総 説

超高压による食肉の軟化と熟成促進機構

鈴木 敦 士*

Mechanism for Meat Tenderization and Acceleration of Meat
Conditioning Induced by High Pressure Treatment

Atsushi SUZUKI*

** Department of Applied Biological Chemistry, Faculty of Agriculture,
University of Niigata, 8050, Ikarashi 2, Niigata-shi, Niigata 950-21*

1. はじめに

食品加工に超高压を利用しようという試みは、ここ数年来活発に行われており、すでにいくつかの加圧加工食品が市販されている^{1)~4)}。数多くある食品の中で、食肉および食肉タンパク質は高压の影響を最も受け易いものの一つであると考えられている。高压を利用した食肉の肉質改善、あるいは加塩加熱型食肉加工品のゲル形成能の改善の試みが報告されている^{5)~10)}。後者については、鈴木¹¹⁾や池内¹²⁾による優れた総説が発表されている。

本稿では、高压処理による食肉の軟化および熟成促進機構についての最近の研究を、通常の低温下での熟成と対比させながら解説し、あわせて実用化の可能性についても言及する。

2. 高压による食肉の軟化

一般に食肉として利用する家畜の骨格筋は、と殺後一定の時間が経過すると、弛緩した柔軟な状態から伸長性を失い硬化する。これを「死後硬直」とよぶ。と殺直後の肉は柔らかいが旨味に乏しく、硬直中の肉は硬く、調理加工に適さない。硬直した肉を、冷蔵状態で数日間置くと硬直は解除され、肉は再び柔らかさを取り戻し、肉に特有な風味がでてくる。このように、と殺後一定時間冷蔵して、と体に生じた硬直を解除させるとともに食味を増加させることを「肉の熟成」とよぶ。牛肉の場合、熟成完了までには、4~5℃の冷蔵で、10日から14日を

必要とする。

牛肉に高压を加えることにより軟化させる試みは、オーストラリアのMACFARLANEを中心にした人々により始められた⁵⁾。その場合、と殺後のどの時点で高压を加えるかが重要な問題となる。

1) 死後硬直前の肉への高压処理

と殺直後の牛肉の、肉温の温かい内(25~35℃)に、100 MPaの圧力を2~4分間加えた場合の肉質への影響を表1に示す⁵⁾。筋肉のpHは急激に低下し、加圧後約2時間程で極限pHに達した。圧力処理により筋肉は約35%短縮し、対照区に比べると収縮の度合は大きかったが、剪断力価は低下し、肉の軟化は促進された。その他の特性をみると、肉からのWeep(浸出液)は増加したが、クッキングロスが低下したため、加熱後の肉の水分は無処理区に比べて増加した。

pHの低下は、圧力処理により嫌氣的解糖が促進され乳酸の生成が促進されたためである。剪断力価の低下、すなわち肉の軟化は加圧による収縮のために、ミオシンフィラメントがZ線に無理に入りこんだり、アクチンフィラメントを作るF-アクチンがG-アクチンに脱重合するためであると考えられている。

2) 死後硬直後の肉への高压-加熱処理

BOUTONらは⁶⁾、死後硬直後の牛肉に加圧した場合、表2に示すように柔らかさに対する官能評価や剪断力価は、加圧せずに加熱処理だけを行った肉とほとんど変わらず、加圧処理の効果は認められなかったと報告してい

* 新潟大学農学部 (〒950-21 新潟市五十嵐2の町8050)

表 1 死後硬直前の牛大腿二頭筋の肉質に与える加圧処理の影響 (MACFARLANE⁵⁾)

Measurement	Treatment		
	Control	Standard ^{a)}	Pressurised ^{b)}
Ultimate pH	5.61±0.08	5.47±0.04	5.49±0.12
pH cooked meat	5.90±0.10	5.69±0.05	5.71±0.23
Pressure-induced shortening (%)			35.0 ±3.2
Total % shortening before cooking	24.5 ±8.5		37.4 ±4.9
Shortening due to cooking ^{c)} (%)	14.9 ±2.5	16.4 ±1.0	7.5 ±2.1
Weep (%)	1.3 ±1.0 ^{e)}	1.0 ±0.3 ^{d)}	2.0 ±0.8 ^{e)}
Cooking loss (%)	35.3 ±2.3	38.4 ±3.0	31.1 ±1.8
Moisture content cooked meat (%)	59.0 ±2.2	57.3 ±2.5	62.2 ±1.5
Warner-Bratzler shear value cooked meat (kg)	13.57±1.32	7.95±1.82	4.11±0.84

