豚肉の塩蔵工程中における物性変化

飯塚俊輔*・望月義範*・田代有里*・小川廣男*
水野治夫*・磯 直道*

Physicochemical Properties of Pork Meat during Salting Process

Shunsuke IIZUKA*, Yoshinori MOCHIZUKI*, Yuri TASHIRO*,
Hiroo OGAWA*, Haruo MIZUNO* and Naomichi Iso*

* *Department of Food Science and Technology, Tokyo University of
Fisheries, 4-5-7 Konan, Minato-ku, Tokyo 108*

The salt contents of pork meat (pork spare ribs) increased from 0.5% of raw meat to 3.1% after one day's salting process at 4% (w/w) NaCl addition, and then the contents was almost constant. By DSC analysis, it became clear that denaturation of the meat mainly occurred on myosin by salting. As the denaturation proceeds, the enthalpy change, ΔH , (cal/g of meat) of 1.212 rapidly decreased to 0.830 for 3 day's salting and then gradually decreased to 0.736 for 27 day's salting. Elastic modulus, viscosity and rupture strength of the meat increased during salting as a whole. The change of dynamic rigidity of the pork meat pastes by heating exhibited the tendency to decrease at the temperature range from 52°C to 58°C after 6 day's salting. The result was considered to come from the structure change of the sample due to thermal denaturation of myosin.

(Received Dec. 19, 1994)

食肉製品製造における塩蔵法は人類が古くから利用してきた加工法のひとつである。その主たる目的は、従来は水分活性の低下による食肉の貯蔵性の向上にあった。しかし、近年では健康上の理由から低塩濃度製品が主流となってきており、その目的も塩蔵品特有の風味や食感を食肉に与えることに移ってきた。すなわち、塩蔵により食肉は脱水、成分の濃縮、構成タンパク質の変性等にさらされ、その結果生じる食肉組織構造の変化は食肉のテクスチャーに大いに関係すると考えられる。

我々は、物性変化は組織の構造変化の反映であると考え、これまで種々の食品の加工中の物性変化を検討してきたが、その一環として塩蔵加工がある。我々は先に、水産塩蔵品としての塩蔵サケについて報告した¹⁾。本研究では畜肉塩蔵品として塩蔵豚肉を取りあげ、その製造中の原料肉のレオロジーパラメータの変化を加熱変性の結果と併せて検討した。

実験方法

1. 試料

ベーコンの原料である pork spare ribs (処理後 1~3°C で 5 日間熟成) を用いた。ベーコンの場合、塩蔵に用いられる塩濃度は 2.5~4.0% で、原料肉 1 kg 当たり 5~7 日間の割合で塩漬けする²⁾。今回の原料肉はいずれも約 3 kg のブロックであったので、塩蔵条件は 4% の塩濃度で、塩蔵品完成の余裕をみて、塩蔵日数は 27 日間とした。原料肉の表面に、肉重量の 4% の食塩をよくすり込み容器に入れ、落とし蓋をして上から重石をのせ、5°C で塩蔵した。その後、所定の日ごと (0~7, 10, 14, 18, 22, 27 日目) に 1 ブロックづつ取り出し、表面の余分な塩を流水で洗い流した後、以後の実験に供した。

2. 塩分、水分および粗タンパク質の定量

塩濃度は塩分濃度計 (シナール・メディカル, SN-2P 型) により、水分含有量は常圧加熱乾燥法により求めた。粗タンパク質含量の定量は Kjeldahl 法によった。

* 東京水産大学食品生産学科 (〒108 東京都港区港南 4-5-7)

3. 応力緩和実験

応力緩和実験はテンシプレッサー（タケトモ電機、TTP-50BX 型）によって室温で行った。プランジャーは直径 1.8 cm の円柱型を用い、皮を取り除いた 3 cm×3 cm 厚さ 1.5~2.0 cm の試料に線型性を考慮して、試料の破壊が起こらない範囲の 25% の圧縮変形を与えた。得られた応力緩和曲線の解析は一般化 Maxwell 模型を想定した逐次近似法によった³⁾。

本実験で得られた応力緩和曲線はすべて 4 要素模型で解析できた。

4. 破断強度測定

破断強度測定は、円錐角 45°（母線長 32.5 mm、高さ 30.0 mm）の円錐型プランジャーを用いて、応力緩和の場合と同じテンシプレッサーによって室温で行った。プランジャーの進入速度は 2 mm/s であった。

5. 動的剛性率測定

加熱によるレオロジー特性の変化に関する知見を得るため、試料の肉糊について加熱しながら動的剛性率測定を行った。なお、肉糊は、測定中の乾燥を防ぐために塩蔵肉に重量の 1.0% の水を加え、冷却しながらホモジナイズして得た。測定は振れ自由減衰型動的粘弾性測定装置（レスカ、TPA-10 型）により、振れ角 1°, 昇温速度 1°C/min で 5~100°C の温度範囲で行った。

