

# 肉質に関する若干の問題

北海道大学農学部 安井 勉

## 1. はじめに — 肉質とは？ —

肉畜生産や食肉産業の分野では、半世紀以上にわたって肉質という言葉が使われてきた。

一般的にいて、肉質とは目的とする食肉およびその製品の良否度合を表現する言葉である。われわれ人間は、当初肉質をあらわすのに、食肉を構成している筋肉組織や脂肪組織の特長を用いたので、これらの諸特長が食肉の品質程度を決定する“目安”として用いられてきた。

肉畜生産から始まり、食肉が消費者によって食用に供されるまでのプロセスの中で、どの段階あるいはどの方面からアプローチするかによって、いわゆる肉質のもつ意味は多様に変化する。この肉質に対する多様な見解が、この言葉の定義を著しく混乱させているようである。

例えば、肉畜生産に携わる人びとは、その家畜の肉質を、毛色、骨格、皮膚の厚み、頭部の大きさなど外側からの因子によって判定するであろう。流通段階の食肉業者は枝肉を直接観察して、成長度、脂肪の付着、交雑、肉色、およびきめ、しまりなどを判定する。末端の食肉小売業者は肉質を肉の色、しまり具合、テクスチャー（後述）、脂肪交雑とみなすであろうし、消費者はそれを調理した肉の硬軟度（テンダーネス、かたさ、やわらかさ）、多（液）汁性（保水性）やフレーバー（味とかおり）をもとに判定する。

一方、食品衛生や栄養的な面から肉質を考えると、異なったものとなる。すなわち、前者の観点からすれば、肉質とは清潔度、健全性、細菌数（病原菌を含む）、寄生虫汚染などを目安とするものであり、後者の立場では、食肉中のたん白質の栄養的価値、ミネラル含有量とその種類、ビタミンB群含量などから肉質を評価することになる。このように、それぞれの分野によって、肉質評価基準は異なるものとなるが、最終的な評価は、食肉を摂取する消費者が感覚としてとらえる食味性によって決定される。

食味の判断基準は、人間が食物を摂取し、口中で咀嚼し、これを嚥下する前後において官能的に、視覚、嗅覚、触覚および味覚を通じて生体に感知される総合的な感覚に依拠している。このような複合感覚にもとづいた肉の食味性は、(1)肉の色、(2)保水性もしくは液汁（多汁）性、(3)テクスチャー（肉の物性全般）、(4)フレーバー（かおりと味）の4成分に大別整理できる。

SZCZENIAK<sup>1-3)</sup>は、官能特性と関連する食品の性状中、テクスチャーが占める割合は32%に達し、品質決定の最重点因子であるとしている。彼等の定義によるとテクスチャーとは「目や皮膚の感覚、あるいは口腔内で筋肉感覚により知覚される食品の特性」であって、その特性を構成する最重要成分が硬軟度（テンダーネス）特性である<sup>4,5)</sup>。消費者はやわらかな肉を要求し、消費者の嗜好と肉の硬軟度との間には高い相関( $r=0.904$ )が認められる。

STANLAY<sup>7)</sup>の調査によると、消費者の肉質（食味性）評価の順位（と割合）は、やわらかさが57%で第1位、ついでフレーバーが第2位で30%を占め、液汁性（保水性）8%、色と脂肪交雑5%の順を示している。逆に肉質に対する不満度を尺度とした場合にも、かたさが72%を占め、フレーバー18%、液汁性10%となる。調理形態別にみると、硬軟度についてはロースト肉の場合で55.2%、ステーキの場合は62%の人びとが不満あるいは満足の感覚的尺度としている。

この肉の硬軟度（テンダーネス）という言葉は、食肉の粘弾性や機械的特性を表現する術語である。SHERMAN<sup>8)</sup>は肉のテクスチャーを3特性から構成されるものとしたが、その中の一つはこの硬軟度特性に由来する。図1に示すように、筋肉は筋線維と結合組織からなるが、硬軟度特性とは、これら筋肉構成組織成分に関する力学的性質<sup>5)</sup>の反映に他ならない。

