食 肉 の 組 織 化 学

森 田 重 広

Shigehiro MORITA

日本獣医畜産大学

1. は じ め に

食肉を構成するものは主として筋肉であるが、古典的解剖学者はその色と構造から、筋肉を赤筋と白筋に分けた。生理学者はその収縮の速さから、赤筋は遅筋であり、白筋は速筋であるとした。生化学者は筋中に含まれる酵素活性の強さから、赤筋には呼吸系の酵素活性が強く、白筋には解糖系の酵素活性が強いとした。表1は赤筋と白筋の酵素活性を比較したものである。この表からわかるとおり、解糖系の酵素活性は hexokinase を除いては白筋に高く、citric acid cycle, pentose cycle, 脂肪酸代謝およびアミノ酸代謝の酵素活性は赤筋に高い。

最近の組織化学の進歩により、上記の種々の酵素の筋線維上の分布が明らかとなり、その結果、筋を構成する筋線維には少なくとも3種類以上あることがわかり、赤筋線維、白筋線維、中間型筋線維と名付けられた。さらに研究が進むにつれて、従来、赤筋といわれていた筋は赤筋線維のみから構成されているのではなく、少なくとも赤筋線維と中間型筋線維の2種から、白筋といわれていた筋は白筋線維、赤筋線維と中間型筋線維の3種から構成されていることがわかってきた。したがって、生理学的な分類による遅筋と速筋は、その筋を構成している筋線維の優勢なほうの性質として現われると考えられる(なぜなら、中間型の収縮の速さを示すという筋は報告されていないから)。

また、生化学的な筋の酵素活性は、その筋を構成している赤筋線維、白筋線維、中間型筋線維の持つ酵素活性の総和と考えられる。筋はまた、筋に分布している神経によって支配される面が大きい。後述するように、筋は神経を通じて、筋線維の構成、酵素活性などが変わってくる。

近代の筋の研究は生化学的な面での発展が大きいが、食肉として筋をながめたとき、それは解剖学、発生学、組織化学、生理学(筋生理学、神経生理学)、生化学、物理化学などの総合されたものとしてとらえられなければならない。以下に、順を追って組織化学の面からみた食肉を記述する。

2. ミオグロビン

食肉の色というものは、単に美観の上で商品価値を左右するのみならず、その品質の1つの指標である。食肉の色はミオグロビン(以下 Mb と略記)の含量、分布、Mb の変化にかかっている。よく熟成された生肉の表面は Oxy-Mb の鮮紅色を示し、長期間保存すると Met-Mb (Mb 中の Fe^{2+} が酸化されて Fe^{3+} となったもの)の褐色が混ざってくる。細菌の汚染、または食肉の変質によって Sulf-Mb, Chole-Mb の緑色が現われることがある。また、ハム、ソーセージの製造の際には、最初の塩漬の工程で食塩とともに硝酸塩、亜硝酸塩を入れることにより、Mb が Nitroso-Mb に変わるので、製品に美しいピンク色をあたえる。この Nitroso-Mb は、Mb や Oxy-Mb と異なって、加熱によってもその色調をほとんど変えないことが特徴である。現在、肉製品は、この Nitroso-Mb の色を考えないでは存在はありえないといっても過言ではない。この Mb の食肉内での分布を探り、その性質を考え、肉質の向上をはかろうとするのが、食肉の組織化学の当面の問題の1つである。

さて、読者の中にはアメリカに留学または出張された方もたくさんおられると思う。そのときに、多分、T-Bone steak というものを食べられた経験があることと思うが、これは図1に示したごとく、大部分が背最長筋で、残りは腰筋である。この背最長筋と腰筋はどんなに

表 1 種々の哺乳類の赤筋と白筋の酵素活性値

[Beatty & Bocek (1969)¹⁷ より引用]

