超高压解凍が豚骨格筋に及ぼす影響

岡本 明*・鈴木敦士**

Effects of High Hydrostatic Pressure-Thawing on Pork Meat

Akira OKAMOTO* and Atsushi SUZUKI**

* Graduate School of Science and Technology, Niigata University, Ikarashi, Niigata
950-2181, Japan

** Department of Applied Biological Chemistry, Faculty of Agriculture, Niigata University,
Ikarashi, Niigata 950-2181, Japan

Frozen pork meat was thawed under high pressure (100–500 MPa) and physicochemical and histological parameters of thawed meat (thawing loss, tenderness, color, drip, ultrastructure, etc.) were compared with those of meat thawed by running water.

Effects on physicochemical properties. The meat drip decreased by high hydrostatic pressure-thawing, and the water holding capacity of the meat improved. The discoloration of the meat induced by high pressure-thawing was not recognized by naked eyes up to the pressurization of 200 MPa. The meat tenderization was induced during high pressure-thawing. When the frozen pork was pressurized at 200 MPa, the most desirable results were obtained. Over 200 MPa however, unfavorable changes were brought about by high pressure-thawing. *Effects on ultrastructure and myofibrillar proteins.* The regular structure of myofibrils was gradually lost with an increase in the pressure applied, and remarkable changes were observed in the meat thawed by pressure above 200 MPa. The measurements of the size distribution of the myofibrils prepared from high pressure-thawed meats indicated that frequency of distribution centered on a certain length with increasing pressure applied, differing from the progress of the fragmentation as observed in the myofibrils prepared from pressurized meats. The SDS-PAGE analysis showed the progressive solubilisation of α -actinin, troponin T, tropomyosin, and myosin light chain (MLC) in the meat thawed at pressure above 200 MPa. These effects caused by high hydrostatic pressure-thawing are applicable to meat processing. It should be applied to the meat products requiring no long-time heating, such as cured smoked pork, roast beef, tataki, (mince-meat) etc. (Received Apr. 25, 2001 ; Accepted Sep. 14, 2001)

現在、食品やその素材は一般に冷凍して保存されることが多い。また、その需要の大きな伸びに伴い、食品の冷凍技術についても進歩がめざましく、品質の良い冷凍品を得ることが可能となった。しかし、冷凍技術に比べて解凍技術の進歩はいまだ十分ではなく、せっかく品質の良い冷凍品を得ても解凍方法が悪いために品質が低下してしまうという例も多い。

冷凍品を解凍する場合のポイントは1) 解凍に要する時間が短いこと、2) 解凍中の品質低下を避けるためにな

るべく低温で行うこと、の二つであり、現在、この点を満たすべく種々の解凍方法が工夫されている。しかし、いずれも解凍所要時間の長さや品質低下の面で一長一短がある。

水の凝固温度は約 210 MPa までは圧力の増加につれて低下し、高圧下では氷点下でも水が凍結しない、いわゆる不凍水領域が存在する。この水の性質を利用した解凍方法が考えられる。例えば 210 MPa では -22°C までは、水は凍結しないので、氷は加圧すると瞬時に融解す

* 新潟大学大学院自然科学研究科 (〒950-2181 新潟市五十嵐 2 の町 8050 番地)

** 新潟大学農学部応用生物化学科 (〒950-2181 新潟市五十嵐 2 の町 8050 番地)

る。この現象は高圧下での冷凍食品の急速解凍の可能性があることを示唆している¹⁾。

そして実際に MASSAUX ら²⁾³⁾ による凍結豚肉の高圧解凍によるドリップロスや解凍時間の比較、村上ら⁴⁾ や吉岡ら⁵⁾ の水産物の高圧解凍によるドリップロスや筋線維の組織学的観察、出内ら⁶⁾ や寺本ら⁷⁾ による寒天ゲルや豆腐、野菜などの高圧解凍による細胞組織への影響やテクスチャーなどの研究がなされている。しかし、これらの研究例では高圧解凍時の圧力が100 MPa までと比較的小さかったり、使用する試料が数グラム～数十グラムと実際の食品加工とはかけ離れた条件下で行われた。また、個々の現象については研究されているが、1つの食材について総合的で実用的な検証はほとんどされていない。

