

《総 説》

鶏ムネ肉の食味性を改善する熟成技術の開発

奥村朋之¹⁾・犬塚雄介¹⁾・小川真理子¹⁾・小川俊也¹⁾・中村丈志¹⁾・井手 弘¹⁾
神崎憲幸²⁾・秋山宗雄³⁾・久保正法⁴⁾・西村敏英⁵⁾

¹⁾ 日本ハム株式会社中央研究所, 茨城県つくば市 300-2646

²⁾ 日本ハム株式会社食肉事業部国内チキン部, 東京都港区 108-0074

³⁾ 日本ホワイトファーム株式会社, 青森県上北郡横浜町 039-4101

⁴⁾ 農林水産省家畜衛生試験場総合診断研究部病理診断研究室, 茨城県つくば市 305-0856

⁵⁾ 広島大学大学院生物圏科学研究科動物資源化学, 広島県東広島市 739-8528

キーワード: 熟成, 鶏ムネ肉, 除骨時間, 軟らかさ, 多汁性, Z線間の距離

はじめに

著者らは「鶏ムネ肉の食味性を改善する熟成技術の開発」の課題で、2002年度の日本家禽学会技術賞を受賞する名誉を頂いた。本稿は受賞対象となった研究報告の概要をまとめたものである。

著者らが研究を始めた背景は次の通りである。

日本人のタンパク摂取量に占める動物性タンパク質の割合は増加しており、食肉は良質なタンパク質の供給源として重要な役割を果たしている。鶏肉は食肉の中でもとりわけ安価でかつ低カロリーであることから、消費者のニーズも高く、食肉消費量の中で約30%を占めているが、ムネ肉の消費量はモモ肉に比べて極端に低いのが現状である。ムネ肉の食感がぱさぱさ(ジューシーでない)しているために消費者の評価が低く、消費が低迷している大きな原因と考えられている。ムネ肉の消費低迷は日本人が特に嗜好するモモ肉の価格高騰をも引き起こしているために、鶏ムネ肉の肉質改良は家禽産業の発展に急務となっている。

動物の筋肉は屠殺後しばらくしてから死後硬直が起こり硬くなるが、その後熟成に伴う解硬を経て軟らかくなり食用に供される。鶏の死後変化は他の畜種に比べて速いと報告されている。鶏筋肉の硬直は屠殺後2時間経過する頃に最大となり、最も硬くなることが知られている(根岸・吉川, 1994; 高橋, 1986)。この死後硬直は食肉が硬くなるだけでなく、食肉の保水性を低下させるため、解硬後の肉質に大きな影響を与える。

現在の日本では、生産処理施設の規模が拡大し、また

消費者のとりわけ新鮮さへの要望から、プロイラー処理は生体から製品までを短時間(2時間以内)で仕上げられており、屠殺直後に除骨し解体する製造工程が取り入れられている。この工程が問題であり、鶏肉は死後硬直に伴う肉質の低下を受け、問題となっているぱさぱさ感を引き起こすと考えられる。このような肉質の低下を防ぐためには、死後硬直の影響を小さくすることが大切となる。これまでに、牛肉で死後硬直の影響を小さくする方法の一つとして、骨付きのまま死後硬直時間帯を通過させることにより肉質を改良する方法が報告されている(LyonとLyon, 1990; McKeeら, 1997)。また、鶏肉については、屠殺後24時間で除骨された肉では、屠殺直後に除骨した肉で認められる筋原線維の崩壊や短縮を防ぐことができると報告されている(McKeeら, 1997)。しかし、鶏ムネ肉について、除骨最適時期や除骨時期の異なる肉の食味性の違い等に関する詳細な研究が少なく、骨付きのまま熟成させることはほとんど行われていなかった。

そこで、本研究では、鶏(プロイラー)ムネ肉の食味性改善を目的として、鶏解体時における屠殺後の除骨時間がその後の熟成に伴う鶏ムネ肉の肉質変化に及ぼす影響を官能検査並びに理化学的特性から調べた。また、骨付き熟成がぱさつきを改善できたメカニズムを組織学的な観察から解析した。

この研究成果をもとに、日本ホワイトファームではプロイラー生産にこの骨付き熟成技術を導入し、鶏ムネ肉の肉質改善に成功した。日本において骨付き熟成を導入した最初の実用化プラントである。その後、骨付き熟成は少しずつ普及し始めており、それに呼応しての鶏肉の消費拡大が期待されている。また、得られた研究成果