a) 骨につけたまま b) 加圧条件, 103 MPa, 35℃, 2分 c) 3頭の平均値 e) 2日貯蔵

d) 1日貯蔵, 屠殺後1日おいて筋肉を取る

表 2 死後硬直前後の牛大腿二頭筋の官能検査と剪断力価に与える加圧, 加熱, 加圧-加熱処理の影響 (各処理後, 75℃で1時間30分加熱) (BOUTON ら⁶⁾)

Property ^{b)}	Mean taste panel score or shear value ^{a)}				
	Prerigor pressurized ^{c)}	Postrigor pressure-heat ^{d)}	Postrigor heat ^{e)}	Postrigor pressure ^{f)}	Control
Tenderness	39.4 s	39.9 s	82.5 t	82.1 t	84.1 t
Juiciness	35.4 st	42.4 s	38.6 s	29.1 t	30.7 t
Acceptability	4.85 s	4.43 s	1.34 t	1.32 t	1.23 t
Warner-Brazler shear value (kg)	4.7 s	3.9 s	13.7 t	12.8 t	13.6 t

a) : 数字後のアルファベットが違うものは有意差有り b) : 軟らかさ (0, 非常に軟らかい: 100, 非常に硬い), 多汁性 (0, 極端に水っぽい: 100, 極端に乾燥している), 受容性 (0, 非常に悪い: 8, 大変良い) c) : 103.5 MPa で4分間加圧, 35℃ d) : 150 MPa で1時間加圧, 加圧温度 60℃ (P-H 処理) e) : 60℃以下で1時間保持, 加圧はしない, (加熱処理) f) : 150 MPa で1時間加圧, 加圧温度 25℃ (加圧処理)

る。剪断力価の改善は、圧力 (P) と温度 (H) の併用によって初めて認められ、60℃の熱を加えて 150 MPa で 30 分間以上加圧した場合、最も効果があったとしている。

圧力と温度の併用、すなわち P-H 処理によって肉の軟化が促進される原因として、MACFARLANE は次のように考えている⁷⁾。圧力処理によって解離した筋原線維のタンパク質が、加熱によって解離したままで凝固するために肉は柔らかくなる。加熱だけの場合には、タンパク質は会合したままで凝固するので、肉は硬いままである。電子顕微鏡による観察で、H 帯の空白化、ミオシンフィラメントの破壊、アクチンフィラメントの崩壊などが認められた。

P-H 処理は、コールドショートニング (と殺直後の肉温の温かい内に急速に冷却した場合激しく硬直し、硬い

肉になる現象) を起こした肉の軟化には特に有効である。しかし、60℃という加熱温度は、肉に加熱色を付与するので好ましくない。

3) 死後硬直後の肉の高圧処理による軟化

死後硬直後の肉を軟化させるために圧力と温度の併用が不可欠であると BOUTON らは報告している⁶⁾ が、圧力処理のみでの軟化は不可能であろうか。

著者らの研究室では、実用的観点から、死後硬直後の牛肉に高圧を加えて軟化するかどうかを検討した。オーストラリアの研究者らに比べて処理圧力を高くしたのが大きな違いである。

死後硬直後の乳麩牛の肩ロースに、低温下 (3~4℃) 100~300 MPa の圧力を 5 分間加え、レオメーターによる咀嚼試験に供した結果を表 3 に示す。表から明らかなように、処理圧力が増すにつれて硬さは低下し、100

表 3 高圧処理が肉の硬さ (hardness) と弾力性 (elasticity) に及ぼす影響

	Hardness (% of control)	Elasticity (% of control)
Control	100	100
100 MPa	58	91
150 MPa	22	94
200 MPa	27	91
300 MPa	13	98

MPa で無処理区の約 60%, 150 および 300 MPa では, 無処理区の約 20% および 10% にそれぞれ低下した. 弾力性には, 圧力処理区と無処理区の間ほとんど差が認められなかった.