本稿では凍結豚肉を高圧解凍した際に生じるドリップロ量、外観、テクスチャーおよび筋原線維蛋白質の変化を研究した。

実験方法

1. 実験材料

原料肉は、オスのデュロック種(D型)と、メスのランドレース種及び大ヨークシャー種を掛け合わせた(LW型)豚を交雑したLWD型の豚ロース肉を使用し、屠殺後約16～24時間後に約70～80×130～150 mm、厚さ約15 mmに整形した後、通常の冷凍庫(−20℃)で7日間以上凍結した肉を実験用試料とした。

2. 高圧解凍方法

試料をナイロン製の袋に入れ真空包装後、氷水(1～2℃)で満たした加圧容器内に投入し、食品用超高圧試験機(山本水圧工業所(株)製S6000-10-200-1)を用いて100～500 MPaで各10分間の圧力処理を行った。なお、高圧処理せずに、流水(約15℃)で解凍した試料をコントロールとした。

3. 肉ドリップロ量の測定

高圧解凍が肉ドリップロ量へ及ぼす影響を高圧解凍後及び加熱調理後の二段階で調べた。

(1) 高圧解凍後の肉ドリップロ量の測定

高圧解凍前後の肉重量の差を肉ドリップロ量とし、コントロールと比較した。なお、ドリップロ量は、高圧解凍前の肉重量に対するドリップロ量の重量%で示した。

(2) 加熱調理後の肉ドリップロ量の測定

試料をポリエチレン製の袋に入れ、真空包装して70℃のウォーターバス中で20分間加熱した。この加熱操作前後の肉重量の差を肉ドリップロ量とし、コントロールと

比較した。なお、ドリップロ量は(1)と同様に加熱前の肉重量に対するドリップロ量の重量%で示した。

(3) 全ドリップロ量の測定

高圧解凍後及び加熱調理後のドリップロ量の和を全ドリップロ量とした。

4. テクスチャー測定

テクスチャーは高圧解凍した豚肉の背脂を上にして置き、縦に幅約15 mmにカットした豚肉にくさび型プランジャーを用いてレオメーター((株)山電製RHEONER RE-33005)で測定した。データの解析は山電のソフトウェアで行い、得られた最大荷重値をサンプルの硬さとしてコントロールと比較した。

5. 色差の測定

高圧解凍した豚肉の表面の色差($L^* a^* b^*$)を色差計(日本電色(株)製ColorMete ZE2000)で反射光測定し、 ΔE を下記の式に従って算出し、コントロールと比較した。すなわち、コントロールの測定データを L^*_t, a^*_t, b^*_t とし、比較する資料の測定データを $L^* a^* b^*$ とする。このデータを用いて $\Delta(L^* a^* b^*)$ を以下のように算出した。

$$\Delta L^* = L^* - L^*_t$$

$$\Delta a^* = a^* - a^*_t$$

$$\Delta b^* = b^* - b^*_t$$

算出した $\Delta(L^* a^* b^*)$ 値から以下のように ΔE を算出した。

$$E = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}$$

求められた ΔE 、すなわち、 $L^* a^* b^*$ 空間における2つのデータ間の色差の大きさをアメリカ国家標準局:Nationl Bureau of Standards (NBS)単位により比較した。NBS単位と感覚との関係は、 $\Delta E = 0 \sim 0.5$: 微かに異なる(trace), $0.5 \sim 1.5$: 僅かに異なる(slight), $1.5 \sim 3.0$: 感知し得るほど異なる(noticeable), $3.0 \sim 6.0$: 目立つほど異なる(appreciable), $6.0 \sim 12.0$: 大きく異なる(much), 12.0 以上: 別の色調(very much)となっている⁸⁾。

6. 筋線維の電子顕微鏡による観察

高圧解凍処理を行った試料から筋線維束を切り取り、常法によりグルタルアルデヒド-カコジル酸ナトリウム溶液及び、四酸化オスミウム-カコジル酸ナトリウムで固定後、エポキシ樹脂で包埋し、その超薄切片を透過型電子顕微鏡((株)日立製作所製H-800)で観察した。

7. 筋原線維の調製

高圧解凍処理をした試料からBUSCH ら⁹⁾の方法によって筋原線維を調製した。

8. 筋原線維の粒度分布測定

実験方法7で調製した筋原線維を用いて、蛋白質濃度 10 mg/ml になるように筋原線維の懸濁液を調製し、1つの筋原線維を1つの粒子として捉えて、大きさの異なる筋原線維の分布状態を粒度分布計を用いて測定した。