は論文として発表するだけではなく、日本食鳥協会のホームページで「熟成ムネ肉」の定義として紹介され、ムネ肉の消費拡大キャンペーンにも貢献している。

研究材料及び方法

1. 試料と保存条件

官能検査及び理化学的特性の分析には、10週齢のプロイラー（ホワイトコーニッシュ×ホワイトロック）雄を用いた。屠殺後1, 2, 4, 6, 24時間経過後にそれぞれ除骨・解体した後、各ムネ肉を真空包装し、0°Cで4日間貯蔵したものを試料とした。

組織学的特性の解析には、8週齢のプロイラー雌を用いた。屠殺後、1時間経過した時に屠体片側から鶏ムネ肉を採取し、屠殺後8および16時間後まで0°Cで貯蔵した後に浅胸筋を取り出し試料とした。また、残りの屠体片は、屠殺後8および16時間屠体のまま貯蔵した後除骨・解体し、その鶏ムネ肉から浅胸筋を取り出し試料とした。

2. 官能検査

各鶏ムネ肉（24個体）から皮及び脂肪組織を除き、140°Cのコンベクションオーブンで中心温度が70°Cに達するまで加熱した後、予め訓練したパネル20名によりやわらかさ（Tenderness）、ジューシー感（ジューシー感が少ないとばさばさ感が強いことを意味する、Juiciness）、全体の好ましさ（風味と食感を総合した嗜好性、Palatability）を評価した。評価法は、クレーマーの検定による順位法（Kramer, 1963）で行った。

3. 保水性

除骨時間の異なる各ムネ肉を、4日間貯蔵した時に遊離したドリップ量を測定し、最初の肉片重量に対する割合で表したものをドリップ率（cooling loss）とした。また、各鶏ムネ肉から皮及び脂肪組織を除いた後に真空包装し、恒温水槽中70°Cで70分間加熱した。これを一晚冷却した後に遊離水分量を測定し、最初の肉片重量に対する割合で表したものをクッキングロス（cooking loss）とした。

4. 食肉の硬さ

食肉の硬さは小堤ら（1988）の方法に準じ、テンシプレッサー TTP50BX（タケトモ社製）を使用して測定した。加熱鶏ムネ肉から、筋肉繊維方向に沿って切断した（縦4cm×横1cm×厚さ1cm）浅胸筋を調製した後、外径が5.5mmの円筒形のプランジャーを用い破断応力を測定した。

5. 加熱収縮率の測定

除骨時間の異なる各ムネ肉をオープンで中心温度が70°Cに達するまで加熱し、加熱前後の短径および長径を

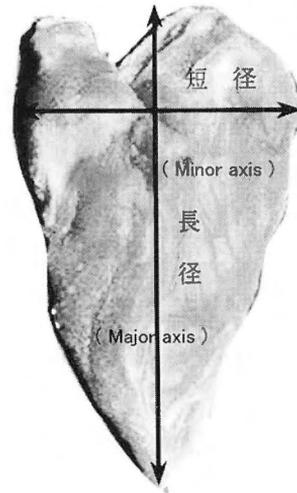


図 1. 鶏ムネ肉の長径及び短径の収縮率の測定
鶏ムネ肉の加熱前後の長径及び短径を測定し、その収縮率を測定した。

Fig. 1. Measurement on shrinkage ratio in major and minor axis of chicken breast.

The shrinkage ratio is calculated by measuring length of axis in chicken breast before and after heating.

測定し、その収縮率（%）を測定した（図1）。

6. 組織学的観察

光学顕微鏡による観察試料は鶏ムネ肉の浅胸筋（縦2cm×横5cm×厚さ1cm）を用いた。まず、常法により筋肉組織を固定・包埋後に5μm厚の縦断切片を標本として作製した。標本をヘマトキシリン・エオジン染色（HE染色）した後、光学顕微鏡（DX-50, オリンパス）を用いて組織観察し撮影を行った。

電子顕微鏡による観察試料は鶏浅胸筋（5mm角）を上記と同じ固定液で前固定した試料を細切（1-2mm角）しPBSで洗浄した後、2%四塩化オスミウムで後固定を行った。常法に従い超薄切片を調製し、酢酸ウラニル-クエン酸鉛の重染色を施して電子顕微鏡（1200EX, JOEL）で観察し撮影を行った。それぞれの試料のZ線間の距離は測定した任意の10点の平均値として求めた。

