. Pod wpływem zwiększonego

\*) Praca finansowana ze środków budżetowych na naukę w latach 2007-2010 jako projekt badawczy Nr 1940/B/P01/2007/33.

ciśnienia sarkolemma ulega pofałdowaniu i zostaje oddzielona od endomysium. Przestrzenie międzyfibrilarnie i międzymiofibrilarnie ulegają zwiększeniu, a mitochondria i retikulum sarkoplazmatyczne pęcznieją, co niejednokrotnie prowadzi nawet do ich rozerwania.

W mięsie znajdującym się w stanie *post-rigor*, poddanym działaniu wysokiego ciśnienia nie następuje skurcz, lecz zachodzą rozległe modyfikacje w strukturze sarkomerów. Po 5-minutowym stosowaniu ciśnienia 100-300 MPa w temperaturze 20°C wzrasta fragmentacja miofibrili, zanika linia Z i M oraz strefa H. Zanik linii Z jest prawdopodobnie spowodowany przemianami, jakim ulegają białka cytoszkieletowe:  $\alpha$ -konektyna i nebulina, które są zakotwiczone w linii Z. Bardziej rozległe zmiany w ultrastrukturze mięsa zachodzą podczas jednoczesnego działania ciśnienia i podwyższonej temperatury (5).

### Wpływ ciśnienia na właściwości mięsa

**Rozpuszczalność białek.** Wysokie ciśnienie, podobnie jak zwiększona temperatura, powoduje denaturację białek. Pod wpływem wysokiego ciśnienia proces ten zachodzi jednak w mniejszym stopniu aniżeli w procesie termicznym, a sam mechanizm różni się w obu przypadkach (30).

Na stopień denaturacji białek wpływa czas trwania procesu ciśnieniowania oraz jego temperatura. W zakresie temperatury od 20°C do 45°C zmiany denaturacyjne białek są większe niż w temperaturach wyższych lub niższych. Cofrades i wsp. (10) wykazali, że ciśnieniowanie mięsa wieprzowskiego i drobiowego w 45°C powoduje zmniejszenie rozpuszczalności białek w 0,6 M roztworze NaCl, odpowiednio, o 18% i 21%. W przypadku próbek traktowanych ciśnieniem w temperaturze 70°C wystąpił efekt przeciwny – rozpuszczalność białek wzrosła o 14-16% w porównaniu z mięsem tylko ogrzewanym w tej temperaturze. Oznacza to, że ciśnienie w pewnym stopniu zabezpiecza białka przed termiczną denaturacją. Rozpuszczalność białek po działaniu ciśnienia zależy również od pH środowiska. W 0,5 M roztworze KCl o pH 6 i wyższym (aż do pH 10-11) rozpuszczalność białek miofibrilarnych po działaniu ciśnienia była większa niż białek nie traktowanych ciśnieniem, natomiast takiego zjawiska nie obserwowano w pH kwaśnym ok. 5-5,5 (17).

Białka miofibrilarnie rozpuszczają się dopiero w roztworach o stosunkowo wysokiej sile jonowej (0,6 M KCl). W wyniku działania ciśnienia rozpuszczalność białek miofibrilarnych może zachodzić również w roztworach KCl o niskiej sile jonowej (0,1 M). Jest to konsekwencją ciśnieniowej depolimeryzacji białek miofibrilarnych. Białka z cienkich filamentów, takie jak: aktyna, tropomiozyna, troponina C, a także białko M przechodzą do roztworu już po taktowaniu ciśnieniem 100 MPa (5).

**Żelowanie białek.** Jest rezultatem cieplnej denaturacji białek, która prowadzi do międzycząsteczkowych kowalencyjnych i niekowalencyjnych oddziaływań,

włącznie z tworzeniem wiązań disiarczkowych i oddziaływań hydrofobowych (27). Jak dotąd proces ten uważany był za wyłączny efekt działania podwyższonej temperatury. Okazało się jednak, że wysokie ciśnienie powoduje żelowanie białek nawet w temperaturze pokojowej (5). Ponadto wykazano korzystny wpływ stosowania wysokiego ciśnienia przed obróbką termiczną na właściwości żelujące białek mięsnych. Stwierdzono, że 10-minutowe ogrzewanie (70°C) homogenatów mięśni owczych w roztworze o niskiej sile jonowej po uprzednim traktowaniu ciśnieniem (10 min. w 150 MPa i 0°C) wzmagają ich termiczne żelowanie. Natomiast łączne zastosowanie wysokiego ciśnienia i temperatury powyżej 40°C pogarsza zdolność białek mięsnych do żelowania (12).