測定には光散乱解析タイプの粒度分布測定装置（コールター製 LS200）を用いて行った。分散媒には脱塩水を用い、分散屈折率とサンプル屈折率を決めて得られた測定値をコールターの解析用ソフトウェアで解析し、平均粒子径を算出した。

9. SDS-ポリアクリルアミドゲル電気泳動による筋原線維蛋白質の分析

実験方法7で調製した筋原線維を5%のSDS、1%の2-メルカプトエタノールを含む0.01 M リン酸緩衝液（pH 7.0）中に溶解させ、LAEMMLIの方法¹⁰⁾に準じて、濃縮ゲル濃度4.5%、分離ゲル濃度12.5%のゲルを作成し、SDS-ポリアクリルアミドゲル電気泳動を行った。

実験結果および考察

1. 豚肉の外観およびテクスチャーへの影響

(1) 高压解凍が肉ドリップ量、肉色に及ぼす影響

食肉の保水性は、肉の品質や栄養価に大きく影響する。特に呈味成分（アミノ酸、ペプチド、ヌクレオチド、糖、有機酸、ミネラルなど）はドリップ中に多く含まれており、解凍時のドリップロスが食肉の風味低下の大きな要因となる。また、食肉の外観（色）も品質を判断する上で重要な要素である。そして肉に高压処理を施すと変色することは既に報告されている¹¹⁾。

そこで、高压解凍時のドリップ量と色差を測定した。高压解凍後の豚肉ドリップ量と高压解凍後加熱調理した豚肉のドリップ量および全ドリップ量を Table 1 に、高

压解凍後の豚肉の色差測定結果と色差の評価表を Table 2 に示した。

解凍時のドリップ量は Table 1 から、コントロールの4.28%を100とすると、100 MPaの圧力処理で16%の増加が見られたが、200 MPaで64%、300 MPaで41%、400 MPaで35%、500 MPaでは54%の低下をみた。すなわち、200 MPa以上の圧力処理ではドリップ量が著しく減少した。

この結果から100 MPaの圧力処理の時ドリップ量は増加し、400 MPaの圧力処理の時に最も減少したことになるが、t検定を行ったところ、コントロールと100 MPaの圧力処理の間には有意差は認められなかった。また、コントロールと200 MPa以上の圧力処理では有意差が認められたが、200 MPa以上の各圧力間には有意差は認められなかった。これは200 MPa以上の高压解凍によって保水性が向上することを示唆しているとともに、それ以上の圧力処理を行っても保水性が大きく変化することは無いことを示唆するものであった。高压解凍をした豚肉を加熱すると100および200 MPaの加圧肉で、ドリップ量は逆に増加する傾向を示した。しかし、加熱ドリップの場合もコントロールと比較してドリップ量に有意差は認められなかった。

全ドリップ量は、100、200 MPaの圧力処理肉でコントロールと比較して10~18%増加し、300 MPa以上の圧力処理では逆に5~20%減少した。同様にt検定を行ったところ、全ての圧力処理においてコントロールと有意差は無かった。

高压解凍や加熱調理後のドリップ量に関して、MASSAUX ら²³⁾は高压解凍によって、ドリップ量が減少し、加熱ドリップは僅かに増加するが、全ドリップ量は減少したと報告している。本実験においても解凍ドリップ

Table 1 Thawing and cooking losses of the high pressure-thawed pork meats

Thawing pressure	Thawing loss (%)	Cooking loss (%)	Total loss (%)
Control	4.28±0.52 ^a	15.31±2.08 ^a	19.30±2.57 ^a
100 MPa	4.97±0.46 ^a	18.29±2.18 ^a	22.70±2.29 ^a
200 MPa	2.76±0.39 ^b	18.93±0.46 ^a	21.40±0.74 ^a
300 MPa	1.77±0.24 ^b	16.95±1.18 ^a	18.39±1.31 ^a
400 MPa	1.51±0.45 ^b	14.92±0.79 ^a	15.60±1.10 ^a
500 MPa	2.29±0.25 ^b	16.59±0.83 ^a	18.48±0.91 ^a

Thawing and cooking losses were determined by weight difference before and after high pressure treatment.

Total loss was calculated by adding thawing loss to cooking loss.

Different letters on each column indicate significant differences ($p < 0.05$).