酵 素 名	動物種	筋	酵素活性値	酵 素 名	動物種	筋	酵素活性値
グリコゲン代謝				Phosphoenol-pyruvate carboxykinase	兎	{ (赤)恥骨筋 (白)後肢の筋	23* ² 120
Phosphorylase	モルモット	{ (赤)内転筋 (白)大腿方形筋	10.4±2.3* ¹ 19.2±2.9	α-Glycerophosphate dehydrogenase	ラット	{ (赤)ヒラメ筋 (白)腓腹筋	22* ³ 350
	猿	{ (赤)縫工筋 (白)腕橈骨筋	14±2.4* ¹ 23±2.8		モルモット	{ (赤)ヒラメ筋 (白)大腿方形筋	15.9±6.3* ¹ 31±8.5
	ラット	{ (赤)ヒラメ筋 (白)腓腹筋	7.5* ¹ 32	脂肪酸代謝			
	兎	{ (赤)ヒラメ筋 (白)大内転筋	13.3±6.7* ¹ 110±15	β-OH acyl CoA-dehydrogenase	兎	{ (赤)ヒラメ筋 (白)大内転筋	250* ² 62
Glycogen synthetase	モルモット	{ (赤)内転筋 (白)大腿方形筋	1.5±0.14* ¹ 0.71±0.09	Citric acid cycle			
	猿	{ (赤)縫工筋 (白)腕橈骨筋	28.4±2.5* ⁶ 14.7±2.8	Citrate synthetase	兎	{ (赤)ヒラメ筋 (白)大内転筋	340* ² 86
	ラット	{ (赤)半膜様筋赤筋部 (白)半膜様筋白筋部	34.1±1.8* ⁶ 22.6±1.1	Isocitric dehydrogenase	猫	{ (赤)ヒラメ筋 (白)長趾屈筋	690* ⁴ 345
解糖系					ラット	{ (赤)ヒラメ筋 (白)腓腹筋	41* ³ 5
Hexokinase	兎	{ (赤)ヒラメ筋 (白)大内転筋	129±22* ² 27±4	Malic dehydrogenase	猫	{ (赤)ヒラメ筋 (白)長趾屈筋	1,060* ⁴ 720
	モルモット	{ (赤)外側広筋赤筋部 (白)外側広筋白筋部	11.3±1.0* ² 8.1±0.7		ラット	{ (赤)ヒラメ筋 (白)腓腹筋	1,360* ³ 590
Phosphohexose isomerase	兎	{ (赤)ヒラメ筋 (白)大内転筋	120±5.5* ¹ 830±118	Succinic dehydrogenase	猿	{ (赤)ヒラメ筋 (白)腕橈骨筋	28.7±0.8* ⁵ 5.8±0.2
Phosphofructokinase	兎	{ (赤)恥骨筋 (白)腓腹筋	729* ² 1,710		ラット	{ (赤)半膜様筋赤筋部 (白)半膜様筋白筋部	58.8±3* ⁵ 21.6±0.2
Fructose-1,6-diphosphatase	兎	{ (赤)恥骨筋 (白)腓腹筋	27* ² 50		豚	{ (赤)腹鋸筋 (白)背最長筋	2.6±0.4* ⁷ 1.2±0.2
Aldolase	兎	{ (赤)ヒラメ筋 (白)大内転筋	25±5* ¹ 178±38	Cytochrome oxidase	ラット	{ (赤)ヒラメ筋 (白)腓腹筋	4.2* ³ 2.0
	猫	{ (赤)ヒラメ筋 (白)長趾屈筋	115* ⁴ 1,280	アミノ酸代謝			
	ラット	{ (赤)ヒラメ筋 (白)腓腹筋	32* ³ 320	Glutamic oxalacetic transaminase	兎	{ (赤)恥骨筋 (白)後肢の筋	840* ² 458
Glyceraldehyde phosphate dehydrogenase	兎	{ (赤)ヒラメ筋 (白)大内転筋	10,850* ² 87,260		ラット	{ (赤)ヒラメ筋 (白)腓腹筋	94* ³ 27
Pyruvate kinase	猫	{ (赤)ヒラメ筋 (白)長趾屈筋	280* ⁴ 1,675	Pentose cycle			
	ラット	{ (赤)ヒラメ筋 (白)腓腹筋	182* ³ 850	Glucose-6-phosphate dehydrogenase	ラット	{ (赤)ヒラメ筋 (白)腓腹筋	0.42* ³ 0.20
Lactate dehydrogenase	モルモット	{ (赤)ヒラメ筋 (白)大腿方形筋	114±51* ¹ 313±35	6-phospho-gluconic acid dehydrogenase	ラット	{ (赤)ヒラメ筋 (白)腓腹筋	100* ⁸ 80
	ラット	{ (赤)ヒラメ筋 (白)腓腹筋	750* ³ 2,625		猫	{ (赤)中間広筋 (白)大腿直筋	100* ⁸ 73
	豚	{ (赤)腹鋸筋 (白)背最長筋	6.3±0.6* ³ 15.0±0.7				
	猫	{ (赤)中間広筋 (白)大腿直筋	100* ⁸ 192				
	兎	{ (赤)恥骨筋 (白)腓腹筋	1,030* ² 3,142				