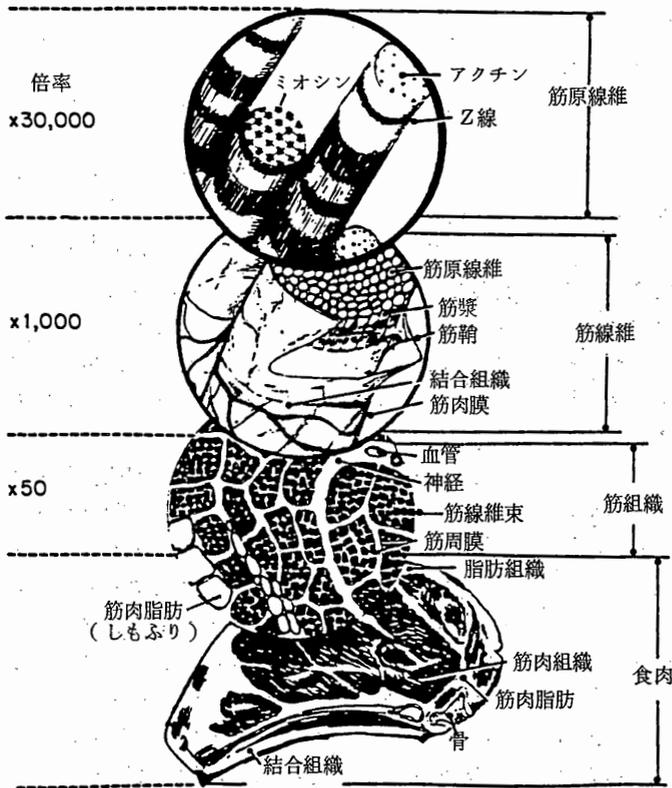


図1. 食肉とその構成組織の模式図

## 2. 二種類の“かたさ、やわらかさ”

硬たん白質コラーゲンを主成分とする結合組織は、家畜の年齢や運動量（筋肉各部位によって異なる）、発達に程度に差があるので、同一個体内においても、その分布状態には相違がみられる。第1表からもわかるように、上質肉（ロース、ヒレ）と普通肉（ウデ、マエズネ）として分別される各部分肉は、その水分、組織内脂肪、粗たん白質量（N%として表現されている）に有意の差を示さないが、コラーゲンに特有のアミノ酸、ヒドロキシプロリンを指標として比較すると明らかな差が認められ、上質肉では少なく、普通肉では多いことが判明する。

結合組織の食肉中における発達度合は、直接その部分肉の硬軟度合を反映することが知られている<sup>9,10</sup>。そして、同一部位

表1. 未経産雌牛から採取した 肉の組成 (LAWRIE, 1966)

採取筋肉	水分 (%)	筋肉内脂肪 (%)	窒素 (%)	ヒドロキシプロリン (μg/g)**
胸 最長筋 (ロース)*	76.5	0.56	3.54	520
大 (ヒレ) 腰筋*	77.3	1.46	3.30	350
上腕三頭筋 (ウデ)*	77.2	0.73	3.45	1000
浅趾屈筋 (マエズネ)*	78.7	0.40	3.27	1430
縫工筋 (ウチモモ)*	77.9	0.58	3.33	870

\* 括弧内は採取筋肉が存在するカット肉の部位名。

\*\* ヒドロキシプロリンはコラーゲンに特有のアミノ(イミノ)酸で、この量の多少はコラーゲン含量の多少を意味する。

筋肉間では、コラーゲン線維を構成する可溶性コラーゲン画分と不溶性コラーゲン画分の重比がその決定因子となり、高度に分子内架橋結合の返達した不溶性コラーゲン含量の多い肉ほど硬い食味性をあらわす。このような結合組織の分布や発達度合に依存した肉の“かたさ”は基礎的あるいは構造的なかたさ(background toughness)と呼ばれ、以下に述べる筋肉の死後変化にともなう硬軟度とは関係がない。

さて、どのような動物骨格筋も、死後の時間経過にともなってその“かたさ、やわらかさ”が変化する。結合組織の少い若齢動物の肉も、死後のある時点では硬直してかたくなる。筋肉が伸び縮み(収縮⇔弛緩)する状態を反映したこの種の硬軟度変化は、アクトミオシン性または収縮性のかたさ(actomyosin toughness)といわれ、死後筋肉内の生化学的変化に対応して、いわゆる異常肉発現とも関連する。

### 3. 蓄積脂肪と肉質

食肉とは主として哺乳動物の骨格筋からえられる食品である。骨格筋は動物の生体内にあって、伸びたり縮んだりしてその長さを変える能力をもち、それによって生体運動機能の担い手となっている。動物が死ぬと、筋肉内部ではよく知られている死後変化<sup>10)</sup>と呼ばれる物理化学的な変化が起って、生筋は食肉へと変化する。この死後変化の特性、速度、変化率などが、硬軟度、液汁性、色調などで表現される肉質に影響を与えることになる。したがって、食肉に関する研究者にとって、これらの諸特性や、死後変化の本質を追求することは、この数十年間、肉の科学の分野における中心的課題となってきた。このような研究を通じて得られた知識が、現代食肉産業中で用いられている諸技術や、流通過程中的の諸問題を理解し解決するのに役立ってきたし、さらに将来の食肉産業発展に大きく貢献するであろうことは疑のないことである。

しかし、実際問題としては、“動物の死”によって影響をうけない肉質因子もある。その一つは既に述べた結合組織に由来する構造的な硬軟度合である。他の一つは脂肪の交雑あるいは蓄積によ

るいわゆる“しもふり”度による肉質基準である。最近のグローバルな傾向として、消費者はより赤身の多い(筋肉組織の多い)肉を要求しており、このために、生産者は、より筋肉質型の肉畜生産に努める結果を招来している。本稿では、このような枝肉段階での格づけを主体とした論議は主題にはならないと著者は考えるので、簡単に気づいた点だけを述べておきたい。まず、食肉習慣にもとづく枝肉段階、カット肉段階での形態的相違が各国に存在する。第二に、家畜によって使用目的がそれぞれの国で異なり、それによって赤肉対脂肪率による肉質基準の判断がちがってくるということである。