ブは高圧処理によって減少することが分かったが、加熱ドリップや全ドリップ量にコントロールと有意な差は認められなかった。また、MASSAUX らによると圧力処理が100 MPaの場合に最も効果があると報告しているが、本実験においては200 MPaの圧力処理が総合的に優れていた。

これは彼らが用いた試料の具体的な数値(重量)が示されていないこと、更に、高圧解凍に要した時間が示されていないこと、加熱ドリップ測定時の加熱温度と時間が示されていないことなど、不明な点が多く、また、実験結果についても、統計処理が示されていないため、有意差の有無が確認できなかった。これらの要因が、上記の様な実験結果の差につながったのではないかと考えられた。

高圧解凍後の肉色については、通常の高圧処理と同様に、処理圧力が増加するに連れて肉色が白っぽく変色し、特に400, 500 MPaの圧力処理では変色が著しく、加熱した時のように茶色くなった。

一般には色差計を用いて $L^* a^* b^*$ 表色で試料の色を評価しそれをもとに ΔE を計算して色差を求める方法が多く用いられている。

Table 2 から ΔE で比較すると、100 MPaの圧力処理で既に変色していることになるが、肉眼による官能評価ではコントロールと100 MPaの圧力処理肉では肉色にほとんど差はみられなかった。200 MPaの圧力処理で僅かに白がかったピンク色になったがコントロールと比較してもあまり差はみられなかった。300 MPaの圧力処理になると全体に白っぽく変色し、コントロールとの差は、肉眼でもはっきりと認められた。

(2) 肉のテクスチャーについて

屠殺後、死後硬直した豚肉に高圧処理を施すと軟らかくなることは既に報告されている^{12)~15)}。そこで高圧解

凍した場合、豚肉はどのような影響を受けるのかを明らかにするため、高圧解凍した豚肉と高圧解凍後加熱調理した豚肉のテクスチャーを測定した。その結果をFig. 1に示す。

-20℃で凍結保存した豚肉の場合、高圧解凍すると、サーロインでも、またリブロインでも圧力の増加とともに肉の硬さが減少する、即ち、軟らかくなっていく傾向がみられた。特に200 MPa以上の圧力処理で著しく硬さが減少した。しかし、それ以上の圧力処理では硬さに差は認められなかった。この様に高圧解凍を行うことによって、非加熱肉の硬さは、いずれの部位の肉でも、最大で85%程低下した。

しかし、高圧解凍後加熱した豚肉の場合、肉の部位によって挙動を異にした。即ち、サーロインでは処理圧力が増加するにつれて肉は緩やかに軟らかくなるが、最大で30%程度軟らかくなるに留まった。他方、リブロインでは200 MPaまでは軟らかくなるものの、300 MPa以上の圧力処理では逆に少し硬くなった。

この様に、同じロース肉でも(a)の尻側(サーロイン)と、(b)の頭側(リブロイン)によって異なる傾向が認められた。リブロインは結合組織も多く、また、それらの組織がロース芯にも入り込んでいるため、加熱によってサーロインと比較すると硬くなりやすいと考えられる¹⁶⁾。

これらの結果から、高圧解凍処理は200 MPaの処理圧力を境に、試料に著しい変化を及ぼすこともわかった。すなわち、200 MPaまでの処理圧力であれば良好な結果が得られた。高圧解凍肉は解凍後、加熱加工する製品よりも生ハムやローストビーフ、タタキなどの比較的生肉に近い加工品に適していることが示唆された。

2. 微細構造および筋原線維蛋白質への影響

(1) 筋線維の電子顕微鏡観察

Table 2 Evaluation of the color difference on the surface of the high pressure-thawed pork meats

Thawing pressure	L^*	a^*	b^*	ΔE	Discoloration
Control	40.92±1.61	9.56±0.30	7.76±0.34	—	—
100 MPa	43.20±2.32	9.33±0.53	8.39±0.55	3.60±0.55	appreciable
200 MPa	53.33±2.91	8.64±0.59	9.93±0.70	14.89±1.19	very much
300 MPa	59.80±1.80	6.54±0.85	10.15±0.57	20.63±1.82	very much
400 MPa	60.41±1.09	4.66±0.42	10.84±0.25	20.49±1.29	very much
500 MPa	56.51±3.82	4.87±0.64	10.45±0.46	20.31±0.89	very much

Discoloration was evaluated on the basis of NBS units.