7. 筋原線維の調製及び小片化率の測定

筋原線維はOlsonら（1976）の方法に準じて調製した。各肉から調製した筋原線維を光学顕微鏡下（1,000倍）で観察した。TakahashiとYasui（1967）の方法に準じて、全筋原線維数に占める1~4個のサルコメアからなる筋原線維数のパーセント（MFI）を求めた。

表 1. 屠鳥後の除骨時間が鶏ムネ肉の肉質（軟らかさ, 多汁性, 好ましさ）に及ぼす影響

Table 1. Effect of postmortem deboning time on tenderness, juiciness and palatability of chicken breast meat aged for 4 days

1. Deboning time at 1, 2, 4 h postmortem

	Numbers of ranking		
	1 hour	2 hours	4 hours
Tenderness	3**	2	1**
Juiciness	3*	2	1**
Palatability	3*	2	1*

2. Deboning time at 1, 4, 6 h postmortem

	Numbers of ranking		
	1 hour	4 hours	6 hours
Tenderness	3**	1**	2
Juiciness	3**	1**	2*
Palatability	3**	2	1**

値は順位を示し、水平方向で有意差検定を行っている。**: 1%の危険率で有意差がある。*: 5%の危険率で有意差がある。(クラマーの順位法)

Values are numbers of ranking, and the number with asterisk in the same horizontal line is significantly different from the other two numbers: ** $p < 0.01$; * $p < 0.05$ (ranking test, Kramer method).

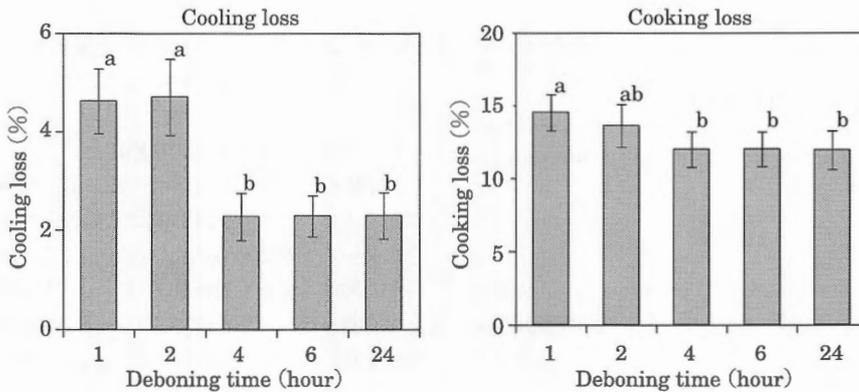


図 2. 屠鳥後の除骨時間が鶏ムネ肉の冷却ロス及びクッキングロスに及ぼす影響

値は5羽の平均値±標準偏差で示した。

a, b: 5%の危険率で有意差が認められた。

Fig. 2. Effect of postmortem deboning time on the cooling loss and cooking loss of chicken breast meat aged at 0°C for 4 days.

Each point is the mean \pm SD of 5 samples.

a, b: Values are significantly different ($p < 0.05$).

結果及び考察

1. 官能検査による肉質の評価

屠殺後1, 2, 4, 6時間経過した後それぞれ除骨・解体して鶏ムネ肉を採取した。これらを0°Cで4日間貯蔵した後官能評価した。官能評価には3試料による順位法を用いた為、1, 2, 4時間後除骨の3試料並びに1, 4, 6時間後除骨の3試料と比較した(表1)。屠殺後1, 2, 4時間経過した後に除骨した熟成ムネ肉の中では、4時間後に除骨したものが最も軟らかく、ジューシーで美味しいと評価された。一方、1, 4, 6時間後に除骨したムネ肉では、1時間後に除骨したものが4時間並びに6時間

後に除骨したものより有意に硬く、ジューシーでないと評価された。しかし、4時間後除骨と6時間後除骨のものでは、前者が軟らかくジューシーであると評価されたが、総合的には後者が優れていると判断された。これらの結果から、屠殺後、4~6時間経過した屠体からムネ肉を取り出した場合に、それを熟成した肉は軟らかくまたジューシーで美味しくなることが明らかとなった。