日本国産の豚肉は、もっぱら生食用となるが、その背脂肪(第9-13胸つい関節上)の厚さと枝肉重量、等級間の関係は図2のようにになっている。

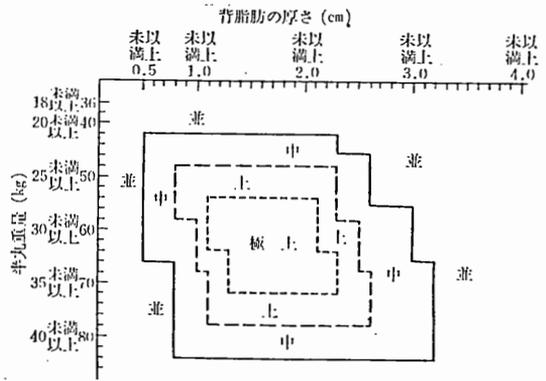


図2. 豚半丸重量と背脂肪の厚さによる等級の判定 (皮はぎ用)

E C諸国のようにサイドベーコンを多用する国(イギリスやデンマーク)では、と殺体重59-77 kgのものを本目的に用い、それ以下は生食用として種別している。この場合、豚枝肉の脂肪組織含有量は、最終肋骨部の脊椎中心から6.5 cmの部分で背脂肪の厚さを測定することによって予測される<sup>11),12)</sup>。

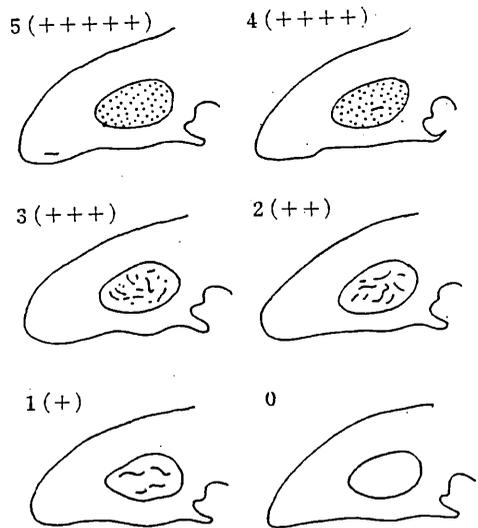
一方アメリカでは前述のようなタイプの枝肉は需要がなく、生体重130-140 kg程度のやや大型の豚が使用され(ちなみに、枝肉は背割二分割

をしないで頭部を除去した、いわゆるパッカース  
 タイル：Packer styleと称するものが全体の72  
 %を占める)、全枝肉の約65%が何らかの形の  
 塩漬加工品として消費されている。蓄積脂肪の目  
 安は、第10肋骨関節部における脂肪の厚さ、3.81  
 cm、ロース芯面積、29 cm<sup>2</sup>で、これを図2にあて  
 はめるとすべて並となるのが面白い。このためか  
 どうかは定かではないが、ソーセージ用豚赤肉中  
 には25%以上の脂肪組織があってはならない。

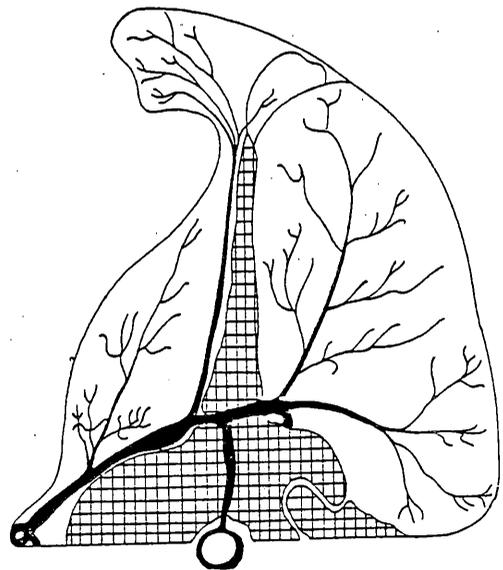
牛肉についての脂肪交雑、付着度合良否判定の  
 基準は、世界各国でまちまちで、その国の主観的  
 ともいべき基準となっている。図3(a)は、よく  
 知られている日本における教科書の脂肪交雑良否  
 状態を示すものであるが、組織学的にいえば仮性  
 肥大ともいべき非正常筋肉がよいとされる。

EC諸国やアメリカにおいても、牛やめん羊の  
 肥育度は、外観的に枝肉の脂肪付着度や全体的な  
 均称(特に後軀)に加えて、ロース部分の外観や  
 断面の脂肪組織分布状態によって判断している。  
 肉用牛の種類差にもよるのであろうが、オクラホ  
 マ大学での実験<sup>13)</sup>では肉の硬軟度と彼等のいう脂  
 肪交雑(マーブリング：marbling)との間には高  
 い相関は認められていない。欧米の肉用牛におけ  
 る脂肪交雑とは、おおむね、血管系上またはその  
 近傍の結合組織中に脂肪が沈着したもの(図3(b))  
 が多い。この交雑脂肪の食味性に及ぶ効用は以下  
 のようなものと彼等<sup>13)</sup>は考えている。