*1 μmoles/min/g muscle.

*2 μmoles/hour/g muscle.

*3 units/g muscle.

*4 units/min/g noncollagenous protein.

*5 μg formazan/15min/mg nitrogen.

*6 μmoles product/min/100 mg N.

*7 μg formazan/15 min/g wet weight.

*8 arbitrary units.

図 1 T-Bone steak

年老いた牡の動物でも、程度の差はあれ柔らかいものである。この図に見えている腰椎骨が垂直に半分に切断されていることを付言すれば、この T-Bone steak が牛の体のどの部分であるかを想像することができるであろう。この背最長筋は、しばしば食肉の研究に使われる。

牛の背最長筋を新鮮なうちに約 1 cm 角に切りとり、2.5% の glutaraldehyde ($\text{OHCCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CHO}$ ——組織に対する作用の詳細は不明であるが、formaldehyde と同様にたん白質に対する凝固作用が強い) の溶液に漬ける。この操作で、sarcoplasm 中の Mb は水に不溶性のものとなり沈澱する。glutaraldehyde は組織の固定剤として、最近、電子顕微鏡その他の分野で多く用いられているものである。

Mb はその高い水溶性の故に、いままで多くの組織化学者が Mb の組織内分布を探ろうとして失敗してきた。筆者ら⁽¹⁾は、1969 年にこれから述べる操作によって、初めて Mb の組織内分布を正確に知ることができた。glutaraldehyde に浸漬された肉片は、水洗の後、液体窒素またはドライアイスで凍らせて、これをクリオスタットで凍結のまま顕微鏡用の薄片 (30 μ) にする。この切片をベンチジンの飽和水溶液に H_2O_2 を入れた溶液中に投入すると、溶液中のベンチジン (水溶性、無色) は Mb の持つ peroxidase の作用 (厳密な意味での peroxidase と異なる。作用的には同じだが pseudo-peroxidase といわれる) で酸化されて、ベンチジンプルー (濃青色) からさらにジフェノキノンジイミン (不溶性、褐色)

色) に変わる。この褐色の物質が Mb の存在を示す。かくして得られた牛の背最長筋の Mb の分布を図 2 に示す。この図からわかるとおり、Mb というものは肉組織中に一様に分布しているのではなく、Mb をたくさん含む筋線維と、あまり含んでいない筋線維と、ほとんど含んでいない筋線維との少なくとも 3 種類ぐらいある。