Zdolność białek do żelowania zależy od poziomu zastosowanego ciśnienia oraz czasu jego działania. Twardość żeli z mięsa tuńczyka była o ok. 2,5 i 7 razy większa, odpowiednio, po zastosowaniu ciśnienia 275 MPa przez 2 min. i 310 MPa przez 6 min. w porównaniu z próbką kontrolną (23). W przypadku żeli z aktomiozyny izolowanej z mięśni karpia oraz mięśni królika również zaobserwowano wzrost ich twardości wraz ze wzrostem poziomu stosowanego ciśnienia (100-700 MPa/30 min./25°C), jednak były one bardziej delikatne od tych otrzymanych tylko w wyniku ogrzewania przez 10 min. w 100°C (12).

Ko i wsp. (13) stwierdzili, że siła żelowania obniża się wraz z wydłużeniem czasu traktowania ciśnieniem 100-200 MPa mięsa tilapii. Jest to spowodowane denaturacją aktomiozyny i miozyny. Wykazano także, że jakość sensoryczna i właściwości reologiczne żeli otrzymanych poprzez ciśnieniowanie pogarszają się już po 5 dniach przechowywania w warunkach chłodniczych, natomiast żele uzyskane tradycyjną metodą zachowują pożądane właściwości przez 10 dni (19).

Żelowanie można również osiągnąć poprzez enzymatyczne sieciowanie. Do tego celu wykorzystuje się najczęściej transglutaminazę. Trespalacios i Pla (28) wykazali, że żele otrzymane z białek miofibrilarnych mięsa kurczaka pod wpływem ciśnienia 500 MPa w obecności 0,3% preparatu transglutaminazy, Activa™ WM, są bardziej twarde niż te otrzymane bez udziału enzymu lub w procesie termicznym. Mikrostruktura żeli z mięsa drobiowego otrzymanych w wyniku sieciowania transglutaminazą i działania wysokiego ciśnienia różni się od mikrostruktury żeli indukowanych tylko ciśnieniem. Dodatek transglutaminazy poprawia właściwości żelujące, powodując powstawanie żeli o bardziej zwartej i jednolitej strukturze.

**Żele otrzymywane na bazie surimi.** Surimi jest farszem mięsnym wytwarzanym w wyniku wielokrotnego przemywania rozdrobnionego mięsa wodą. Do produkcji surimi wykorzystywane są głównie ryby o białym, chudym mięsie, łagodnym zapachu, małej zawartości tłuszczu oraz dużej zdolności żelowania białek mięsnych. Tekstura oraz funkcjonalne właściwości surimi zależą od temperatury procesu wytwarzania,



zawartości i rozpuszczalności białek, zawartości tłuszczu, soli, a także wody oraz pH środowiska (21).

Do chwili obecnej żelowanie surimi przeprowadzano poprzez działanie podwyższonej temperatury. Obecnie prowadzone są badania mające na celu określenie przydatności stosowania do tego procesu wysokich ciśnień. Wykorzystanie tej metody wydaje się korzystne ze względu na skrócenie czasu żelowania, a także zmniejszenie niepożądanych cieplnych przemian w składnikach żywności (26).

Pod wpływem wysokiego ciśnienia następuje rozpuszczenie aktomiozyny w środowisku soli, w wyniku czego powstają z jej udziałem międzycząsteczkowe wiązania stabilizujące żel (27). Zastosowanie wysokiego ciśnienia w temperaturze chłodniczej powoduje żelowanie surimi wytworzonego z ryb różnych gatunków. Powstałe w ten sposób żele są bardziej gładkie i lśniące od tych wytworzonych podczas procesu cieplnego, jednakże charakteryzują się mniejszą twardością (5, 26).

Barwa produktów otrzymywanych na bazie surimi jest jednym z głównych czynników odpowiedzialnych za ich akceptację przez konsumentów. Obserwuje się większy popyt na surimi o barwie białej, ewentualnie z niewielkim odcieniem żółtego. Traktowanie wysokim ciśnieniem surimi powoduje zwiększenie intensywności białej barwy uzyskanych żeli. Prawdopodobnie zmiany w rozmieszczeniu cząsteczek wody podczas ciśnieniowania produktów mogą być odpowiedzialne za modyfikację ich barwy (26).