鶏肉の最大死後硬直時間は、屠殺後約2時間であると報告されている(根岸と吉川, 1994; 高橋, 1986)。この時期を骨付きの状態冷蔵貯蔵すると、筋肉が骨に結合しているため、筋原線維が等長状態で収縮現象を起こし、ATPを消費してしまうことになる。その場合に、通

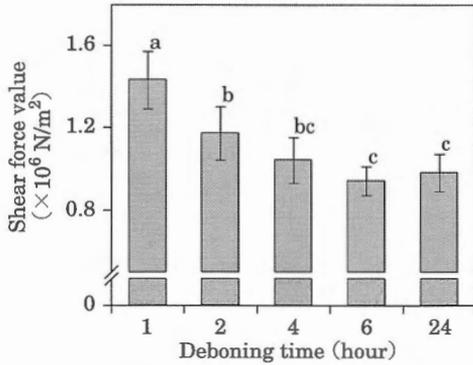


図 3. 屠鳥後の除骨時間が鶏ムネ肉の硬さに及ぼす影響

値は 5 羽の平均値±標準偏差で示した。
a, b : 5% の危険率で有意差が認められた。

Fig. 3. Effect of postmortem deboning time on the shear force value of chicken breast meat aged at 0°C for 4 days. Each point is the mean±SD of 5 samples. a, b : Values are significantly different ($p < 0.05$).

常の死後硬直で認められる滑り込みが起こらず、除骨後も太いフィラメントと細いフィラメント間の空間が広いまま維持できることから、保水性が低下しないと考えら

れている。本研究で、4 時間並びに 6 時間後に除骨した鶏ムネ肉が 1 時間後に除骨したものよりジューシーに感じたのは、死後硬直時間帯を骨付き状態で通過したため、筋原線維の滑り込みが起こらず、保水性の低下が抑えられたことに起因すると推察された。

2. 保水性

各鶏ムネ肉のドリップ率 (cooling loss) 及びクッキングロス (cooking loss) を測定した (図 2)。1 時間および 2 時間後に除骨した鶏熟成ムネ肉のドリップ率は、4, 6, 24 時間後に除骨したものより有意に高いことが認められた。また、1 時間後に除骨したムネ肉のクッキングロスも有意に大きく、保水性が低下していることが判明した。2 時間後に除骨したムネ肉のクッキングロスも有意差は認められないものの、4, 6, 24 時間後に除骨したムネ肉よりも大きい傾向が認められた。これらの結果から、屠殺後 1~2 時間で除骨すると除骨後に死後硬直が進行し保水性が低下すると推察された。

3. ムネ肉 (浅胸筋) の破断応力

1 時間後に除骨した屠体から取り出した熟成ムネ肉の破断応力は、2, 4, 6, 24 時間後に除骨したものに比べ有意に高いことが認められた (図 3)。また、2 時間後に除骨した熟成ムネ肉の破断応力は、6, 24 時間後のものに比べ有意に高いことが認められた。これらの結果は、屠殺後 1 時間経過した屠体から取り出して熟成した肉が最

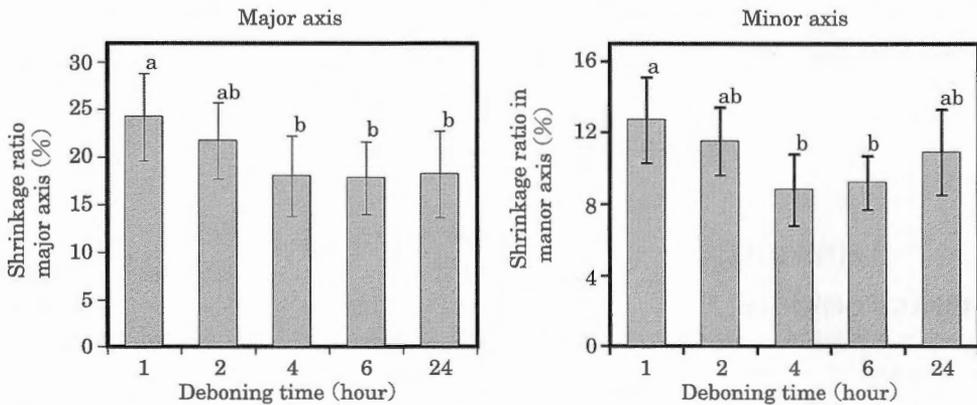


図 4. 屠鳥後の除骨時間が鶏ムネ肉の長径及び短径の加熱収縮率に及ぼす影響
値は 5 羽の平均値±標準偏差で示した。
a, b : 5% の危険率で有意差が認められた。

Fig. 4. Effect of postmortem deboning time on the shrinkage in major and minor axis of chicken breast meat by baking in an oven. Each point is the mean±SD of 5 samples. a, b : Values are significantly different ($p < 0.05$).