いま、これを色の濃い Mb positive fiber と、色の淡い Mb negative fiber と、中間型の Mb intermediate fiber とに分けることにする。図 4、図 6 は、図 2 の方法と同様にして得られた豚と兎の背最長筋の Mb の分布の顕微鏡写真である。周知のごとく、牛肉の肉色は濃く、豚、兎の順で肉色は淡くなる。生化学的な分析によれば、牛、豚、兎の背最長筋の Mb の含量は、それぞれ 0.50 mg, 0.06 mg, 0.02 mg (%wet) である。これらの図から明らかなごとく、豚肉は牛肉に比して Mb positive fiber が少なく、兎肉ではさらに少ないということ、また Mb positive, negative, intermediate fibers の分布の様相も異なることがわかると思う。図 8 は豚の僧帽筋の Mb の分布である。僧帽筋というのは肩の筋肉の 1 つで、背最長筋よりも肉眼ではっきり色の濃いことが認められ、顕微鏡的にも Mb positive fiber の多いことが図から認められる。

以上で、異なった動物間ではもちろん、同じ動物種でも解剖学的な位置が異なれば、筋肉中の Mb の含量、分布が異なることがおわかりいただけると思う。

3. 筋線維の酸化還元酵素

前節において、我々は筋線維の中に Mb を多く含む線維とそうでないものがあることを知った。Mb と酸素の結合能から、Mb を多く含む筋線維は酸素呼吸を行なっているのであろうか。この疑問の中から、さらに酸化還元酵素の組織化学ということが提案される。そこで、生体内の呼吸系の 1 酵素である reduced nicotinamide-adenine dinucleotide (NADH) dehydrogenase について考えてみることにする。新鮮な食肉の一片を液体窒素で凍らせて、そのままクリオスタットで約 -20°C で顕微鏡用切片に薄切 (10 μ) する。この切片を NADH と nitro blue tetrazolium (水溶性、うすい黄色の特殊な複素環化合物) を含む緩衝液中に入れて 37°C で 30 分インキュベートすると、筋線維中の NADH dehydrogenase (この場合、正確には NADH_2 tetrazolium reductase) の作用で遊離した水素は、nitro blue tetrazolium を還元して formazan という水、脂質に難溶性の青色の物質に変える。これを顕微鏡下に観察して

× 34

図 2 牛の背最長筋の Mb の分布

図 4 豚の背最長筋の Mb の分布

図 6 兎の背最長筋の Mb の分布

図 8 豚の僧帽筋の Mb の分布

図 3 牛の背最長筋の NADH dehydrogenase の分布

図 5 豚の背最長筋の NADH dehydrogenase の分布

図 7 兎の背最長筋の NADH dehydrogenase の分布

図 9 豚の僧帽筋の NADH dehydrogenase の分布

表 2 筋線維の組織化学的反応

	赤筋線維	白筋線維	中間型線維
NADH dehydrogenase	++	-	+
Phosphorylase	-	++	+
Mb { Beef	+++	+	++
Pork	++	-	+
Rabbit	+	-	-
Succinic dehydrogenase	++	-	+
UDPG glycogen transferase	+	-	
Myosin ATPase (pH 9.4)	-	++	+
Lipid	++	-	+
Glycogen	-	+	
Lipase	+	-	
Cytochrome oxidase	+	-	
Aldolase	-	+	
Glyceroaldehyde phosphate hydrogenase	-	+	

NADH dehydrogenase の存在を知るわけである。豚肉では、Mb positive な筋線維と NADH dehydrogenase の存在する筋線維は完全に一致することが示されている⁽¹⁾。しかし、他の種の肉でもいつもそうかという、その傾向は一致するがいろいろの程度の差があって、たとえば兎肉のように Mb positive な筋線維の非常に少ないものでも、NADH dehydrogenase の存在する筋線維は Mb positive なものより多いようである。図 3, 5, 7, 9 に牛、豚、兎の背最長筋および豚の僧帽筋の NADH dehydrogenase 反応の顕微鏡写真を示した。それぞれ図 2, 4, 6, 8 の Mb 反応のものと比較対照してご覧いただきたい。

この NADH dehydrogenase 反応は、今日、赤筋線維を識別する方法として最も推奨されているものの 1 つであるが、表 2 に赤筋線維、白筋線維、中間型線維に局在する酵素などの分布を一括して示した。この表による

と、赤筋線維には酸化還元酵素 (succinic dehydrogenase, cytochrome oxidase), 糖合成酵素 (UDPG glycogen transferase), 脂質 (lipid, lipase) が豊富であることがわかる。