咀嚼試験の結果は, 死後硬直後の肉も, 5 分間の高圧処理により, 熱を加えることなく軟化させることが可能であることを示している.

3. 高圧による食肉の軟化・熟成促進機構

通常, 食肉を熟成させることによる死後硬直の解除, それに続く軟化は, 1) アクチンとミオシンの相互作用の脆弱化, 2) Z 線の脆弱化と筋原線維の小片化, 3) コネクチンのつくる弾性構造の脆弱化, 4) 結合組織の脆弱化, によって起こると考えられている. 高圧処理が, これらの要因とどのような関係を持つであろうか.

1) アクチンとミオシンの相互作用への影響

熟成中に生じるアクチンとミオシンの相互作用の変化を測る指標として筋原線維の ATPase 活性の変化を測定することが広く行われている. OUALI は¹³⁾, 熟成中の牛肉から筋原線維を調製し, その ATPase 活性の KCl 濃度依存性が熟成中に変化し, 低イオン強度における活性が高くなることを報告した. この結果を基に, KCl 濃度に対して活性をプロットしたときの傾きを, Biochemical Index of Myofibrillar Aging (BIMA) として熟成進行度の指標として使うことを提唱した.

著者らは, と殺直後の家兎から背最長筋を取り出し, 高圧処理を施したものと低温 (2°C) で 7 日間貯蔵したものとに分け, ATPase 活性を測定し, その BIMA を図 1 に示す. 図から明らかなように, 高圧処理した筋肉から調製した筋原線維の BIMA Value は処理圧力の上昇につれて増加し, 貯蔵中の筋肉から調製した筋原線維の BIMA Value の変化と同様の傾向を示した.

このことは, 肉塊への高圧処理が, 数分間という短時間で, 長期間を必要とする肉の熟成と同様な効果を筋原

図 1 高圧処理が筋原線維の BIMA Value に及ぼす影響

挿入図は貯蔵の影響を示す.

線維の ATPase 活性に及ぼすものと考えられる. 処理圧力が 300 MPa になると活性は無処理区に比べて低下すること, 次に記す電顕による観察などから判断して, 高圧処理は, それが短時間であっても, 通常の熟成下に生じる変化に比べてはるかに大きな影響をアクチンとミオシンの相互作用の脆弱化に及ぼすことは明らかである.

2) Z 線の脆弱化と筋原線維の小片化に及ぼす影響

熟成させた肉から調製した筋原線維は, と殺直後の筋肉から調製したものに比べて短く, 筋節数の少ないこと, また, 筋原線維の Z 線の脆弱化が小片化を引き起こし, 肉の軟化につながるがよく知られている. それ故, 筋原線維の小片化は肉の軟化の指標と考えられている^{14)~17)}.

著者らが, 100~300 MPa, 5 分間の高圧を加えた死後硬直後の牛肉から調製した筋原線維の小片化の度合を図 2 に示す. 無処理区では 10% 以下であったものが, 100, 150, 200, 300 MPa の圧力処理によって, それぞれ 30% 以上, 70% 以上, 80% 以上, 90% 以上に増加することが判った. 沖谷らは¹⁸⁾ は, ホルスタインのロース肉を 0°C, 14 日間熟成させた場合の筋原線維の小片化の度

図 2 高圧処理が筋原線維の小片化に及ぼす影響

合は80%程度と報告している。また、岡山らの報告によれば¹⁹⁾、黒毛和種の腿肉を0℃で28日間熟成させた場合の小片化の度合は、60～70%にとどまっていた。著者らが乳鹿牛の肩ロース肉に5分間の高圧処理を加えた場合に得られた小片化の度合は、自然に熟成させた肉に生じる筋原線維の小片化の最高水準を上回ることになる。筋原線維の小片化を基準にすると、高圧処理は食肉の軟化・熟成期間の短縮に有効な手段と考えられる。

筋原線維の微細構造をみると、M線の消失、I帯やA帯フィラメントの崩壊が認められるが、Z線は破壊されずに残っていた⁷⁾⁸⁾。死後硬直後の肉への高圧処理は、熟成とは異なる仕組みで筋原線維の小片化、すなわち、食肉の軟化をもたらすと言える。