6. 示差走査熱量（DSC）測定

DSC 測定は示差走査熱量計（セイコー電子工業、SSC-560 型）によった。測定は 5~120°C の範囲で、昇温速度 2°C/min で行った。試料側には試料肉約 11 mg を容量 15 μ l のアルミニウム製密閉容器に封入したものを用い、レファレンス側には、同試料を同一条件で熱走査した後、冷却したものを用いた。

実験結果および考察

1. 塩分濃度および水分含有量の変化

Fig. 1 と Fig. 2 に塩蔵日数にともなう塩分濃度および水分含有量の変化を示す。塩分濃度は生肉の 0.53% から塩蔵 1 日目の 3.13% に急増し、その後塩蔵 27 日目まで大きな変化はなかった。一方、魚肉のサケの場合は塩蔵日数とともにほぼ直線的に増加し、塩蔵 7 日目で 2.9%、塩蔵 14 日目で 4.4% となった¹⁾。この相違は豚肉ではサケに比べて浸出する水分量が少なく、その速度も遅いためである。なお、一般に、ベーコンの塩分濃度はおよそ 3~4% であるので、本実験における塩蔵の程度は市販製品のそれと同様であると思われる。

Fig. 1 Change of salt content of meat with salting days

Fig. 2 Change of water content of meat with salting days

2. DSC サーモグラムおよびエンタルピー値の変化

Fig. 3 に得られた DSC サーモグラムの例を示す。塩蔵前の試料すなわち原料肉では、54°C、61°C、68°C、および 76°C 付近に顕著な吸熱ピークが認められた。牛肉による研究ではミオシンが 57°C、コラーゲンが 65°C、アクチンが 80°C のピークを、また、兎の脚肉による研究ではミオシンが 60°C、筋形質タンパク質が 67°C、アクチンが 80°C にそれぞれピークを示すと報告している⁴⁾。一方、BARBUT らの牛肉による研究では、塩化ナトリウム濃度の増加とともにミオシンの変性温度が低温に移行する結果を得ている⁵⁾。したがって、これらのピークのうち、主として 54°C はミオシンの、61°C はコラーゲンの、68°C は筋形質タンパク質の、そして 76°C はアクチンの熱変性にともなう吸熱ピークと考えることができる。しかし、76°C アクチンによるピーク、54°C のミオシンによるピークの間の中間領域のピークは、ミオシン、コラーゲ

Fig. 3 DSC Thermogram: The upper curve shows the result of raw meat, the middle curve that of 2 day's salting, and the lower curve that of 3 day's salting.

ン、水溶性タンパク質のピークが重なりあっていられるため、その温度域のピークを正確に個々のタンパク質にあてはめることは困難である。2日目には塩濃度が高まり筋原繊維タンパク質の熱安定性が低下していることは明らかである。それがDSCピークのシフトになって現れている。しかし、塩は周囲の水を介してタンパク質に影響を及ぼすと考えられるが、塩蔵2日目には、筋原繊維の構造変化がわずかなために、 ΔH は生の肉のそれとほぼ同じになったものと思われる。76°Cの高温域のピークは、塩蔵の経過にともない2日目で71°C、3日目以降では68°Cへと移行しており、アクチンの熱安定性が低下したことがわかる。一方、54°C付近の低温域のピークは徐々に小さくなった。従来、アクトミオシンは低温域で高濃度の塩と反応すると、ミオシンは変性しないが、アンチンは変性する^{6)~8)}といわれているけれども、本実験結果からミオシンの方がアクチンに比べて塩の影響による変性を起こしやすいと言いうことが出来、このことはサケの場合と同様であった。DSCは試料内部の諸変化に伴う熱エネルギーの変化を定量的に反映す

る。そこで、塩蔵中の豚肉の変質がタンパク質によるものか否かを知るために、変性に要する熱エネルギーを見積った。Fig. 4にDSCサーモグラムから計算した試料1 mg当たりのエンタルピー変化 ΔH (mcal/mg)の塩蔵日数依存性を示した。図から明らかなように、生肉試料の1.212 mcal/mgから塩蔵2日目の1.233 mcal/mgまで変化は認められなかったが、3日目に0.830 mcal/mgまで急激に低下し、その後は27日目の0.736 mcal/mgまで大きな変化は認められなかった。一方、粗タンパク質1 mg当たりの ΔH に換算してみるとFig. 5のようにFig. 4と同様の減少傾向を示したことからこれらの ΔH の減少の主な原因は塩蔵日数とともに増加するイオン強度の変化によって引き起こされるタンパク質の変性と考えられる。これらの結果は、魚肉のサケの場合にも見ら

Fig. 4 Salting time dependence of the change of enthalpy ΔH (cal/g of meat)

Fig. 5 Salting time dependence of the change of enthalpy ΔH (cal/g of crude protein)