**Zdolność utrzymania wody.** Interakcje wody i struktur białkowych wchodzących w skład tkanki mięśniowej odpowiadają za właściwości fizyczne, sensoryczne i technologiczne mięsa. Wpływ wysokiego ciśnienia na zdolność mięsa do wiązania wody w produktach mięsnych zależy od takich czynników, jak: gatunek zwierzęcia, rodzaj mięśni, pH i siła jonowa oraz zawartość tłuszczu i białek w mięsie. Ponadto istotne znaczenie mają warunki przetwarzania mięsa (ciśnienie, temperatura oraz czas ich stosowania), a także sposób przechowywania produktu (29). Chéret i wsp. (7) wykazali, że zdolność do utrzymania wody przez tkankę mięśniową okonia maleje ze wzrostem zastosowanego ciśnienia (100-500 MPa). Stwierdzili również, że czas przechowywania ciśnieniowanych próbek nie wpływa znacząco na zdolność wiązania wody. Iwasaki i wsp. (11) określili ponadto wpływ dodatku NaCl na wielkość wycieku z farszu mięsa świńskiego poddanego działaniu ciśnienia 100-400 MPa przez 10-20 min. i w temperaturze 70°C. Wyciek z ciśnieniowanego farszu bez soli wynosił ok. 26%, podczas gdy w próbie z dodatkiem 1-2% NaCl był o ok. 15% i 17% mniejszy.

**Tekstura.** Po działaniu wysokiego ciśnienia cecha ta jest wypadkową zmian zachodzących w elementach strukturalnych włókna mięśniowego oraz białkach strukturalnych (w tym cytoszkieletowych). Składnikami tkanki mięśniowej odpowiedzialnymi za twardość

mięsa są białka miofibrylarne oraz wchodzący w skład tkanki łącznej kolagen. Zmiany zachodzące w obrębie tych składników zależą nie tylko od poziomu stosowanego ciśnienia, ale również od temperatury procesu, a także od stanu mięsa traktowanego ciśnieniem. Mięso owcze i bydlęce przed osiągnięciem stanu stężenia pośmiertnego traktowane przez 4 min. ciśnieniem ok. 100 MPa w temperaturze 30-35°C ulega skurczowi i twardnieje, jednak po ugotowaniu staje się bardziej kruche i soczyste niż mięso nieciśnieniowane (5). Możliwe jest więc wykorzystywanie ciśnień w zakresie 100-200 MPa do tenderyzacji mięsa w stanie *pre-rigor* (15).

Twardość mięsa bydlęcego w stanie *post-rigor* po działaniu ciśnienia do 200 MPa w temperaturze 20 i 40°C zmienia się w niewielkim stopniu. W tych warunkach mięso staje się bardziej sprężyste i charakteryzuje je większa spójność. Wzrost temperatury procesu ciśnieniowania do 60-70°C powoduje istotne zmniejszenie twardości mięsa, natomiast zwiększenie ciśnienia do poziomu 400-600 MPa wyraźnie zwiększa twardość niezależnie od temperatury, w której proces jest przeprowadzany (16). W przypadku mięsa dorsza ciśnienie od 400 do 600 MPa w temperaturze pokojowej powoduje zwiększenie jego twardości, sprężystości i spójności (1).

Ciśnieniowanie w temperaturze 50-60°C zwiększa termostabilność kolagenu. W przeciwieństwie do działania tylko podwyższonej temperatury, pod ciśnieniem 150 MPa i w ok. 60°C zahamowana zostaje denaturacja tego białka i nie następuje skurcz cieplny włókien kolagenowych. W tych warunkach ciśnienia i temperatury nie ulegają rozerwaniu wiązania wodorowe, które odpowiedzialne są za zachowanie helikalnej struktury kolagenu (5). Jest to podstawą do stwierdzenia, że wpływ wysokiego ciśnienia na proces kruszenia mięsa wynika z modyfikacji struktury miofibryli, a nie tkanki łącznej (16).