通常の熟成肉に生じる筋原線維の小片化は、Z線の脆弱化によって起こり、A帯やI帯の構造には大きな変化がないことが一般に認められている。高圧処理による筋原線維の小片化は、F-アクチンからなるthin filamentの崩壊、すなわち、F-アクチンのG-アクチンへの脱重合が原因の一つであると考えられる。

家兎より調製した筋原線維に圧力を加えて、筋原線維構成タンパク質の溶出状況をSDS-電気泳動で分析した結果²⁰⁾と前述の高圧処理した肉塊から調製した筋原線

維の小片化を総合してみると、高圧処理により筋原線維タンパク質に大きな構造変化をもたらすためには、150 MPa以上の圧力が必要と思われる。

3) コネクチンの作る弾性構造への影響

筋原線維には、ミオシンを主成分とする太いフィラメント(thick filament)とアクチンを主成分とする細いフィラメント(thin filament)のほかに、弾性タンパク質コネクチンからなる弾性フィラメントの存在が知られている。この弾性構造が肉の熟成中に脆弱化し、食肉の軟化をもたらすという²¹⁾。著者らは、家兎からnativeな状態のコネクチンを抽出し、コネクチンの構造が熟成中に小片化しやすくなること、および抽出量が増加することを報告した²²⁾。コネクチンには不溶性の α 型(分子量300万)と可溶性の β 型(分子量200万)の2種類があり、食肉の熟成中に不溶性の α 型から可溶性の β 型に変換するために弾性を失い、肉は軟化するという報告がある²³⁾²⁴⁾。熟成中にみられるこのような変化を、高圧処理によって引き起こすことが可能であろうか。

著者らが、と殺直後の家兎背最長筋に200～300 MPa、10分間の高圧を加え、コネクチンの抽出量を調べた結果を表4に示す。表には2℃で7日間熟成させた筋肉からの抽出量も同時に示してある。表から明らかなように、7日間熟成させた場合に比べるとやや少ないが、高圧処理によりコネクチンの抽出量が増加することが判明した。

次に、高圧処理した筋肉および熟成後の筋肉から筋原線維を調製し、その構成成分を0.1% SDS、0.5% アガロースを含む2% SDS-PAGEで分析した結果を図3に示す。と殺直後の筋肉中ではコネクチンはほとんど α 型として存在している。筋肉に圧力を加えると、 α 型から β 型に変換し、それにつれて1200 kDa タンパク質の出現が認められた。100 MPaの圧力処理では、 α 型から β 型への変換はわずかであり、大部分は α 型にとどまっていた。処理圧力が200 MPaになると β 型への変換が促進され、同時に細胞骨格タンパク質の一つであるネプリ

表 4 高圧処理および貯蔵家兎骨格筋からの Native Connectin の抽出性の変化

Sample No.	Yields of Native Connectin (mg/50 g muscle)			
	0	Pressurized	Stored	
	0	200 MPa	300 MPa	168hr
1	8.50	13.46	—	21.28
2	12.50	—	15.11	28.63

図 3 高圧処理および貯蔵家兎骨格筋より調製した筋原線維の SDS-PAGE 像

α , α -コネクチン; β , β -コネクチン; 1200 K, 1200 KDa 蛋白質; N, ネブリン; MHC, ミオシン重鎖.

ンが消失した。処理圧力 300 MPa では、ほぼ完全に β 型に変換した。通常の熟成では、 α から β への変換に 2°C で約 7 日間を要するが、高圧処理の場合には、300 MPa, 10 分間で同等の効果が得られた。LOCKER と WILD は²⁵⁾, gap filament (コネクチンが主成分といわれる) に加圧—加熱処理を施し、コネクチンを含む高分子タンパク質の変化を発表したが、著者らの結果では、圧力のみでコネクチン分子の崩壊が生じることを示している。300 MPa で 10 分間高圧処理した筋肉および 7 日間熟成させた筋肉から分離精製したコネクチンを電顕で観察した結果、屠殺直後の筋肉からの標品に比べて小片化していることが認められた²⁶⁾。圧力処理によってコネクチンのつくる弾性構造が脆弱化するために抽出量が増加するものと考えられる。通常の熟成肉に比べて、高圧処理肉からのコネクチン収量が低いのは、筋原線維構造の差によるものと考えられる。本研究におけるコネクチンの抽出法²⁷⁾は、筋原線維の基本構造(ミオシンフィラメントとアクチンフィラメント)が保持されている通常の死後筋肉からの抽出法であるため、筋原線維の基本構造に大きな変化が生じた高圧処理肉からの抽出量の低下につながるのではなかろうか。