れた。そして ΔH が塩蔵後半ではほぼ一定となり、変性に要する熱エネルギーが少なくてすむことから、塩の影響によって試料内のタンパク質は部分的に熱変性を受けた場合と同程度の状態になっていることが示唆された。塩によるタンパク質の変性機構と熱によるそれとの相違の解明は今後の課題である。

3. 瞬間弾性率、粘性率および破断強度の変化

塩蔵日数の経過に伴う瞬間弾性率 E_0 、第一要素の粘度 η_1 、および破断強度 F の変化をFig. 6に示す。図から明らかなように、いずれのパラメータも塩蔵前から塩蔵1日目にかけて増加し、4日目でいったん減少した後、7日目に大きく増加した。その後は10、14、18日目でやや低下するものの、22、27日目では再び高い値へと回復している。DSC測定の結果によれば、塩蔵1日目のサーモグラムは、塩蔵前のものと大差がないことから、これらのパラメータの約4日目の低下は塩による変性が原因ではなく、脱水による見かけの筋肉硬化を上回る試料肉の鮮度低下にともなう組織の脆弱化によるのであろう。また、その後の力学的パラメータの増加は水分がドリップとして浸出したことによって水分含有量が低下し、そのため試料組織が緻密化したためと考えられる。

4. 動的剛性率の加熱温度依存性の変化

塩蔵前、塩蔵6日目、および塩蔵14日目の試料の動的剛性率 G' のサーモグラムをFig. 7に示す。6日目あたりから52~58℃の高温域に顕著な G' の低下が現れた。この温度域は、AUTIOらの豚肉と牛肉の肉糊およびそれから調製したミオフィブリルサスペンションの動的測定での G' の低下温度域と一致しており⁹⁾、これもまた豚肉でのDSCサーモグラムのミオシンの変性温度と一致している。 G' の低下をもたらした原因としてプロテアー

Fig. 6 Changes of instantaneous elastic modulus (○), viscosity of the 1st element (●), and rupture strength (△) with salting

Fig. 7 Heating temperature dependence of dynamic rigidity of meat paste: The upper curve shows the result of unsalting sample, the middle curve that of 6 day's salting, and the lower curve that of 14 day's salting

ゼによる筋原繊維タンパク質の分解が考えられる。魚肉に関しては、このような高温域に活性をもつ筋肉プロテアーゼの報告例¹⁰⁾はあるが、畜肉に関してはそのような酵素の報告はない。したがって、ここでの G' の低下は塩の影響によって変性したミオシンがさらに熱によって変性したことにもなう構造変化に起因するものと考えられている。また、70℃で変性する成分はアクチンと考えているが、アクチンに相当する成分のDSCピークは塩蔵2日目から低温側にシフトしている (Fig. 3)。しかし70℃付近の G' が塩蔵日数によって変わらないことから、アクチンの熱安定性は低下するもののこの変化はゲル構造形成にはほとんど影響していないことが分かる。

要 約

豚肉 (スペアリブ) の塩濃度は、4% 食塩添加によって生肉の0.5% から塩蔵1日後の3.1% へ増加し、その後はほぼ一定となった。示差走査熱量 (DSC) 測定の結果

から、塩蔵による肉の変性は主としてミオシンに生じることがわかった。変性の進行につれて、エンタルピー変化 ΔH (mcal/粗タンパク質 mg) は 1.212 から塩蔵 3 日後の 0.830 まで急減し、その後は塩蔵 27 日後の 0.736 まで徐々に減少した。試料の弾性率、粘度、破断強度は全体として、塩蔵中に増加した。豚肉ペーストの加熱中の動的剛性率は塩蔵 6 日後は 52~58℃ で減少する傾向を示した。この結果はミオシンの熱変性による試料の構造変化のためと考えられる。

本研究に要した経費の一部は財団法人ソルト・サイエンス研究財団からの助成金 (No. 92063) によった。ここに記し謝意を表する。

文 献

- 1) 飯塚俊輔・望月義範・小川廣男・水野治夫・磯

直道：日水誌, 61, 71 (1995).

- 2) 佐藤 信：食肉の熟成, (光琳, 東京), p 601 (1984).
3) 磯 直道：水産食品のテクスチャー, 丹羽栄二編, (恒星社厚生閣, 東京), p 9 (1987).
4) WRIGHT, D.J., LEACH I.B. and WILLING P.: *J. Food Sci.*, 28, 557 (1977).
5) BARBUT S. and FINDLAY C.F.: *J. Food Sci.*, 56, 180 (1991).
6) 若目田篤・新井健一：日水誌, 49, 645 (1983).
7) 若目田篤・新井健一：日水誌, 50, 635 (1984).
8) IKEUCHI, I., TANJI, H., KAKIMOTO, T. and SUZUKI A.: *J. Sci. Food Agric.*, 65, 77 (1994).
9) AUTIO, K. and WIETSCH, F.: *J. Food Sci.*, 55, 1494 (1990).
10) 新井健一：水産物加工利用技術研究開発総合報告書 p. 43 (1985).

(平成 6 年 12 月 19 日受理)