**Przemiany lipidów.** Niekorzystnym zjawiskiem zachodzącym w mięsie poddanym działaniu ciśnienia jest autooksydacja lipidów, szczególnie tych, o dużym udziale wielonienasyconych kwasów tłuszczowych, w które bogate są ryby. Szybkość autooksydacji lipidów w mięsie traktowanym ciśnieniem zależy od wielkości ciśnienia, czasu jego działania, temperatury procesu oraz innych czynników, np. obecności tlenu i aktywności wody (4).

Utlenianie lipidów w mięsie traktowanym zwiększonym ciśnieniem zachodzi również w warunkach beztlenowych oraz podczas przechowywania mięsa w warunkach tlenowych. Po zakończonym procesie ciśnieniowania, szybkość utleniania lipidów wzrasta w porównaniu do próbek nietraktowanych ciśnieniem. Tak więc działanie wysokiego ciśnienia wpływa na stabilność oksydacyjną lipidów w mięśniach i zależy nie tylko od obecności tlenu, ale także od obecności innych składników mięśni (4). Uważa się, że główną przyczyną tych niekorzystnych reakcji jest denatura-

cja białek hemowych przez ciśnienie i uwolnienie jonów Fe (II) lub Cu (II) przyspieszających autooksydację lipidów w ciśnieniowanym mięsie. Według Angsupanich i Ledward (1), jony Fe (II) są uwalniane w pierwszym rzędzie z niehemowych kompleksów – ferrytyny i hemosydeminy. Izolowane lipidy z organizmów morskich, mimo że zawierają wielonienasycone kwasy tłuszczowe, są stabilne podczas działania ciśnienia i dalszego przechowywania w warunkach ciśnienia atmosferycznego (22).

**Barwa.** Jest jednym z najważniejszych wyróżników determinujących akceptację produktów żywnościowych przez konsumenta. W przypadku produktów mięsnych często traktowana jest jako najlepszy wskaźnik ich świeżości. Jej intensywność oraz trwałość jest bardzo zróżnicowana i zależy od wielu czynników, m.in. od gatunku zwierzęcia, jak również od rodzaju mięśnia, z którego uzyskano dany produkt.

Zastosowanie ciśnień w zakresie od 150 do 500 MPa powoduje niekorzystną zmianę barwy mięsa zwierząt stałocieplnych oraz ryb zawierających mięśnie ciemne (3). Zmiany w kolorze mięsa powodowane ciśnieniem wykluczają, aby produkt mógł być oferowany konsumentom jako świeże mięso. Barwa mięsa staje się mniej intensywna i traci odcień czerwony, przechodząc w kolor szarobrunatny, przypominający barwę po ugotowaniu. Zmniejszenie intensywności barwy mięsa poddanego działaniu ciśnienia 200-350 MPa następuje na skutek denaturacji globiny bądź przemieszczenia lub uwolnienia hemu z cząsteczki mioglobiny (15). Pod ciśnieniem większym niż 400 MPa zmiana barwy wywołana jest utlenieniem mioglobiny do metmioglobiny. Ponadto ciśnienie może wywierać wpływ na aktywność enzymów utleniających mioglobinę i redukujących metmioglobinę oraz może zwiększać oksydację lipidów, a utlenione lipidy mogą katalizować utlenianie hemu (5). Białe mięso ryb traktowanych ciśnieniem 200 MPa i wyższym traci przezroczystość, staje się matowe, jak mięso po obróbce cieplnej (1). Jest to wynikiem denaturacji białek sarkoplazmatycznych i miofibrylarnych (28).

Rozmrażanie produktu przy asyście wysokiego ciśnienia również prowadzi do zmiany barwy mięsa i zależy od parametrów procesu oraz pochodzenia mięsa. Barwa mięsa ryb zmienia się po działaniu niższych ciśnień w mniejszym stopniu niż w przypadku mięsa bydłowego czy świńskiego. Niska temperatura nie wpływa na ten wyróżnik jakościowy, a zmiana barwy następuje głównie jako efekt działania wysokiego ciśnienia (31).

Wykazano również związek między zawartością tłuszczu a zmianą barwy ciśnieniowanego mięsa bydłowego. Mięso o wysokiej zawartości tłuszczu (20%) traktowane ciśnieniem zachowuje w mniejszym stopniu barwę czerwoną aniżeli mięso zawierające 9% tłuszczu. Stopień zmian barwy zależy nie tylko od zawartości tłuszczu w mięsie, ale również od poziomu stosowanego ciśnienia i czasu jego działania (2).