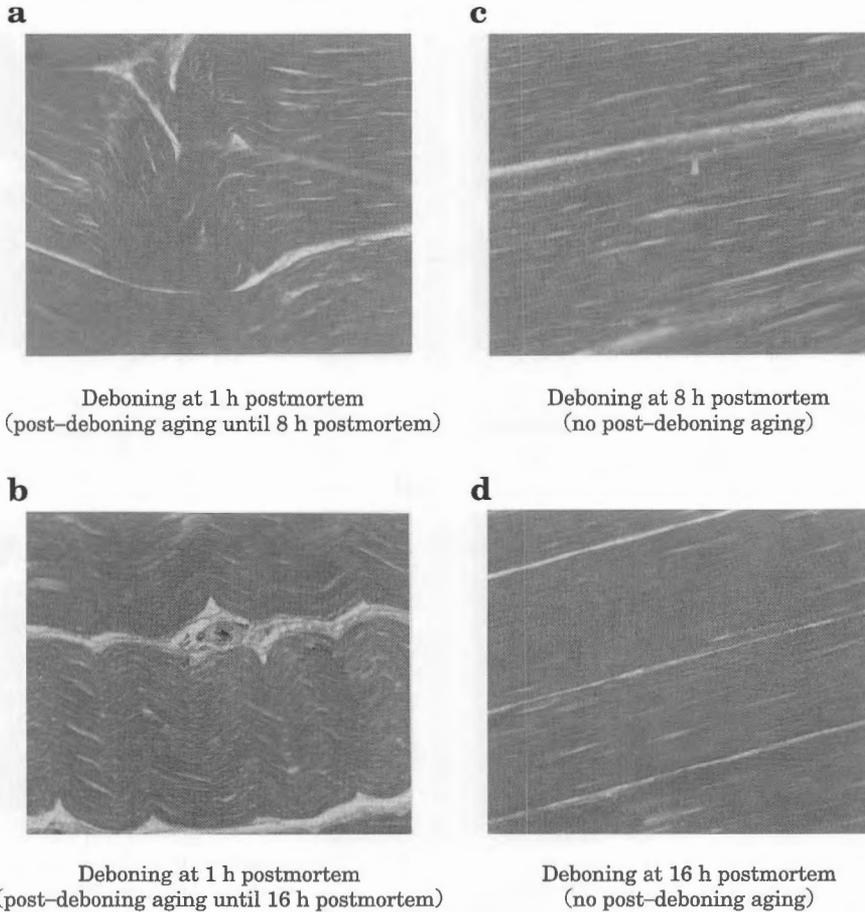


図 5. 屠鳥後の除骨時間が鶏浅胸筋の構造に及ぼす影響
屠鳥1時間後に除骨し、さらに屠鳥8あるいは16時間後まで0℃で保存したものと、屠鳥8あるいは16時間後まで保存したものを光学顕微鏡で観察した。(縦断面, ×800)

Fig. 5. Optical micrographs of pectoral muscle deboned at 1 (a, b), 8 (c) and 16 (d) h postmortem. Each muscle deboned at 1 h postmortem was observed after aging until 8 (a) or 16 (b) h postmortem at 0℃ (vertical section, ×800).

も硬いという官能評価の結果と良く対応していた。McKeeら(1997)は、屠殺後24時間に除骨した肉は、屠殺直後に除骨して24時間熟成した肉より破断応力が小さいと報告している。本研究での結果も同様なものであった。

4. 胸肉の収縮率

1時間後に除骨した屠体から取り出した熟成ムネ肉の長径の収縮率は、4、6、24時間後に除骨したものに比べ有意に高いことが認められた(図4)。また、1、2時間後に除骨した熟成ムネ肉の短径の収縮率は、4、6時間後のものに比べ有意に高いことが認められた。これらの結果は、屠殺直後の除骨により肉が硬くなり保水性が低下す