以上の結果は、通常の熟成中に生じるコネクチンのつくる弾性構造の脆弱化— α 型から β 型への変換—を、短時間の高圧処理によって引き起こすことができることを示している。コネクチンの高圧による質的变化は、食肉の軟化・熟成の促進をもたらす。

α -コネクチンの開裂を引き起こす要因としてカルシウムイオン活性化プロテアーゼ(カルパイン)による加水分解²⁸⁾²⁹⁾,あるいはカルシウムイオンによる非酵素的分解が報告されている³⁰⁾。高圧下での開裂は、これらのいずれによるのであろうか。KIM らは³¹⁾,新鮮な筋肉から調製した筋原線維を使い、圧力下でのコネクチンフィラメントの崩壊は、加圧強度に依存するコネクチン分子の構造変化、ならびに筋細胞内の Ca^{2+} 濃度の上昇によるカルパインの活性化に依存することを示した。

4) 結合組織への影響

食肉の硬さは、筋原線維の状態変化に起因するアクトミオシンタフネス(actomyosin toughness)と筋肉内結合組織に起因するバックグラウンドタフネス(background toughness)の二つから成り立っている。食肉熟成中の解硬・軟化の主因は筋原線維タンパク質の性質や構造変化に由来するという考え方が強く、いままで述

べてきた高压処理による軟化効果はすべて、アクトミオシンタフネス（筋原線維構造）が高压処理によって大きく変化したためである。

食肉中に存在する結合組織は、筋内膜および筋周膜であり、その主成分はコラーゲンである。家畜や家禽の加齢に伴って、コラーゲンの分子間あるいは分子内に強固な架橋結合が形成され、その数も増えるため、結合組織が強固となり、肉が硬くなることが広く知られている。熟成中のコラーゲン分子の状態変化は筋原線維に比べて小さいため、熟成による肉の軟化と結合組織の関係は十分に解明されているとはいえない。しかしながら、最近になって、熟成中のコラーゲン分子や結合組織の変化に関する報告が増える傾向にある。

示差走査熱分析（DSC 分析）は、熟成中にコラーゲン分子構造に生じる微妙な変化を測定するために有効な手段であり、豚、羊、牛肉の筋肉内コラーゲンの変性温度が低温側に移動することが報告されている³²⁾。

著者らは³³⁾、硬直後の乳鹿牛の肩ロース肉に 100-300 MPa、5 分間の圧力処理を加え、筋肉内コラーゲンを調製して、その DSC 分析からコラーゲンの変性温度を求めた結果、変性開始温度 (T_0)、変性のピーク温度 (T_p)、変性終了温度 (T_c) および変性のエンタルピー (H) のどの項目においても、高压処理区と未処理区との間に有意差は認められなかった。また、調製したコラーゲンの加熱溶解性やサブユニット構造、ならびに微細構造にも両者間に差は認められなかった³³⁾。この結果は、圧力処理を行っても、結合組織の DSC 曲線に変化が認められなかったという MACFARLANE らの結果³⁴⁾ とよく一致している。結合組織への高压効果を求めるならば、加圧と加熱の併用、すなわち P-H 処理が必要かもしれない。しかし、BEILKEN らは³⁵⁾、40~80℃ の範囲で加圧しても、剪断力価で測定したバックグラウンドタフネスに何ら影響しなかったとも報告している。

4. 風味関連成分への影響

生肉の風味は血液に似ているが、加熱することによって豊かな風味を発現することが知られている。食肉を熟成させると、硬直が解け、肉は軟化するとともに、味および加熱香気は強くかつ豊かになる。肉の呈味や加熱香気の原因となる化合物は、肉中の還元糖、アミノ酸やペプチドおよびイノシン酸からなる。肉中のこれらの化合物の大部分は熟成期間の経過につれて増加することが認められている。超高压処理は肉の軟化・熟成の促進をもたらすことを述べてきたが、アミノ酸やペプチド、イノ