## Zamrażanie i rozmrażanie pod wysokim ciśnieniem

Wysokie ciśnienie może być również wykorzystywane do szybkiego zamrażania (pressure-assisted freezing) lub szybkiego rozmrażania (pressure-assisted thawing) żywności. Powolne zamrażanie żywności w warunkach ciśnienia atmosferycznego powoduje nierównomierny rozkład lodu w tkance i powstawanie dużych kryształów formy lodu I głównie w przestrzeniach międzykomórkowych (14). Na skutek wymrożenia wody następuje wzrost stężenia soków komórkowych, co prowadzi do zwiększenia ciśnienia osmotycznego, zmniejszenia aktywności wody oraz zmiany pH i równowagi jonowej. W wyniku podwyższenia stężenia substratów i tlenu, przyspieszeniu ulegają niekorzystne reakcje enzymatyczne (np. oksydacja). Niektóre z nich sprzyjają denaturacji i odwodnieniu, co prowadzi do zwiększenia wycieku po rozmrożeniu i pogorszenia tekstury produktu.

Niekorzystny wpływ mrożenia i przechowywania zamrażalniczego można zmniejszyć przez szybkie zamrażanie, które prowadzi do powstawania drobnych kryształów lodu w całej objętości próbki (25). Zwiększenie szybkości mrożenia jest możliwe poprzez zastosowanie wysokiego ciśnienia. Obserwacje mikroskopowe mięsa świńskiego wykazały, że jego zamrożenie w temperaturze  $-18^{\circ}\text{C}$  i pod ciśnieniem 200 MPa powoduje mniejsze uszkodzenia włókien w porównaniu do klasycznych metod zamrażania (w cieczy kriogenicznej lub w obiegu powietrza). Zamrażanie pod ciśnieniem prowadzi do wytworzenia innych form lodu. Gęstość tych odmian lodu jest większa od gęstości lodu I, a więc zniszczenia struktury materiału są minimalne, a w związku z tym jakość zamrażanych produktów jest lepsza. Przechowywanie tak zamrażanych produktów w temperaturze poniżej  $0^{\circ}\text{C}$  w warunkach ciśnienia atmosferycznego prowadzi jednakże do transformacji np. lodu III do lodu I. Zjawisko to stanowi poważną wadę metody, gdyż niekorzystnie wpływa na jakość przechowywanych produktów (6).

Innym sposobem zamrażania przy asyście wysokiego ciśnienia jest zamrażanie przez uwolnienie ciśnienia. Próbkę pod zwiększonym ciśnieniem umieszcza się w temperaturze poniżej zera, przez co osiąga ona stan przechłodzenia, a następnie uwalnia się ciśnienie i przechłodzony materiał ulega zamrożeniu. Podobnie jak podczas zamrażania pod ciśnieniem, zaletą tej metody jest powstawanie niewielkich, jednorodnych kryształów lodu w całej objętości próbki (8).

Zastosowanie wysokiego ciśnienia umożliwia krystalizację wody nawet w temperaturze pokojowej. W ciśnieniach rzędu ok. 633-2216 MPa, w temperaturze od  $0^{\circ}\text{C}$  do ok.  $82^{\circ}\text{C}$  tworzy się lód VI. Tetragonalna struktura lodu VI jest znacznie bardziej zwarta niż heksagonalna struktura lodu I, a ich gęstość w temperaturze ok.  $0^{\circ}\text{C}$  wynosi, odpowiednio,  $1,31 \times 10^3$  i  $0,93 \times 10^3$   $\text{kg/m}^3$ . Molina-Garcia i wsp. (18) nie wykazali różnic w strukturze mięsa zamrożonego w warunkach two-



zenia lodu VI w porównaniu ze strukturą świeżego mięsa świńskiego (nie traktowanego ciśnieniem i nie mrożonego). Wiązki włókien w ciśnieniowanym mięsie były nienaruszone. Według autorów, to brak wewnątrzkomórkowych kryształów lodu podczas zamrażania próbki zapobiega rozerwaniu wiązek włókien, eliminując jednocześnie uszkodzenia tkanki. Zamrożenie mięsa z wytworzeniem kryształów lodu I powoduje natomiast rozerwanie wiązek i ich rozdzielanie, co jest skutkiem pojawienia się kryształów lodu zarówno w przestrzeni zewnątrzkomórkowej, jak i wewnątrzkomórkowej.