Fig. 1 Hardness of the high pressure-thawed pork meats

Relative hardness was expressed as % of that from pork meat thawed by running water (control).

The result shown in the figure is the mean of those obtained by repeated experiments for five different pork meats. Perpendicular lines indicate S.D.

(a) sirloin ; (b) ribloin

■, non-cooked meat ; ●, cooked meat at 70°C

熟成軟化前の畜肉に高压処理を施すと、圧力の増加とともにフィラメントの構造が破壊され、連続性が消失することが鈴木ら¹⁵⁾によってすでに報告されているが、冷凍豚肉を高压解冻した場合、筋原線維の構造にどのような影響が見られるのかを透過型電子顕微鏡で観察した。その結果を Fig. 2 (a~f) に示す。

凍結肉を流水で解冻したコントロール (a) の筋節の構造は生筋のように明瞭に観察された。(a)と比較して、100 MPa の圧力処理 (b) では筋節長が短縮している。そのため、I 帯が殆ど消失していた。また、Z 線および M 線が不明瞭になっていた。200 MPa の圧力 (c) を荷すと筋節の構造はあたかも生筋のそのように、Z 線、A 帯、I 帯が明瞭に観察された。また、筋節長も (a) のその長さに復した。300 MPa の圧力 (d) になるとフィラメントの連続性の崩壊や Z 線の崩壊も見られ、フィラメント間の隙間が目立ってきた。400, 500 MPa の圧力 (e, f) になると、一見整った線維構造に見えるが、よく観察すると I 帯の開裂が所々で起こっており、部分的な Z 線の崩壊とフィラメント間の隙間の拡大が組織全体に広がっていた。また、僅かではあるが筋節の収縮が回復しているようにも見えた。

以上の結果から、前述した加圧圧力の違いに伴うドリップの変化は、100 MPa におけるドリップの増加は筋原線維の短縮に伴う保水力の低下によるものと考えられた。また、200~400 MPa でのドリップの減少は加圧により生じた、水を保持できるような空間、即ち、筋原線維の隙間の増加によるものと推測される。500 MPa にお

けるドリップの再増加は、圧力により、筋原線維蛋白質が変性し、水を保持できなくなり、その結果、保水力が低下したためと考えられた¹⁷⁾。この様に、高压解冻による筋線維の組織的变化が、解冻後の肉ドリップの保持性の増減に関係しているのではないかと推察された。

(2) 筋原線維の粒度分布測定

試料から調製した筋原線維は、位相差顕微鏡や、電子顕微鏡、分光光度計を用いた濁度法などで観察、分析されるが、本実験ではもっと簡便な手法で分析することを目的として粒度分布計を用い、筋原線維の大きさの分析を試みた。

今回用いた光散乱解析タイプの粒度分布測定装置は、粒子径に応じて変化する散乱光パターンの違いを利用し、粒子径を求める測定法である。単一球状粒子に平面波の入射光が照射される場合、粒子から散乱される光の強度は Mie 理論¹⁸⁾ によって散乱角度、入射光の強度、波長、粒子径および溶媒に対する粒子の相対屈折率の関数から計算される。しかし、筋原線維は球状ではなく、棒状粒子であり、当然長径と短径では散乱光パターンが異なる。この場合、短径の情報は 10% 径に、長径の情報は 90% 径に反映される。

Fig. 3 の結果から、コントロールでの筋原線維は色々な粒径に幅広く分布していたが、解冻圧力の増加と共に、だんだんとある粒径に集中して分布するようになった。すなわち、筋原線維の粒径 (長さや大きさ) が、通常の畜肉を高压処理する場合には、処理圧力の増加に伴い、小さくなっていくが¹¹⁾、高压解冻した場合には、圧

Fig. 2 Electron micrographs of muscle strips prepared from the high pressure-thawed pork meats

Muscle strips taken from high pressure-thawed pork meats were fixed with glutaraldehyde and then stained with sodium cacodylate-OsO₄. Each scale mark on the electron micrographs indicates 1.0 μm. A, A band; I, I band; Z, Z line; M, M line.

(a) control (thawed by running water); (b) thawed at 100 MPa; (c) thawed at 200 MPa; (d) thawed at 300 MPa; (e) thawed at 400 MPa; (f) thawed at 500 MPa.