ることと呼応している。

5. 鶏胸肉の組織観察

まず、各ムネ肉から取り出した浅胸筋の縦断像を光学顕微鏡で観察した。8(図5-c)もしくは16時間(図5-d)後に除骨した鶏肉の筋原線維は直線的に走行しており、屈曲した部分は観察されなかったが、1時間後に除骨し熟成した鶏浅胸筋の筋原線維は、屈曲している部分が認められた(図5-a, b)。また、屠殺1時間後に除骨した筋肉を熟成した場合、屠殺8時間(図5-a)後のものは16時間(図5-b)後のものより、屈曲している部分の程度が大きいことが観察された。

次に、各ムネ肉から取り出した浅胸筋の縦断像を電子

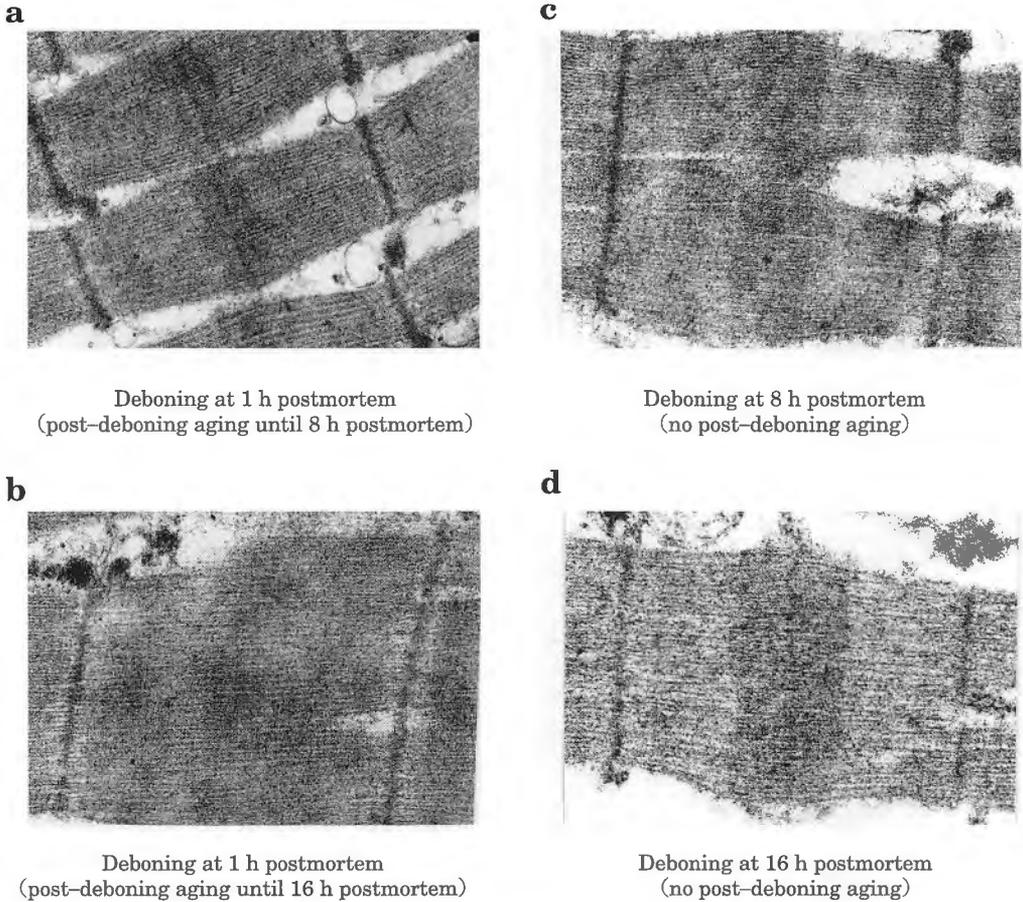


図 6. 屠鳥後の除骨時間が鶏浅胸筋の微細構造に及ぼす影響
屠鳥1時間後に除骨し、さらに屠鳥8あるいは16時間後まで0°Cで保存したものと、屠鳥8あるいは16時間後まで保存したものを電子顕微鏡で観察した。(縦断面, ×20,000)

Fig. 6. Electron micrographs of pectoral muscle deboned at 1 (a, b), 8 (c) and 16 (d) h postmortem. Each muscle deboned at 1 h postmortem was observed after aging until 8 (a) or 16 (b) h postmortem at 0°C (vertical section, ×20,000).