第1は交雑脂肪が加熱調理中に溶融して起す局  
 所的な油溶効果である。これによって、加熱され  
 た筋肉中の結合組織は破壊されやすくなる。第2  
 は交雑した脂肪は、咀嚼中に好ましい口ざわり  
 (palatability)を与えるというのである。したが  
 って、脂肪交雑は肉の硬軟度よりもフレーバーに  
 より多く影響すると彼等は考えている。好ましい  
 フレーバー供与に必要な、ローストまたはステー  
 キ用牛肉中の脂肪含量は8-9%とされていて、  
 これ以上の交雑量は肉質改善にはあまり関係がな  
 いとしている。日本食品標準成分表中に掲げられ  
 ている和牛ロース肉(黒毛和種♀、3-4才)の  
 粗脂肪含量22.6%という値は上記に比べれば  
 非常に高い。少なくとも、日本の牛肉については、  
 ロース部分を中心とする脂肪交雑が枝肉の経済的



(a) 脂肪交雑の状態



(b) ロインステーキの血管系<sup>13)</sup>

図3. 脂肪交雑

価値を決定する因子となっていることが明らかで  
 であろう。

グローバルな赤肉指向と特殊日本の“しもふり”  
 崇拜との間の乖離はわが国の牛枝肉評価に関して  
 問題を投げかけるものといえよう。すなわち、評

価にあたって、肉量に重点を置くか、肉質に重点を置くかということと、肉質に関しても、硬軟度に重点を置いたやわらかい赤肉を指標に示えるか、従来型の脂肪交雑を中心とした肥育度を重要視するかという問題である。当面両者別個の規格を設けて、別々の評定を行なうことも一つの解決方法となるかもしれない。

#### 4. 死後変化と肉質

まず、筋肉の構造や、動物の死後、筋肉中で起る若干の変化についてふれておこう。一つの全筋肉は結合組織によって束ねられた筋線維の集合体からできている(図1)。各線維(細胞)は長細い多核細胞であって、それぞれの細胞はその中に筋原線維と呼ばれている幅約1  $\mu\text{m}$ の円筒状のものを多数内蔵している。筋原線維それ自体は、たんぱく質からなるフィラメントの束を含有する。このフィラメント束には2種類のものがあり、細い方はアクチンフィラメント、それよりも太いものはミオシンフィラメントと称される(図1)。筋収縮=筋運動が発生するのは、きわめて単純化していうと、これら2つのフィラメント間に相互作用が起って、みかけ上ミオシンフィラメントの上をアクチンフィラメントがすべってゆくことによるということになる。エネルギーは筋肉中のグリコーゲンから複雑な経路をへてATP(アデノシン-3-リン酸)の形で供給されている。動物の生命がある中は、ATPは不断に更新され提供され続けているので、筋肉の収縮と弛緩は継続的に起り得るし、グリコーゲンは複数の経路を通じて最終的には炭酸ガスと水になって排泄、除去される。動物の死後、好気的な系からの筋肉へのエネルギー供給は停止され、最終的にATPは消失する。アクチン、ミオシン両フィラメント相互間のすべりはもはや不可能となり、筋肉は硬化する。この状態が死後硬直<sup>10, 8-20)</sup>。

死後のATP減少は、解糖系(嫌氣的)を通じての部分的ATP生産による補給をうけながら起るものであるが、この嫌氣的発酵による場合最終産物は生体中とは異なって、炭酸ガスと水とはならず、乳酸の形で筋肉中に蓄積される。

#### 5. $\text{pH}_1$ と $\text{pH}_2$

筋肉内乳酸の蓄積は細胞内部酸性度の上昇となってあらわれ、筋肉のpH値は低下する。通常生筋のpH値は6.8~7.2位の中性値を示すが、死後その値はいくつかの要因に依存して、異なった速度で異なった水準まで低下する。この要因とは、(1)筋肉内の当初グリコーゲン含量、(2)筋肉の型(どのような運動をする筋肉かによる)、(3)と体の冷却速度、(4)動物各個のストレス感受性などである。

上記の家畜と殺後に起る筋肉pH値の低下速度および低下度合は、筋肉から導かれる食肉の品質に重要な影響を及ぼす。食肉科学の分野では、筋肉のpH値はと殺後1時間後と24時間後に測定され、それぞれを $\text{pH}_1$ ならびに $\text{pH}_2$ と呼んでいる。 $\text{pH}_2$ は極限pH(ulphimate pH)といわれるもので、それぞれの動物が死直前に筋肉中に保有していたグリコーゲン量に依存した値をとる。すなわち、グリコーゲン量から乳酸量が決定されるのである。

$\text{pH}_1$ はpH低下の初期速度測定の目安であって、家畜のストレス感受性によって大きく影響される。正常な肉畜と体が一般的に取扱われた場合には、極限pHはゆっくりとpH 5.6付近まで低下してゆく。ところが、ストレス感受性家畜の場合には、と体がまだ温かい中に、筋肉pHが迅速に上記のレベルまで下ってしまう<sup>15, 16)</sup>。