力の増加とともに粒径が小さくなるのではなく、ある粒径に収斂していくようになった。これらのことから、高圧解凍の場合、筋原線維の切れやすい箇所の周期が揃ってくる（キメが整う）ような負荷を受けるのではないかと考えられる。そのことがテクスチャーの改善に寄与するのではないかと考えられた。

(3) 筋原線維蛋白質の SDS-PAGE 像の分析

高圧解凍した筋原線維の SDS-PAGE 像を Fig. 4 (a~f) に示した。コントロールと 100 MPa で SDS-PAGE 像に顕著な違いは見られなかったが、200 MPa 以上の圧力処理で像に変化が認められた。すなわち、200 MPa 以上の圧力によって解凍された肉で α-アクチニン、トロポニン T、トロポミオシンそしてミオシン L 鎖 (MLC) の累進的な減少が観察された。そして、コントロールには無いトロポミオシンよりも分子量の小さいバンド（矢印 A）が出現した。このバンドはトロポミオシンの分子

Fig. 3 Particle size distribution of the myofibrils prepared from the high pressure-thawed pork meats

—, control; ---, thawed at 100 MPa; ·····, thawed at 200 MPa; - · - ·, thawed at 300 MPa; - - - -, thawed at 400 MPa; ·····, thawed at 500 MPa.

Fig. 4 SDS-PAGE profiles of the myofibrils prepared from the high pressure-thawed pork meats

MHC, myosin heavy chain; α , α -actinin; A, actin; TNT, troponin T; TM, tropomyosin; MLC, myosin light chain.

(a) control (thawed by running water); (b) thawed at 100 MPa; (c) thawed at 200 MPa; (d) thawed at 300 MPa; (e) thawed at 400 MPa; (f) thawed at 500 MPa.

Arrows A and B indicate 30 kDa protein and 45 kDa protein, respectively.

量から考えて、分子量が約 30 kDa であり、また、トロポニン T のバンドが 200 MPa 以上で急激に小さくなることからトロポニン T 由来の 30 kDa 蛋白質であると推測された。また、200 MPa 以上の高压解冻処理により、コントロールには無いアクチンよりも分子量の大きい約 45 kDa のバンド (矢印 B) が出現した。このバンドの由来は不明である。さらに、500 MPa でミオシンのヘビーチェーンとアクチンの減少が認められた。これらの結果は凍結していない高压処理肉と熟成肉の SDS-PAGE 像の変化、7 日間熟成した肉と 200 MPa 以上の圧力処理した肉で同じような SDS-PAGE 像の変化が見られたと言う NISHIWAKI ら¹⁹⁾ の報告とも一致している。

また、NISHIWAKI らの実験では、圧力の増加と共にバンドの変化が顕著になっていくと報告しているが、高压解冻の場合は、200 MPa 以上の圧力では、バンドの変化にあまり違いはみられなかった。この違いが高压処理肉と、高压解冻処理肉の違いを示しているのではないかと推測された。

NISHIWAKI らは新たなバンドの出現は、熟成肉の場合、内因性の蛋白質分解酵素によって生じるのに対し、高压処理肉では物理的な蛋白変性と内因性の蛋白質分解

酵素の相乗効果によって生じると考えているが、高压解冻の場合も同様の作用により筋原線維蛋白質の分解が進むと考えられる。

これらのことは、200 MPa 以上の圧力処理では、ドリップ量の減少、テクスチャーの変化 (軟化)、筋原線維の粒度分布状態に各圧力間でほとんど差が見られなかったという実験結果を裏付けることになったと思われる。

要 約

凍結豚肉を高压解冻した際に生じるドリップ量、外観、テクスチャーおよび筋原線維蛋白質の変化を研究した。

(1) 豚肉の外観およびテクスチャーへの影響

解冻時に高压力を荷すことによって、豚肉のドリップ量を減少させる、すなわち保水性を向上させることができる。また、豚肉を軟化させることも可能であった。しかし、200 MPa 以上の高压処理では処理圧力間で軟化効果にあまり違いが見られないこと、それに加えて外観の変化 (特に肉色) などから、200 MPa の高压解冻が適当だと考えられる。さらに、高压解冻は長時間加熱を伴う加工品よりも、生ハムやローストビーフ、タタキなどの比較的加熱時間の短い生に近いまたは半加熱食肉製品に適していると考えられる。