表 2. 屠鳥後の除骨時間が鶏ムネ肉の筋原線維 Z 線間の長さに及ぼす影響
Table 2. Effect of postmortem deboning time on distance between Z-lines in myofibrils of pectoral muscle

Postmortem time (hours)	Postmortem time (hours)		
	1	8	16
	μm		
8	2.24±0.12**	2.57±0.07	
16	2.41±0.07**		2.63±0.08

値は4羽の平均値±標準偏差で示した。

Each value is the mean±SD of 4 samples.

** : 水平方向の比較において、1%の危険率で有意差が認められた。

**Values within the same horizontal line are significantly different (p<0.01).

顕微鏡で観察した。いずれの試料においても、筋原線維のA帯、I帯、M線、Z線が観察された。8(図6-c)あるいは16時間(図6-d)後に除骨したムネ肉の筋原線維は、1時間後に除骨したものよりZ線部分が細くなっていた(図6-a, b)。また、前者のサルコメアの長さは、後者のものより長くなっていることが観察された。そこで、サルコメアの長さを測定したところ、表2に示すように、8もしくは16時間後に除骨した浅胸筋のZ線間の距離は、1時間後に除骨したものとは有意に長いことが明らかとなった。

筋肉を骨格につけたまま熟成すると、死後硬直でいったん短くなったZ線間の距離が伸びてくる現象が観察され、太いフィラメントと細いフィラメントの相互作用が弱くなると考えられている(TakahashiとYasui, 1967)。本研究においても、除骨時間を遅らせた筋肉では筋原線維のサルコメア長が、屠殺1時間後に除骨したものより長くなることから、同様の現象が起こっていると推定された。また、屠殺1時間後に除骨した筋肉で屈曲の程度が大きい部分が観察されたのは、屠殺1時間後ではまだ死後硬直が進行していることに起因すると思われる。屠殺1時間後に除骨した場合、屠殺16時間後の筋肉が8時間後のものより屈曲の程度が小さかったのは、熟成に伴い死後硬直で収縮した筋原線維の太いフィラメントと細いフィラメントの相互作用が弱くなったことによると推察された。このことは、屠殺16時間後の筋肉のサルコメア長が、8時間後のものより長くなる傾向が見られたことと良く符合していた(表2)。

更に、市販ブロイラーを屠殺後24~96時間低温で貯蔵するとZ線の断裂が観察されたと報告されている(尾関ら, 1994)が、本研究においても1時間後に除骨した筋肉のZ線の断裂が観察された。BirkholdとSams(1993)も、屠殺1時間後に除骨した鶏ムネ肉を24時間低温で貯蔵すると筋原線維の崩壊が生じていると報告している。このように、屠殺後短時間で除骨を行うと、急激な筋収縮により筋原線維の屈曲だけでなくZ線の断裂が生ずると推察された。

6. 筋原線維の小片化

除骨時間が筋原線維の小片化にどのように影響しているかを観察し、肉質との関係を考察した。

1, 2, 4, 6, 24時間後に除骨した鶏熟成ムネ肉の小片化率は、それぞれ78.8, 88.2, 95.9, 97.3, 95.6%であった(図7)。また、1, 2時間後に除骨した場合のムネ肉は、4, 6, 24時間後に除骨したものに比べて、5個以上のサルコメアが繋がった筋原線維の割合が高かった。この要因となるZ線の脆弱化は、カルシウムイオンあるいはプロテアーゼの作用で熟成に伴い生ずると報告されている

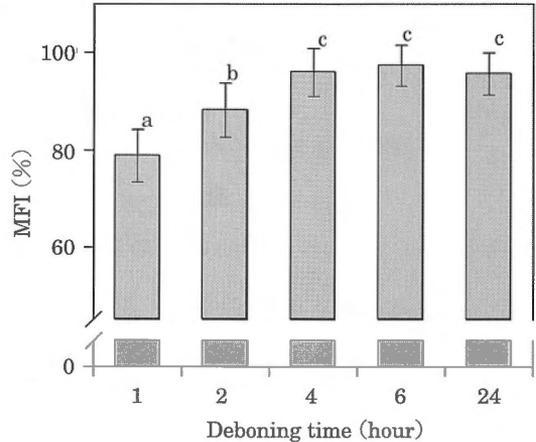


図7. 屠鳥後の除骨時間が鶏ムネ肉の筋原線維小片化率に及ぼす影響

小片化率は、1~4個のサルコメアからなる筋原線維の全筋原線維における割合で示している

a, b, c: 5%の危険率で有意差が認められた。

Fig. 7. Effect of postmortem deboning time on the MFI of chicken breast meat aged for 4 days at 0°C.