Stwierdzono również, że rozmrażanie przy użyciu zwiększonego ciśnienia wyraźnie zmniejsza wyciek w porównaniu z tradycyjnym rozmrażaniem w ciśnieniu atmosferycznym (24). Wykazano ponadto, że im większa szybkość generowania ciśnienia, tym mniejszy jest wyciek z rozmrażanego produktu. Według Chevalier i wsp. (9), zapobiega to przejściu lodu III do lodu I, w wyniku czego ma miejsce ograniczenie wycieku. Zmniejszenie wycieku można osiągnąć również podczas utrzymywania ciśnienia przez dłuższy czas niż ten niezbędny do rozmrożenia próbki. Jest to skutkiem wchłonięcia przez mięso części utraconej wody (24).

### Podsumowanie

Metoda wysokociśnieniowa może być stosowana do utrwalania i poprawy kruchości mięsa poddawanego dalszemu przetwarzaniu, szczególnie znajdującego się w stanie *pre-* i *post-rigor*. Wysokie ciśnienie poprawia zdolność białek do żelowania oraz wiązania wody w produktach mięsnych, jednakże zmiany barwy oraz zwiększenie szybkości utleniania lipidów mięsa powodowane przez ciśnienie mogą ograniczać zastosowanie tej metody w przypadku mięsa surowego przeznaczanego do bezpośredniej sprzedaży. Z drugiej strony, zastosowanie wysokiego ciśnienia z innymi procesami, takimi jak: pakowanie próżniowe, łagodne ogrzewanie, przechowywanie chłodnicze może przedłużać trwałość mięsa i jego produktów oraz otwiera możliwości otrzymywania produktów o nowych cechach sensorycznych.

### Piśmiennictwo

1. *Angsupanich K., Ledward D. A.*: High pressure treatment effects on cod (*Gadus morhua*) muscle. *Food Chem.* 1998, 63, 39-50.
2. *Carballo J., Fernandez P., Carrascosa A., Solas M. T., Jiménez-Colmenero F.*: Characteristics of low- and high-fat beef patties: effect of high hydrostatic pressure. *J. Food Prot.* 1997, 60, 48-53.
3. *Carlez A., Rosec J. P., Richard N., Cheftel J. C.*: High pressure inactivation of *Citrobacter freundii*, *Pseudomonas fluorescens* and *Listeria innocua* in inoculated minced beef muscle. *Lebensm. Wiss. Technol.* 1993, 26, 357-363.
4. *Cheah P. B., Ledward D. A.*: High pressure effects on lipid oxidation in minced pork. *Meat Sci.* 1996, 43, 123-134.
5. *Cheftel J. C., Culioli J.*: Effect of high pressure on meat: a review. *Meat Sci.* 1997, 46, 211-236.
6. *Cheftel J. C., Thiebaud M., Dumay E.*: Pressure-assisted freezing and thawing of foods: a review of recent studies. *High Pres. Res.* 2002, 22, 601-611.
7. *Chéret R., Chapleau N., Delbarre-Ladrat C., Verrez-Bagnis V., de Lamballeire M.*: Effects of high pressure on texture and microstructure of sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.) fillets. *J. Food Sci.* 2005, 70, 477-483.