#### 6. PSE肉とDFD肉

このような例は豚肉についてよくみられる現象で、筋肉の保水性に悪影響を及ぼし、たんぱく質の部分的変性を生ずるために肉色は白っぽくみえるようになる。このような状態の肉をPSE肉(日本ではむれ肉、ふけ肉などという)という。PSE肉はドリップ渗出量が多く、加工用として塩漬してもその歩留りがきわめて悪い。このようなPSE肉は乳酸を生成するためのグリコーゲンを適量筋肉内に保持していたストレス感受性の高い家畜から生産される。

と殺前に長期間絶食させたり、輸送やと殺前の取扱い中に適度に疲労したりして、家畜がグリコーゲンを消費しつくしたような場合には、筋肉の

表2. と殺前の刺戟が牛肉の極限 pH値におよぼす影響<sup>14)</sup>

供試牛番号	刺戟期間(a) (時間)	生 体 重 (kg)	胸最長筋の pH
12	0	410	5.4
13	0	386	5.4
33	2	355	5.5
44	2	355	5.5
14	24	348	6.76
15	24	390	6.46

- a 周期的に電気ショックを与える。  
b 暗色の DFD 肉

表3. ラムを用いた疲労と枝肉極限 pHに関する実験<sup>14)</sup>

	平均 pH 値	pH 範 囲	極限 pH が 6.0 以上となった数
対 照 (a)	5.51	5.45-5.58	0
対 照 (b)	5.62	5.59-5.66	0
疲 労 (a)	6.38	5.74-6.95	5
疲 労 (b)	6.31	5.85-6.91	5
疲労+1時間休息	5.89	5.59-6.87	2
" +2 "	6.20	5.78-6.91	4
" +4 "	5.90	5.65-6.11	3
" +8 "	6.06	5.60-6.91	2
" +17 "	5.85	5.61-6.21	3
" +24 "	5.71	5.57-6.15	1

- 各群は栄養良好なラム 6 頭づつからなっている。  
○ (対照) は安静な輸送後 1 夜休息させたもの(a), (b) 2 群  
○ (疲労) は 5 km を急速にと場まで輸送し、特に疲労状態の目立つものを選択した。(a), (b) 2 群  
○ 以下 1-24 時間疲労区のものに休息させた。  
○ pH 値は 24 時間後(と殺後)の胸最長筋について測定した。

pH<sub>2</sub> は 6.0 付近以下には低下せず(表 2, 3)、P > 5.9 の肉が平均 31.5%にも及ぶ場合も認められ SE 間とはみかけ上逆の現象がみられる。すなわ 肉。食肉企業に対する調査によれば<sup>14)</sup>、DFD 肉

ち、PSE 肉が肉色か白ぼく(pale)、肉がしまりなくやわらか(soft)で液汁を滲出しやすい(exudative)のに対して、前記の条件下で生ずる肉は、肉色が暗く(dark)、肉はぼそぼそとした感触(firm)で水気がない(dry)。このような肉を DFD 肉と呼び、牛肉の場合には暗色牛肉(dark cutting beef)として古くから知られていた。DFD 豚肉は加工用に塩漬しても、その肉色は普通の塩漬豚肉よりも暗く、くろずんでみえる。

肉質的にはほぼ正反対にみえる PSE 肉と DFD 肉は、両者ともストレス感受性の強い家畜に由来している。PSE 肉については、わが国でも十数年以前から、豚肉について問題化し、現在では比較的正しい認識が普及しつつあるようである。しかし、DFD 肉についてはほとんど問題になっていない。その理由は、豚肉についてのこの種の異常肉発生率が、前者の多発する場合は数十%になるのに対して、後者の場合は数%に過ぎないからであろう。

日本を含めた極東アジア諸国のような豚肉多用地域では、したがって、DFD 肉に対する関心は低いということが出来る。

ところが、EC 諸国、オーストラリア、ニュージーランドおよびアメリカ大陸諸国のような牛肉(羊肉も含む)多用地域では DFD 肉問題はより重要視されている。例えば、フランスにおいては、たしかに DFD 肉の発生率は牛肉生産量全体の 3-4%にすぎないのであるが、最近、産肉性を高めるために採用され始めた、若齢雄牛(去勢せず)についてみると、図 4 にみられるように pH<sub>2</sub>