シン酸といった肉の呈味や加熱香気の原因となる化合物にどのような影響を与えるであろうか。

著者らが³⁶⁾、加圧直後および加圧後低温（2℃）で 7 日間貯蔵した牛肉から抽出した、フェノール試薬陽性物質（PPM、アミノ酸およびペプチドの総量をチロシンに換算）の量を測定した結果、PPM は 300 MPa までの圧力処理では、処理圧力の上昇につれて増加したが、400 MPa では少し減少した。しかし、いずれの圧力処理においても、無処理区に比べて大きな値を示した。圧力処理後に 7 日間貯蔵すると、処理区、無処理区のいずれにおいても 140~150% の増加が認められた。加圧による肉中の PPM の増加は、OHMORI ら³⁷⁾ や HOMMA ら³⁸⁾ の報告にあるように、加圧による筋肉中のライソソーム顆粒からのタンパク質分解酵素の溶出と、筋肉タンパク質の圧力変性によって、筋肉タンパク質がアミノ酸やペプチドの低分子化合物に分解されやすくなったためと考えられる。400 MPa の圧力処理で 300 MPa の場合に比べて PPM 量が減ったのは、筋肉内タンパク質分解酵素の中に、耐圧性の低い酵素が存在するためと思われる。

次に、肉の旨味成分であるイノシン酸（IMP）の加圧直後および加圧後 7 日間貯蔵した場合の、肉中の含有量の変化を測定した結果³⁶⁾、加圧直後の肉中の IMP 含有量は、無処理区に比べて、見かけ上、やや高くなっていた。貯蔵により、どの処理区においても 40~60% の減少（平均値をもとに）が認められたが、無処理区とほぼ同じレベルの IMP を含んでいるといえる。IMP は肉の旨味成分なので、圧力処理が肉の旨味に悪影響を及ぼすことはなかった。

加圧処理肉中の遊離アミノ酸、アンセリンやカルノシンといったペプチド、ならびに HPLC によるペプチドパターンの解析も行ったが、加圧処理による、高分子のタンパク質やペプチドからの proteolytic な分解を示唆する結果を得た³⁶⁾。先に述べたように、加圧によりライソソーム膜の破壊が生じ、筋肉内でのタンパク質分解活性が高まったためと考えられる。

以上の結果、肉中のアミノ酸、ペプチド、イノシン酸といった呈味成分および加熱香気の前駆物質に熟成中に生じる効果と同等以上の効果をもたらすといえる。

5. おわりに

超高压処理による食肉の軟化・熟成促進機構を、通常の低温熟成と比較しながら論じてきたが、超高压処理は短時間で、低温熟成期間に比べてはるかに大きな変化を筋肉タンパク質にもたらすことが明らかになった。熟成