4. 筋線維の解糖系の酵素

筋線維の作用を考えると、筋の解糖作用を度外視することはできない。組織化学の分野では、解糖作用をみると、一般に phosphorylase をみる。本酵素は、グリコゲンのグルコシド結合の無機磷酸による分解を触媒する。今日、生体内ではこの逆反応は観察されていないが、組織化学的には、この逆反応を利用して、基質に加えた glucose-1-phosphate が phosphorylase により合成された α -1,4-polyglucose を、ヨード反応で可視的にして顕微鏡下で観察する。ヨード反応は、 α -1,4-polyglucose のグルコシド結合鎖の長さにより、青～紫紅色とその色調を異にする。本酵素の活性が高いと、結合鎖が長く、ヨード反応が青いので、酵素活性の観察に便利である。この phosphorylase の分布を模式的に示したのが図 10(C) である。

図 10 には、Mb, NADH dehydrogenase, phosphorylase の 3 つの分布を比較して示した。すなわち、Mb (+) = NADH dehydrogenase (+) = phosphorylase (-) であり、これが赤筋線維である。また、Mb (-) = NADH dehydrogenase (-) = phosphorylase (+) であり、これが白筋線維である。残りが中間型線維といわれているもので、すべての反応に中間型を示す。この NADH dehydrogenase の反応と phosphorylase の反応とが反対である関係は、muscle fiber の reciprocal relationship^(2,3) として、今日、組織化学的に筋線維を分類する手段としてさかんに利用されている。この phosphor-

図 10 各種筋線維における Mb, NADH dehydrogenase, Phosphorylase の分布の比較

R : 赤筋線維 W : 白筋線維 I : 中間型線維

ylase(+)である白筋線維には、表2に示したごとく、他の解糖系の酵素(aldolase, glyceroaldehyde phosphate hydrogenase)の存在も組織化学的に証明され、また、ATPaseの存在も証明されている。

5. 赤筋と白筋

生理学の知識によれば、筋肉は「白筋」と呼ばれる活動の敏速な筋と、「赤筋」と呼ばれる活動のゆるやかな筋があって、白筋の代表として腓腹筋、赤筋の代表としてヒラメ筋がよくあげられている。前述の NADH dehydrogenase などの呼吸系酵素の分布、また phosphorylase などの解糖系酵素の分布よりみて、今日、未確認の報告⁽⁴⁾によるごく少数の例外(ナマケモノなどの下等猿類)を除いては、赤筋線維のみから構成されている筋や、白筋線維のみから構成されている筋は存在しない。赤筋では少なくとも赤筋線維と中間型線維の2種類が、白筋では常に白筋線維、赤筋線維、中間型線維の3種類の筋線維が存在している。筋の生理的な活動は、その筋を構成している筋線維の優勢なほうの働きとして現われる。

6. 筋の神経支配

いままで述べてきたところによると、赤筋線維には Mb や呼吸系の酵素が多く、白筋線維には解糖系の酵素が多いわけである。したがって、赤筋線維はゆっくりした持続的な活動に適し、白筋線維は急激な短時間の活動に適していると考えられる。しかも、これらの筋の活動はすべて神経の支配によるものである。それでは、筋を支配する神経元は2種類以上あるのだろうか。すでに、脊髄の前角に α 運動神経元というものがあって、これは fast type と slow type に分けられ、fast type は白筋線維を、slow type は赤筋線維を支配するといわれていた。最近 Fernandez-Campa ら⁽⁵⁾は、この fast type の運動神経元は phosphorylase が豊富で succinic dehydrogenase が乏しいことを見だし、また slow type の運動神経元は phosphorylase と succinic dehydrogenase を両方ともある程度含有していることを組織化学的に証明した。phosphorylase を多く含む白筋線維を支配する運動神経元も、また phosphorylase を多く含むことを見だしたわけである。