MFI (Myofibrillar fragmentation index) is the ratio of myofibrillar fragments composed of 1-4 sarcomeres.

a, b, c: Values are significantly different ($p < 0.05$).

(沖谷, 1996; Takahashi, 1992; Uytterhaegenら, 1994)。本研究で観察された4, 6, 24時間後に除骨した熟成ムネ肉での筋原線維の小片化が1, 2時間後に除骨した場合より大きかったことから、骨付きで死後硬直を通過した方が熟成に伴うZ線の脆弱化がより速く進行すると推察された。熟成に伴うZ線の脆弱化が速い理由は、前項の組織観察で認められたように、骨付きで死後硬直を受けると筋原線維に大きな応力がかかるため、Z線が細くなり脆弱化が進行したことに起因すると推定された。

熟成肉が軟らかくなる要因の1つは、筋原線維のZ線が脆弱化することである。これは、食肉を噛んだときにその部分が切断されやすいからであるが、4時間後に除骨した胸肉が1時間後に除骨したものより官能検査で軟らかく感じられた要因の1つは、Z線の脆弱化によると推察された。

以上の結果を総合的に考えると、屠殺後直ちに除骨せず少なくとも4時間以上骨付き状態で屠体を貯蔵する

と、鶏ムネ肉は死後硬直による保水性の低下をある程度抑制できると同時に、除骨後のムネ肉の熟成に伴うZ線の脆弱化を促進することができるかと結論できる。この方法を用いれば、これまでの鶏ムネ肉よりも軟らかくジューシーな美味しいムネ肉の生産ができる。

文 献

- Birkhold SG, Sams AR. Fragmentation, tenderness, and post-mortem metabolism of early-harvested broiler breast filets from carcasses treated with electrical stimulation and muscle tensioning. *Poultry Science*, 72 : 577-582. 1993.
- 小堤恭平・小沢 忍・千国幸一・小石川常吉・加藤貞雄・中井博康・池田敏雄・安藤四郎・吉武 充. 牛筋肉のテンシプレッサーによる硬さの測定. 日本畜産学会報, 59 : 590-595. 1988.
- Kramer A. A rapid method for determining significance of difference from rank sums. *Food Technology*, 14 : 576-581. 1963.
- Lyon CE, Lyon BG. The relationship of objective shear values and sensory tests to changes in tenderness of broiler breast meat. *Poultry Science*, 69 : 1420-1427. 1990.
- McKee SR, Hirschler EM, Sams AR. Physical and biochemical effect of broiler breast tenderization by aging after pre-rigor deboning. *Journal of Food Science*, 62 : 959-962. 1997.
- 根岸晴夫・吉川純夫. 鶏肉工場での屠殺後処理中の鶏胸肉の物理化学的性質の変化. 日本畜産学会報, 65 : 738-745. 1994.
- 沖谷明紘. シリーズ<食品の科学>肉の科学. 62-76. 朝倉書店. 東京. 1996.
- Olson DG, Parrish FC, Stromer MH. Myofibril fragmentation and shear resistance of three bovine muscles during postmortem storage. *Journal of Food Science*, 41 : 1036-1041. 1976.
- 尾関教生・吉田行夫・加藤貞臣・河村孝彦・坪内涼子・柴田幸雄・伊藤秀夫・申 七郎. 名古屋コーチン(名古屋種)鶏肉の食品組織学的特性(第2報). 調理科学, 27 : 183-190. 1994.
- Takahashi K, Yasui T. Formation of myofibrillar fragments and reversible contraction of sarcomeres in chicken pectoral muscle. *Journal of Food Science*, 32 : 409-413. 1967.
- 高橋興威. 乳・肉・卵の科学(中江利孝編著). 66-69. 弘学出版. 川崎. 1986.
- Takahashi K. Non-enzymatic weakening of myofibrillar structures during conditioning of meat : calcium ions at 0.1 mM and their effect on meat tenderization. *Biochimie*, 74 : 247-250. 1992.
- Uytterhaegen L, Claeys E, Demeyer D. Effect of exogenous protease effectors on beef tenderness development and myofibrillar degradation and solubility. *Journal of Food Science*, 72 : 1209-1223. 1994.