のもう一つの目的である風味の向上にも好い影響を与えるので、超高压処理は食肉の軟化・熟成促進法として有効な手段の一つになり得る。

食肉の超高压処理の実用化には、装置の規模や価格など解決しなければならない問題が残されているが、近い将来に、高压処理した食肉が市場に現れることを確信している。

文 献

- 1) 林 力丸：食品工業における科学・技術の進歩 (IV) 日本食品工業学会編 (光琳, 東京), p.55 (1990).
- 2) 林 力丸編：生物と食品の高压科学 (さんえい出版, 京都), (1993).
- 3) HOOVER, D.G. : *Food Technol.*, **47** (6), 150 (1993).
- 4) 食品産業超高压利用技術研究組合編：食品産業の未来を拓く高压技術と高密度培養 (健康産業新聞社, 東京), (1993).
- 5) MACFARLANE, J.J. : *J. Food Sci.*, **38**, 294 (1974).
- 6) BOUTON, P.E., FORD, A.L., HARRIS, P.V., MACFARLANE, J.J., and O'SHEA, J.M. : *J. Food Sci.*, **42**, 132 (1977).
- 7) MACFARLANE, J.J. : In *Developments in Meat Science-3*, ed. by LAWRIE, R. (Elsevier Applied Science Publishers, London), p.135 (1985).
- 8) SUZUKI, A., WATANABE, M., IWAMURA, K., IKEUCHI, Y. and SAITO, M. : *Agric. Biol. Chem.*, **54**, 3085 (1990).
- 9) 鈴木敏郎・上原忠勝・鴨居郁三：日畜会報, **62**, 154 (1991).
- 10) IKEUCHI, Y., TANJI, M., KIM, K. and SUZUKI, A. : *J. Agric. Food Chem.*, **40**, 1751 (1992).
- 11) 鈴木敏郎：肉の科学, **28**, 145 (1988).
- 12) 池内義英：日食工誌, **40**, 299 (1993).
- 13) OUALI, A. : *Meat Sci.*, **11**, 79 (1984).
- 14) TAKAHASHI, K., FUKAZAWA, T. and YASUI, T. : *J. Food Sci.*, **32**, 409 (1967).
- 15) DAVEY, C.L. and GILBERT, K. : *J. Food Technol.*, **2**, 57 (1967).
- 16) OLSON, D.G. and PARRISH, F.C. JR. : *J. Food Sci.*, **42**, 506 (1977).
- 17) CALKINS, C.R. and DAVIS, G.W. : *J. Anim. Sci.*, **50**, 1067 (1980).
- 18) 沖谷明紘・松石昌典・根岸晴夫・吉川純夫：日畜会報, **61**, 990 (1990).
- 19) 岡山高秀・鎌久絵・中川茂男・山之上稔・西川勲・光石直起・小西喜八郎：日畜会報, **62**, 178 (1991).
- 20) SUZUKI, A., SUZUKI, N., IKEUCHI, Y. and SAITO, M. : *Agric. Biol. Chem.*, **55**, 2467 (1991).
- 21) TAKAHASHI, K. and SAITO, H. : *J. Biochem.*, **85**, 1539 (1979).
- 22) SUZUKI, A., HOSHINO, K., SASAKI, E., SANO, N., NAKANE, M., IKEUCHI, Y. and SAITO, M. : *Agric. Biol. Chem.*, **52**, 1439 (1988).
- 23) LUSBY, M.L., RIDPATH, J.F., PARRISH, F.C. JR. and ROBSON, R.M. : *J. Food Sci.*, **48**, 1787 (1983).
- 24) PAXHIA, J.M. and PARRISH, F.C. JR. : *J. Food Sci.*, **53**, 1599 (1988).
- 25) LOCKER, R.H. and WILD, D.J.C. : *Meat Sci.*, **11**, 89 (1984).
- 26) 鈴木敦士・金 健・池内義英：生物と食品の高压科学, 林 力丸編 (さんえい出版, 京都), p.267 (1993).
- 27) KIMURA, S. and MARUYAMA, K. : *J. Biochem.*, **94**, 2083 (1983).
- 28) ZEECE, M.G., ROBSON, R.M., LUSBY, M.L. and PARRISH, F.C. JR. : *J. Food Sci.*, **51**, 797 (1986).
- 29) HU, D.H., KIMURA, S., KAWASHIMA, S. and MARUYAMA, K. : *Zool. Sci.*, **6**, 797 (1989).
- 30) TAKAHASHI, K., HATTORI, A., TATSUMI, R. and TAKAI, K. : *J. Biochem.*, **111**, 778 (1992).
- 31) KIM, K., HOMMA, Y., IKEUCHI, Y. and SUZUKI, A. : *J. Biochem.*, **114**, 463 (1993).
- 32) JUDGE, M.D. and ABERLE, E.D. : *J. Anim. Sci.*, **54**, 68 (1982).
- 33) SUZUKI, A., WATANABE, M., IKEUCHI, Y., SAITO, M. and TAKAHASHI, K. : *Meat Sci.*, **35**, 17 (1993).
- 34) MACFARLANE, J.J., MCKENZIE, I.J., TURNER, R.H. and JONES, P.N. : *Meat Sci.*, **5**, 307 (1981).
- 35) BEILKEN, S.L., MACFARLANE, J.J. and JONES, P.N. : *J. Food Sci.*, **55**, 15 (1990).
- 36) SUZUKI, A., HOMMA, N., FUKUDA, A., HIRAO, K., URYU, T. and IKEUCHI, Y. : *Meat Sci.*, **37**, 369 (1994).
- 37) OHMORI, T., SHIGEHISA, T., TAJI, S. and HAYASHI, R. : *Agric. Biol. Chem.*, **56**, 125 (1992).
- 38) HOMMA, N., IKEUCHI, Y. and SUZUKI, A. : *Meat Sci.*, **38**, 219 (1994).

(平成6年12月22日受理)