(2) 微細構造および筋原線維蛋白質への影響

高压解冻によって筋原線維は圧力の増加に伴って大きな構造破壊を受けた。筋原線維は通常の高圧処理のように圧力の増加に依存して小片化が進むのではなく、ある粒径 (大きさ、長さ) に筋原線維長の分布が収斂していくことが分かった。また、筋原線維蛋白質の SDS-PAGE においても、コントロールには見られない新たなバンドが出現した。これらの変化は、200 MPa 以上の高压処理で生じた。

本研究を進めるにあたり、電子顕微鏡写真の撮影にご協力下さいました、愛媛大学医学部付属実験実習機器センターの辻田隆廣助教授ならびに首藤政親技官、また、この様な機会を与えて下さいました日本食研株式会社の大沢一彦社長に心より感謝し、御礼を申し上げます。

文 献

- 1) 洲上倫子: *New Food Industry*, 41, 39 (1999).
- 2) MASSAUX, C., BERA, F., STEYER, B., SINDIC, M. and DEROANE, C.: *Advances in Pressure Bioscience and Biotechnology*, LUDING, H. ed, (Springer,

- Heidelbeg) p. 485 (1999).
- 3) MASSAUX, C., BERA, F., STEYER, B., SINDIC, M. and DEROANE, C.: *Advances in Pressure Bioscience and Biotechnology*, LUDING, H. ed, (Springer, Heidelbeg) p. 497 (1999).
 - 4) 村上哲也・木村郁夫・宮川 寿・杉本昌明・佐竹幹雄: 高圧バイオサイエンス, 功刀 滋・嶋田昇二・鈴木敦士・林 力丸編, (さんえい出版, 京都), p. 304 (1994).
 - 5) YOSHIOKA, K., YAMADA, A., MAKI, T., YOSHIMOTO, C. and YAMAMOTO, T.: *Advances in Pressure Bioscience, aaand Biotechnology*, LUDING, H. ed, (Springor,) p. 501 (1999).
 - 6) 出内智子・林 力丸. 高圧科学と加圧食品, 林力丸編, (さんえい出版, 京都), p. 101 (1991).
 - 7) 寺本あい・淵上倫子: 高圧生物科学と高圧技術, 鈴木敦士・林 力丸編, (さんえい出版, 京都), p. 117 (1997).
 - 8) 総合調理科学辞典, (日本調理学会編, 光生館), p. 113 (1997).
 - 9) BUSCH, W.A., STROMER, M.H., GOLL, D.E and SUZUKI, A.: *J. Cell Biol.*, **52**, 367 (1972).
 - 10) LAEMMLE, U.K.: *Nature*, **227**, 680 (1970).
 - 11) 鈴木敦士・池内義英: 高圧科学と加圧食品, 林力丸編, (さんえい出版, 京都), p. 258 (1991).
 - 12) MACFARLANE, J.J.: In *Developments in Meat Science-3*, LAWRIE, R.A., ed, (Elsevier Applied aaaScience Pubulishers, Barking, Essex), p. 135 (1985).
 - 13) BOUTON, P.E., FORD, A.L., HARRIS, P.V., MACFARLANE, J.J. and O'SHEA, J.M.: *J. Food Sci.*, **42**, 132 (1977).
 - 14) LOCKER, R.H. and WILD, D.J.C.: *Meat Sci.*, **10**, 207 (1984).
 - 15) SUZUKI, A., KIMU, K., HONMA, N., IKEUCHI, Y. and SAITO, M.: *High Pressure and Biotechnology*, BALNY, C., HAYASHI, R., HEREMANS, K and MASSON, P., eds., (Colloques INSERM/John Libbey Eurotext, Montrouge), p. 291 (1992).
 - 16) SIMS, T.J. and BAILEY, A.J.: *The Chemistry of Muscle- Based Foods*, LEDWARD, D.A., JOHNSTON, D.E. and KNIGHT, M.K., eds., (Royal Society of Chemistry, Cambridge), p. 106 (1992).
 - 17) MOZHAEV, V.V., HEREMANS, K., FRANK, J., MASSON, P. and BALNY, C.: *PROTEINS: Structure, Function, and Genetics.*, **24**, 81 (1996).
 - 18) 草川 徹・横田英嗣訳: 光学の原理, III巻, 東海大学出版会, p. 932 (1975).
 - 19) NISHIWAKI, T., IKEUCHI, Y., SUZUKI, A.: *Meat Science*, **43**, 2, 145 (1996).
- (平成 13 年 4 月 25 日受付, 平成 13 年 9 月 14 日受理)