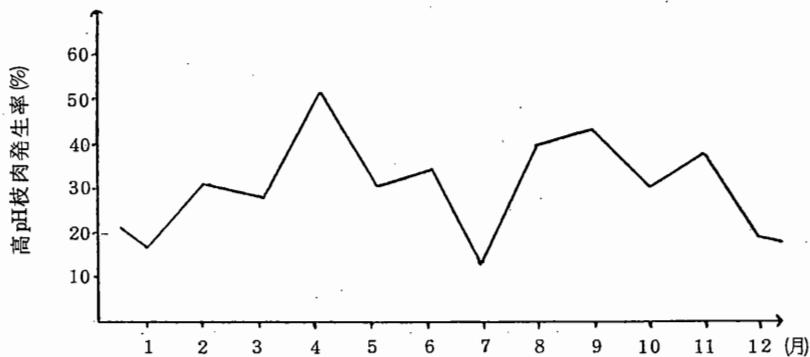


図4. 1977年における高pH牛肉発生率

試験実施国：フランス  
 試験頭数：1,480  
 性別：未去勢若令雄牛  
 年間平均発生率：31.5% 極限 pH > 5.9

違ってくる。近年、肉用家畜生産業者たちは、より高い成長速度と飼料利用率をもった筋肉質型の肉畜をつくり出す努力を続けてきた。このような試みは皮肉なことに、高ストレス感受性家畜数の増大をも同時に招来してしまっている。理論的にはまだまだ明確にはなっていないが<sup>15)</sup>、それにもかかわらず、デンマークランドレース種のような、赤肉生産の面で改良の進んだ豚品種について、PSEやD

は肉色が悪く(92%)保存性も劣る(91%、高いpH値に由来する)ために食肉産業にとって重要な問題であると考えており、DFD肉は枝肉取引上の差別をうけ、それによって正常肉対比で10%の経済的損失を食肉企業の70%がうけるといふ結果が得られている。

血のしたたるような液汁性に富んだレアーもしくはレアーミディアムのビーフステーキを愛好する国の人びとの嗜好を、真向から否定するDFD肉が忌避されるという傾向は、十分首肯できるものであり、日本における“しもふり肉”崇拝傾向と対比して興味深いものがある。

いずれにせよ、グローバルな赤肉指向傾向ともからみあって、わが国においても、豚肉のPSEと同様に牛肉におけるDFD肉の問題がクローズアップされる日も案外近いかも知れない。牛肉生産基地を目指す本道においても、正確な基礎的研究や知識、情報の蓄積が必要であろう。

## 7. PSEおよびDFD対策

PSE、DFD発生には明らかに動物の遺伝的資質が重要な役割を演じている。人間を含む高等動物は、ストレスに対する個体それぞれの反応が異なり、あるものは代謝の速度が通常のものとは

FD肉発生率が高いことが知られている。したがって肉畜生産段階では、育種選抜法の適当な開発によって、ストレス感受性を淘汰除去してしまうか、マスクしてしまえばよいということになるのであるが、この方面からのアプローチは现阶段では未達成である。生体時における異常肉生産の予知、判別法の確立が望まれる。

現実的な対応としては、表3に示すように、と殺前の取扱いによって異常肉発生をコントロールできる。そのためには、輸送はできるだけ刺戟をさけた丁寧な方法で行ない、と殺前には十分な休養と適当な給餌を与えることである<sup>16)</sup>。と殺前に砂糖を給与すると筋肉内グリコーゲンの再生に役立つという説(DFD肉防止)もあるが、高度のストレス感受性家畜に対しては効果はないようである<sup>16)</sup>。

すでに述べたように、PSE状態は枝肉がまだ温かい中にpHが急速に低下してしまう原料肉について発生する。そして、このことは、急速な冷却がPSE肉発生を防止するというを示唆している。一般的な冷却法では、豚枝肉全体が、と殺後12時間以内に10℃以下になることが望ましいということになっているが、冷却中の枝肉の目減りを減少させるという意味からも、また、バ

クテリアの増殖を抑制するという衛生的優位性もあって、急速冷却法が適用されだしてきている。

現在もっとも広く行なわれている方法は、と体を凍結直前温度まで急速に予備冷却し、これに続けて通常の5℃による保冷期間において全体温度を平衡化させるというものである。この方法によると、羊またはラムのような小型枝肉の場合には4-6時間以内に十分冷却できるといわれている<sup>16)</sup>。

## 8. コールドショートニングと枝肉の電気刺戟

困ったことには、急速冷却法の出現は別の観点からの問題を生じてしまった。肉はある特定冷却条件下で有意に、より“かたく”なるのである。この現象はコールドショートニング(日本語直訳は冷却(寒冷)短縮)と呼ばれ、と殺後10時間以内にと体温を10℃以下に冷却する急速冷却冷凍法がニュージーランドに導入された際に大規模発生して問題化した。

冷却速度が遅ければ、コールドショートニング現象は発生しない。成牛と体の場合には、おそらく、その容・重量が大きいため、冷却速度は遅くなるので、この現象は発生し難いとされている。また、この現象は豚と体についてもみられない。豚肉は、羊や牛にくらべて死後の解糖作用が遅く進行するので、急速冷凍法のメリットがうまく発揮される。

コールドショートニング現象について詳述することはさけるが、この現象は、筋肉の死後硬直以前、すなわち、残存ATP量が筋肉の収縮を十分引起し得る水準に維持されている間に、筋肉が10℃以下に冷却されると起るものであることを理解しておいていただきたい。コールドショートニングは冷却/凍結の前に十数時間、枝肉を10℃(以上)に保持すれば回避できる。