そして、これはまだ証明されたわけではないが、最近 Brooke⁽⁶⁾は次のようなことをいっている。すなわち、筋は神経の二重支配を受けており、1つは錐体路(走るとか、投げるとかのはっきりした意識のある骨格筋の運動

を支配する神経路)であり、もう1つは反射弓(姿勢の保持など、意識にのぼらない骨格筋の運動を支配する神経路)である。そして、錐体路に支配される筋線維は白筋線維であり、反射弓に支配される筋線維は赤筋線維であるという。

ここで、いま1つおもしろい実験をとり上げてみる。それは cross innervation⁽⁷⁾といわれている実験で、赤筋であるヒラメ筋に分布している神経と、白筋である腓腹筋に分布している神経を両方とも切断して、両神経を今度は交叉してつないでみる。すなわち、いままで赤筋にいていた神経が白筋にいき、白筋にいていた神経が赤筋にいくようにするのである。その後、ある期間たってから両方の筋の筋線維の構成を組織化学的に調べてみると、両方の筋の筋線維の構成が変わってくる。すなわち、いままで赤筋線維の多かったヒラメ筋は白筋線維が多くなり、白筋線維の多かった腓腹筋は赤筋線維が多くなってくる。もちろん、生化学的な酵素活性も変化する。この場合、おもしろいことに、呼吸系の酵素活性(malic dehydrogenase, isocitric dehydrogenase)は cross innervation で増加することはあってもあまり減少しないが、解糖系の酵素活性(pyruvic kinase, aldolase)では、cross innervation でヒラメ筋では増加し、腓腹筋では減少する。この呼吸系と解糖系の酵素活性の変化の様相は、生体の基本的な活動を支持しているものは呼吸系の酵素を含む赤筋線維であることを示しているようである。では、生体が基本的な活動しかしていない胎児または幼動物ではどうなっているのか。これについて次節で述べる。

Cross innervation ほどの手術をやらなくても、電気刺激⁽⁸⁾とか運動⁽⁹⁾によっても、筋の筋線維の構成や酵素活性はある程度変わると報告されている。もし、上述のようなことが食肉に応用されて、食肉の質をよいほうに改めることができばよいと思うわけである。

7. 筋線維の分化

前節で、生体が基本的な活動しかしていない胎児または幼動物では、筋線維がどう分化しているかを知る必要があるということを述べた。したがって、ここでは筋の初期発生については述べない。未分化の筋線維は、赤筋線維に近い様相をしていて、組織化学的には呼吸系の酵素も解糖系の酵素も同時に持っている。この時期には、Mb は組織化学的には検出不可能である。未分化の筋線維が赤筋線維、白筋線維、中間型線維の3つに分化する時期は、動物によって2つに大別される。1つは生まれ

たときに充分に分化しているグループと、もう1つは分化が生後に起こるグループである。前者に属するものはモルモット、ヒトなどであり、後者に属するものはマウス、ラット、兎、豚などである (Dubowitz 1969)⁽¹⁶⁾。

Nyström (1968)⁽¹⁰⁾ によると、猫のヒラメ筋 (赤筋) と腓腹筋 (白筋) において、新生児のそれは、ATPase の組織化学的反應を除いては他の反應は完全に1つの type であった。その後、両方の筋で異なった筋線維が現われるが、腓腹筋のほうはどんどん分化が進行するのに反し、ヒラメ筋のほうは分化がすぐに抑圧されてしまう。他の報告もあわせて考えると次のように結論できる。すべての筋は未分化の状態から出発する。分化は異なった割合で起こり、ある酵素が他の酵素に先だてて起こる。赤筋は白筋に比して分化の程度が低い。

また、Buller ら (1960)⁽¹¹⁾ は猫で次のような報告をしている。生まれたときはすべての筋はその収縮の速さで遅筋であるが、これは組織化学的に、同じ時期にはすべて赤筋線維類似のものであることと一致している。成長に伴ってその収縮の速さはだんだんと速くなり、成体と同じ筋の収縮の速さになるのに4週間かかる。ヒラメ筋のような遅筋では、少しその収縮の速さは速くなるが、やがて成体の速度に一致した遅筋となる。