8. *Chevalier D., Sentissi M., Havet M., Le Bail S.*: Comparison of air-blast and pressure shift freezing on norway lobster quality. *J. Food Sci.* 2000, 65, 329-333.
9. *Chevalier D., Sequeira-Munoz A., Le Bali A., Simpson B. K., Ghoul M.*: Effect of pressure shift freezing, air-blast freezing and storage on some biochemical and physical properties of Turbot (*Scophthalmus maximus*). *Lebensm. Wiss. Technol.* 2000, 33, 570-577.
10. *Cofrades S., Carballo J., Fernández Martín F., Jiménez-Colmenero F.*: High pressure/thermal treatments effects on functionality of comminuted muscle from different meat species. *High Pres. Res.* 2002, 22, 721-723.
11. *Iwasaki T., Noshiroya K., Saitoh N., Okano K., Yamamoto K.*: Studies of the effect of hydrostatic pressure pretreatment on thermal gelation of chicken myofibrils and pork meat patty. *Food Chem.* 2006, 95, 474-483.
12. *Jiménez-Colmenero F.*: Muscle protein gelation by combined use of high pressure/temperature. *Trends Food Sci. Technol.* 2002, 13, 22-30.
13. *Ko W. C., Jao C. L., Hwang J. S., Hsu K. C.*: Effect of high-pressure treatment on processing quality of tilapia meat fillets. *J. Food Eng.* 2006, 77, 1007-1011.
14. *Le Bail A., Chevalier D., Mussa D. M., Ghoul M.*: High pressure freezing and thawing of foods: a review. *Int. J. Refrig.* 2002, 25, 504-513.
15. *Ludikhuyze L., Van Loey A., Hendrickx I. M.*: Combined high pressure thermal treatment of foods, [w:] Richardson P. (red.): *Thermal Technologies in Food Processing*, Cambridge 2001, 266-284.
16. *Ma H. J., Ledward D. A.*: High pressure/thermal treatment effects on the texture of beef muscle. *Meat Sci.* 2004, 68, 347-355.
17. *Macfarlane J. J., McKenzie I. J.*: Pressure-induced solubilization of myofibrillar proteins. *J. Food Sci.* 1976, 41, 1442-1446.
18. *Molina-García A. D., Otero L., Martino M. N., Zaritzky N. E., Arabas J., Szczepk J., Sanz P. D.*: Ice VI freezing of meat: supercooling and ultrastructural studies. *Meat Sci.* 2004, 66, 709-718.
19. *Montero P., Pérez-Mateos M., Borderías A. J.*: Chilled storage of high pressure and heat-induced gels of blue whiting (*Micromesistius poutassou*) muscle. *Z Lebensm. Unters Forsch.* 1998, 207, 146-153.
20. *Mozhaev V. V., Heremans K., Frank J., Masson P., Balny C.*: Exploiting the effects of high hydrostatic pressure in biotechnological applications. *Trends Biotechnol.* 1994, 12, 493-501.
21. *Nowasad A. A., Kanoh S., Niwa E.*: Thermal gelation properties of spent hen mince and surimi. *Poultry Sci.* 2000, 79, 117-125.
22. *Ohshima T., Ushio H., Koizukami C.*: High pressure processing of fish and fish products. *Trends Food Sci. Technol.* 1993, 4, 370-375.
23. *Ramírez-Suarez J. C., Morrissey M. T.*: Effect of high pressure processing (HPP) on shelf life of albacore tuna (*Thunnus alalunga*) minced muscle. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* 2006, 7, 19-27.
24. *Rouillé J., LeBail A., Ramaswamy H. S., Leclerc L.*: High pressure thawing of fish and shellfish. *J. Food Eng.* 2002, 53, 83-88.
25. *Sikorski Z. E.*: *Technologia żywności pochodzenia morskiego*. WNT, Warszawa 1980.
26. *Tabilo-Munizaga G., Bartosa-Cánovas G. V.*: Color and textural parameters of pressurized and heat-treated surimi gels as affected by potato starch and egg white. *Food Res. Int.* 2004, 37, 767-775.
27. *Tabilo-Munizaga G., Bartosa-Cánovas G. V.*: Pressurized and heat-treated surimi gels as affected by potato starch and egg white: microstructure and water-holding capacity. *Lebensm. Wiss. Technol.* 2005, 38, 47-57.
28. *Trespacios P., Pla R.*: Simultaneous application of transglutaminase and high pressure to improve functional properties of chicken meat gels. *Food Chem.* 2007, 100, 264-272.
29. *Uresti R. M., Velazquez G., Vázquez M., Ramírez J. A., Torres J. A.*: Effect of sugars and polyols on the functional and mechanical properties of pressure-treated arrowtooth flounder (*Atheresthes stomias*) proteins. *Food Hydrocol.* 2005, 19, 964-973.
30. *Zhu S., Ramaswamy H. S., Simpson B. K.*: Effect of high-pressure versus conventional thawing on color, drip loss and texture of Atlantic salmon frozen by different methods. *Lebensm. Wiss. Technol.* 2004, 37, 291-299.

Adres autora: prof. dr hab. inż. Ilona Kołodziejka, ul. Narutowicza 11/12, 80-952 Gdańsk; e-mail: i.kolodziejka@chem.pg.gda.pl