しかし、これでは急速冷却の意味がなくなってしまうことは明らかで、この難点を解決する手法として登場してきたのが電気刺戟法である。

と体の脊椎長軸方にそって電流を通ると、筋肉内の死後解糖作用は促進され、硬直前期といわれる死後硬直発生前の猶予期間は短縮される。この操作の電流は一定パルス数の直流電流である。電気刺戟の効果は約700Vまで電圧が高い程増

大するが、高電圧電流の使用は、特別な安全上の注意と対策を食肉処理施設に対して必要とすることになる。周期的に通電を反覆すると、枝肉中の筋肉は断続的に牽撃し、その中に含有されるグリコーゲンとATP量は通常の場合よりも速く減少し、結果として筋肉のpH値は早期に低下する。刺殺、放血と通電開始の時間間隔が大きくなればなるほど、電気刺戟効果は減少することが知られているので、通電はと殺後できるだけ早く行なう必要がある。電気刺戟用の装置は現在いくつかのタイプのものが市販されている<sup>17)</sup>。実際の規模での使用例も拡大されつつあり、より発展するものと期待されている処理技術法の一つに数えられよう。急速冷却や冷凍に際して起る肉の“かたさ”の増大を防止するだけでなく、電気刺戟法は、食肉の熟成プロセスをも加速して、一般の冷蔵肉よりも牛肉の“やわらかさ”を増加させるという実験事実<sup>16)</sup>も報告されている。また、最近、EC、オーストラリア、ニュージーランド、北米諸国において、動物と殺直後のいわゆる温と体除骨処理がさかんになってきている。低温処理施設普及以前に一般的であった旧技術の復活は、しかし、今日的な観点、すなわち、省エネルギーと衛生的処理施設環境からみなおされ、脚光を浴びようになっているが、この処理技術を適用された筋肉は(大動物の場合はとくに)、死後硬直発生以前の状態にあるので、電気刺戟法との組合せは有効に作用するであろうと考えられている。食肉を一定の受動的な張力下で固定している骨格からはずしてしまうと、死後硬直前の筋肉は普通の冷却条件下ではATPの消失にもなって、いわゆる自由短縮を起しかたくなってしまふ。電気刺戟はこの現象を抑制する効果をもつと考えられている<sup>16)</sup>。

## 9. 熟成

実際の食肉商取引にあたって、長い間認知され、必須とされてきた技術に“肉の熟成”という操作(比較的低温で長期間保存)がある。とくに牛肉に対して有効とされる熟成の目的は、第1義的には食肉の軟化であり、副次的にはそのフレーバーの改善にあるとされてきた。豚肉やラム肉が熟成肉の対象にならないのは、若齢(と殺時)である

ために、肉の硬軟度は肉質として評価の基準になりえないためである。熟成を通じて肉の硬軟度にはどのような変化が起るか?という問題に関しては非常に多くの研究<sup>18-21)</sup>がなされているにもかかわらず、その本質については不明な点が多く残されている。現時点でいえることは、筋肉結合組織を形成しているコラーゲン、エラスチンおよびレチキュリンのような硬たん白質は重要な役割を演じておらず、筋肉線維を構成しているたん白質や細胞中の筋漿内に含まれる物質やたん白質の量的および質的な変化が熟成現象には大きく関与しているらしいということである。現在のような食肉の流通形態多様化の状況下では、真空包装や種々のカット肉の流通チャンネル中における硬軟変化度の試験研究も諸外国<sup>13,14,16)</sup>に遅れることなくわが国でも発展させられなければならないであろう。

#### 10. むすびにかえて — その他の肉質改良法—

ハム・ソーセージ業界で全世界的に行なわれるようになって、いわゆるリフォームド肉製品(再形成肉製品)という加工形態が一般化しつつある。もともと、ソーセージのようなひき肉塩漬肉製品は、主に食塩を中心とした塩漬剤によって塩漬された、あまり品質のよくない部分の肉を、塩漬期間という熟成工程と、ひき肉機を用いた物理的細切の操作によって、やわらかさと味やかおりの改善、均質化を目的として製造されてきたものである<sup>22)</sup>。このひき肉をかなり大型の肉片にしてしまったものが再形成肉製品ということになる。このことが可能になったのは、多針注射法やマッサージングあるいはタンプリング法と呼ばれる塩漬技術が発達し、加えて塩漬剤中にポリリン酸塩のような結着増強剤が用いられるようになったためである。

原料部分肉から、まず不必要な余分の脂肪および軟骨は除去されて、適当な肉塊(片)とする。この肉片は多針注射法によって内部まで塩漬剤が注入され、短期間に塩漬効果<sup>13,16)</sup>が発揮されるように処理される。この肉片をマッサージング法のような機械的方法で肉組織の外側を傷つけたり、部分的に壊したりしながら塩漬(熟成)すると、図1に示した筋肉の微細構造の一部は溶解消失し

て、肉片同志が結着できるようになる。このような処理をうけた肉片を再形成肉製品として適当な形に再構成(たとえばリフォームドハム)する。豚や牛の肩腕部のような赤身は多いがかたい部分の肉を利用して、品質のより均質な一定の製品をつくるのが可能となるのである。