8. PSE muscle

日本では現在あまり問題になっていないが、欧米では豚肉の PSE といって、肉色が淡く (pale)、肉質が柔らかく (soft)、浸出液が多い (exudative) ものがある。この肉は調理に際して損失が多く、肉加工上も問題の多い、品質の悪い豚肉として問題となっている。日本でも、最近アメリカのイリノイ州から輸入した豚肉に、多数の PSE muscle の豚肉が見いだされた。このことに関しての生化学的な解説は、本誌に藤巻⁽¹²⁾ の報告があるので、ここでは重複する分については述べないが、PSE になりにくい豚肉は、その赤筋線維の構成百分率が高く、呼吸系酵素の活性も高いという⁽¹³⁾。その他の形態学的な変化も報告されているが、現在のところ、PSE になりにくい肉またはなりやすい肉と、組織化学的な結果との明確な関係は確立されていない。筆者も滞米中に Mb positive fiber の百分率と PSE との関係を追求めたが、明確な結論は得られなかった。

9. Myosin ATPase

筋肉を論ずるにあたっては、Ca イオンで活性化される myosin ATPase を度外視するわけにはいかない。

図 11 ATPase の活性に対する pH の効果

Barany ら (1965)⁽¹⁴⁾ より一部改変して引用。

食肉化学の観点からみても、たとえば、ハム、ソーセージの結着性、保水性は myosin に依存することが大きく、myosin を除いた筋肉でソーセージを作ってみると、その保水性、結着性は極端に悪くなることが報告されている。また、myosin の変性によって、それから作られたソーセージの結着性、保水性は不良となる。myosin の変性は、その ATPase の活性と密接な関係を持つ。したがって、myosin ATPase の活性を知ることが、食肉化学の面からみて重要となってくる。組織化学的な myosin ATPase の検出もまた可能である。ここでは、その手技については詳しく述べないが、要するに ATPase によって遊離した無機リンを組織中から移動したり、溶解したりしないようにさせた後、発色させてその存在を見るわけである。一般には、ATPase は白筋線維に強く現われる。

本稿では、従来の ATPase の組織化学的反應については記載せず、最も新しい話題についてのみ述べる。Barany ら (1965)⁽¹⁴⁾ の生化学的研究によると、白筋である腓腹筋では、赤筋であるヒラメ筋に比較して、pH 9.5 付近で ATPase の活性値は非常に高くなる (図 11 参照)。一方、Brooke ら (1969)⁽¹⁵⁾ の報告によると、myosin ATPase の組織化学的研究で、表 3 のような結果を得た。この表から明らかなごとく、pH 4.3 では myosin ATPase の反応は赤筋線維のみに現われて、白筋線維には現われない。また、pH 10.3 では逆に反応は白筋線維のみに現われて、赤筋線維には現われない。

本稿の前半で、筋線維の酵素組織化学の進歩により、筋線維には赤筋線維、白筋線維、中間型線維の3種があ

表 3 ATPase の組織化学的反応の強さ

pH	赤筋線維	白筋線維
11.0	0	0
10.3	0	++
8.0	+	++
5.0	++	++
4.3	++	0
3.5	0	0

ることがわかり、それによって、赤筋には少なくとも赤筋線維と中間型線維の2種類が存在し、白筋には白筋線維、赤筋線維、中間型線維の3種類が存在することを述べた。要するに、赤筋線維と中間型線維は赤筋にも白筋にも存在するが、白筋線維は白筋にしか存在しないことである。いま、Brookeら(1969)⁽¹³⁾の報告で、ATPaseの組織化学的反応はpH 10.3のところでは白筋線維のみに現われることを知った。したがって、図11の白筋の持つ生化学的な活性値がpH 9.5のところでは急になるのは、白筋の持つ白筋線維、赤筋線維、中間型線維のうち、白筋線維のATPaseの現われと解釈すれば説明できる。