最後に、肉のやわらかさを増すために、たん白質分解酵素を使用する方法もあることにふれておこう。食肉熟成の効果中にフレーバー改善が第二義的に含まれており<sup>19)</sup>、このことは自己消化によるたん白質分解が長期的には大きく関与してくることを物語っている<sup>20)</sup>。筋肉中に含まれる固有の分解酵素<sup>21)</sup>や、それぞれの役割については、沖谷の総説<sup>19)</sup>に詳しいので参照されたい。固有の分解酵素以外の助入として、起源を全く別にしたたん白質分解酵素製剤を添加して低品質肉の軟化を促進するのが、いわゆる“ミートテンダライザー”(食肉軟化剤)と称されているものである。本目的にもっとも広く使用されている分解酵素はペパインおよびフィチンのような植物の果実を起源とするもので、有効pH範囲が広く、対象となる被分解たん白質特異性もそれほど鋭くない。これらたん白質分解酵素を、と殺直前に動物の血管中に注射すると最高の効果が認められるといわれている<sup>16)</sup>。

一般に植物起源のたん白質分解酵素は、どちらかというところ、コラーゲンを含む結合組織たん白質を攻撃軟化させてくれる。これに対比して、カビ類や細菌類からの消化酵素は図1の筋肉の緻細構造を消滅させるように作用し、コラーゲンについては、その加熱調理後の変性物に対してのみ作用するものが多いという<sup>16)</sup>。

理論的に考えたり、試験管内の実験で検討したりした結果からは、消化酵素を使用する食肉軟化促進の方法は大変魅力的なようにみえる。しかし、この方法は食肉産業の分野内では意外に一般化されていない。何故かというところ、その主な理由は、使用する酵素の活性をコントロールすることが難しいからということにつきる。分解酵素を本来的に多く含んでいる臓器(例えば肝臓、舌)副生物が、低温下でも容易に劣化して食味性の低下を起すことも上述の活性調節困難性にもとづくものと

して理解できよう。

以上、いわゆる肉質全般をめぐって、きわめて皮相的に解説を行なったつもりであるが、準備と時間の関係で浅薄な内容となってしまったことをお詫びして稿を閉じる。

## 文 献

- 1) SZCZENIAK, A.S. and KLEYN, D.H., Food Technol., **17**: 74-77. 1963.
- 2) SZCZENIAK, A.S., J. Food Sci., 385-389. 1963. 11963
- 3) SZCZENIAK, A.S. and TORGESON, K. W., Adv. in Food Res., **14**: 33, 35. 1965.
- 4) BAILAY, A. J., J. Food. Sci. Agric., **23**: 995-1007. 1972.
- 5) ROWE, R.W.D., Meat Sci., **1**: 135-148. 1977.
- 6) FINNEY, E.E.Jr., J. Texture Stud., **1**: 19-39. 1969.
- 7) STANLEY, D. W., Physical Properties of Food, (PELEG, M. and BAGLEY eds.) 157-206, AVI Publishing Co. Inc., West Port, Connecticut, 1983.
- 8) SHERMAN, P., J. Food Sci., **34**: 458-493. 1963.
- 9) ASGHAR, A., SAMEJIMA, K. and YASUI, T., CRC Critic. Rev. in Food Sci. and Nutr., **22**, Issue 1, 27-106. 1985.
- 10) 高橋興威, 食肉タンパク質の特性, 食品タンパク質の科学—化学的性質と食品特性—, 山内文男編著. P. 169-180. 食品資材研究会(株). 1983.
- 11) KEMPSTER, A.J. and EVANS, D. G., Animal Production, **28**: 87. 1979.
- 12) KEMPSTER, A. J. JONES, D. W. and CUTHBERTON, A., Meat Sci., **3**: 109. 1979.
- 13) HENRICKSON, R.L., Meat, Poultry and Sea Food Technology. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey. 1978.
- 14) HOOD, D.E. and P.V. TARRANT (eds.) The Problem of Dark-cutting in Beef, Current Topics in Veterinary Medicine and Animal Science, Vol.10. Martinus Nijhoff Publishers, The Hague/Boston/London.
- 15) 伊藤肇躬, 上曾山博, 肉の科学, **24**, No 1 1-6. 1983.
- 16) WILSON, N.R.P., DYETT, E.J., HUGHES, R.B. and JONES, C.R.V (eds.), Meat and Meat Products—Factors Affecting Quality Control—, Applied-Science Publishers, London and New Jersey.
- 17) 三浦弘行, 肉の科学, **25**, No 2: 121-132. 1984.
- 18) 伊藤肇躬, 和泉健次郎, 池内義秀, 化学と生物, **19**, No 1: 44-50. 1981.
- 19) 沖谷明紘, 化学と生物, No 2: 108-113. 1981.
- 20) 鈴木敦士, 化学と生物, No 3: 182-187. 1981.
- 21) 高橋興威, 化学と生物, No 4: 261-267. 1981.
- 22) 安井 勉, 石下真人, 鮫島邦彦, 化学と生物, **19**, No 5: 337-344. 1981.