以上のことから、myosin ATPaseのうち、白筋線維の持つmyosin ATPaseと、赤筋線維の持つmyosin ATPaseとは異なったactive siteを持つのではないかと考えられる。

10. おわりに

本学に設置された畜産食品工学科も、発足以来3年有余、明年3月には第1回卒業生を出そうとしている。日本ではじめての肉学教室(欧米ではたくさんあるが)の一員として、元来、獣医解剖学者であった筆者が、今日、日本の肉学の研究者の末席をけがすことができるようになったのも、多くの先輩のはげまし、忠言によるところが大きい。その点で、東大農学部の高橋教授、およびアメリカ留学中、筆者の研究にいろいろと便宜をあたえてくれたDr. Briskey, Dr. Cassensなどの方々に対し、厚く謝意を表する。

本稿は編集部の依頼により、筆者の大胆な私見を入れて平易に解説した。したがって、詳細な文献の引用と個別の研究報告については割愛した。また、文末の文献も総説を中心とした新しい主なものにとどめる。

文 献

- 1) S. Morita, R.G. Cassens and E. J. Briskey : *Stein Tech.*, 44, 283 (1969).
- 2) V. Dubowitz and A. G. E. Pearce : *Nature*, 185, 701 (1960).

- 3) W. G. Moody and R. G. Cassens : *J. Anim. Sci.*, 27, 961 (1968).
- 4) R. M. Bocek and C. H. Beatty : 未発表.
- 5) Fernandez-Campa and W. K. Engel : *Nature*, 225, 748 (1970).
- 6) M. H. Brooke : Symposium, Physiology and Biochemistry of Muscle As a Food II, p. 131 (1969).
- 7) M. A. Prewitt and B. Salafsky : *Am. J. Physiol.*, 218, 69 (1970).
- 8) L. Edstrom and E. Kugelberg : *J. Neurol. Neurosurg. Psychiat.*, 31, 424 (1968).
- 9) V. R. Edgerton, L. Gerchman and R. E. Carrow : *Exptl. Neurol.*, 24, 110 (1969).
- 10) B. Nyström : *Acta Neurol. Scand.*, 44, 405 (1968).
- 11) A. J. Buller, J. C. Eccles and R. M. Eccles : *J. Physiol.*, 150, 399 (1960).
- 12) 藤巻正生 : 化学と生物, 2, 138 (1964).
- 13) G. R. Beecher, R. G. Cassens, W. G. Hoekstra and E. J. Briskey : *J. Food. Sci.*, 30, 969 (1965).
- 14) M. Barany, K. Barany, T. Reckard and A. Volpe : *Arch. Biochem. Biophys.*, 109, 185 (1965).
- 15) M. H. Brooke and K. K. Kaiser : *J. Histochem. Cytochem.*, 17, 431 (1969).
- 16) V. Dubowitz : Symposium, Physiology and Biochemistry of Muscle as a Food, II, p. 87 (1969).
- 17) C. H. Beatty and R. M. Bocek : Symposium, Physiology and Biochemistry of Muscle as a Food, II, p. 155 (1969).

A new semiannual journal

Advances in Biophysics

Vol. 2, 1970

Editor

Masao Kotani

Editorial board

S. Ebashi K. Imahori
T. Isemura Y. Katsuki
J. Nagumo H. Noda
E. Oosawa E. Teramoto
J. Tomizawa

Secretary

K. Maruyama

Contents

- I. Tasaki *et al.*, Phase Transition in Membrane with Reference to Nerve Excitation.
- I. Yamazaki, One-Electron and Two-Electron Transfer Mechanisms in Enzymic Oxidation-Reduction Reactions.
- K. Koketsu, Electrogenic Sodium Pump.
- T. Ooi, Structure of Tropomyosin and Its Crystal.
- E. Teramoto *et al.*, Stochastic Theory of Reaction Kinetics.

東京都文京区 振替 東京 59964
本郷東大構内 東京大学出版会 電話 811-8814