

Porcine Myofibrillar Protein에 대한 비교생화학적 연구

양 응 · 박현주 · 김영호 · 진홍승 · 신완철

연세대학교 공과대학 식품공학과

Comparative Biochemical Study on the Myofibrillar Proteins from Porcine Muscle

Ryung Yang, Hyun-Joo Park, Young-Ho Kim, Hong-Seung Jhin and Wan-Chul Shin

Department of Food Engineering, College of Engineering, Yonsei University, Seoul

Abstract

In order to investigate the general characteristics of ATPase and ATPase thermostability between porcine white muscle and red muscle, myofibrillar proteins were prepared and compared their physicochemical characteristics. SDS-polyacrylamide gel electrophoretic analyses showed that a protein band of 30,000 daltons was detected noticeably in myofibril from red muscle, but negligibly in myofibril from white muscle. The noticeable differences were found between porcine white muscle and red muscle for the activities of EDTA-ATPase, Ca-ATPase and Mg-ATPase. Myofibrillar proteins from white muscle showed higher thermostability than those from red muscle. Thermodynamic parameters, enthalpy (ΔH^*), entropy (ΔS^*), etc., showed characteristic variations between porcine white muscle and red muscle.

서 론

근육은 운동을 담당하고 있는 조직으로서 근세포의 집합체이다. 모든 근육은 red fiber와 white fiber를 함유하고 있으며⁽¹⁾ 그 상대함량비에 따라 red muscle과 white muscle로 구분되고 있다.

white muscle은 red muscle에 비하여 섬유의 직경이 굵으며, glycogen 및 creatin phosphate의 함량이 높고 해당작용에 관련된 효소들의 활성이 높은 반면^(2,3) red muscle은 myoglobin과 지질의 함량이 높고⁴ 혈류량이 white muscle의 약 3배이므로 산소의 공급량이 많고 따라서 호기적 대사(aerobic metabolism)에 적합할 것으로 보고되었다.⁽⁵⁾

한편, 근수축속도와 ATPase 활성의 세기는 비례하며 red muscle의 근원섬유단백질의 ATPase 활성보다 white muscle의 근원섬유단백질의 ATPase 활성이 높은 것으로 보고된 바 있다.^(6,7) 그러나 Yang 등은 소의 근육에서는 red muscle의 actomyosin ATPase 활성이 white muscle의 그것보다 높았다고 하였고^(8,9) myosin의 경우에도 소의 근육의 경우에는 red muscle 쪽이 ATPase 활성이 높았으나 닭의 근육의 경우에는 red muscle과 white muscle에 차이가 없었다고 보고하고 있다.^(3,9)

이와같이 근섬유의 fiber type에 따라 성분함량, 형태학적 및 생화학적 성질에 그 차이가 존재하며⁽⁸⁻¹⁴⁾ z-line의 붕괴속도⁽¹⁵⁾ 등 물리화학적 성질에도 차이가 있을 것으로 예상되고 있다. 따라서 근육을 구성하고 있는 단백질에 관한 연구는 분자생물학적 측면에서는 물론 식품의 재료라는 측면에서도 주요 연구대상이 되고 있다.⁽¹⁶⁻³¹⁾

본 연구에서는 가공육제품의 공업재료로서 대표적으로 이용되고 있는 돼지의 근육에서 white muscle로 longissimus dorsi 근육, red muscle로 trapezius 근육을 선택하여 각각 근원섬유단백질을 조제하고, 근원섬유를 구성하고 있는 단백질의 성분조성, 생물활성 및 열안정성을 검토하여 fiber type에 따른 근섬유의 특성에 대한 정보를 얻고자 하였다.

재료 및 방법

실험재료

식육 생산용 돼지의 longissimus dorsi 근육을 white muscle로, trapezius 근육을 red muscle로 선택하여 지방과 결체조직을 제거한 후 사용하였다.

실험방법

(1) 근원섬유단백질의 조제

Myofibril의 조제는 Yang의 방법^(32,33)을 수정하여 조제하였으며 actomyosin은 szent-Györgyi의 방법⁽³⁴⁾을 이용하여 조제하였다.

(2) ATPase 활성의 측정

ATPase 활성측정은 0.25mg/ml 단백질, 10mM CaCl₂이거나 1mM EDTA 또는 1mM MgCl₂, 25mM Tris-HCl 완충액(pH8.0)의 혼합액을 30°C에서 5분간 반응시킨 후 20% TCA를 첨가하여 ice bath 상에서 반응정지시켰다.

ATPase 활성은 1mg의 단백질에 의하여 1분간 유리 되는 무기인산(Pi)을 μ mole로 표시하였다.

(3) 근원섬유단백질의 열안정성 시험

단백질의 가열처리는 일정 pH, 일정 이온강도로 고정시킨 1mg/ml 단백질용액을 30°C~55°C 사이의 각 온도별로 가열시킨 후 30°C 항온조에서 5분간 반응시켜 효소의 실활을 측정하였다.

(4) SDS-PAGE Slab 전기영동 조건

전기영동분석은 Weber 등⁽³⁵⁾과 Shapiro⁽³⁶⁾에 의해 기술된 방법에 따라 행하였다.

0.1% SDS가 첨가된 12.6% polyacrylamide gel 상에 30mA 전류가 흐르도록하여 실온에서 6.5시간 동안 수직영동시켰다. 전기영동 후 gel은 Coomassie brilliant R-250으로 염색시켰으며, 탈색은 1차 탈색용액(methanol:acetic acid:중류수=25:8:65)에 3-4시간 담가둔 후, 2차탈색용액(methanol:acetic acid:중류수=2:3:35)에서 완전히 탈색시켰다.

단백질분자량측정을 위하여 Sigma marker protein kit(제품번호 MW-SDS-70L)를 사용하였다.

(5) 단백질농도의 측정

단백질농도는 biuret 법에 의하여 측정되었다. 검량선은 bovine serum albumin을 microkjeldahl 법으로 분석하여 작성되었다.

결과 및 고찰

근원섬유구성단백질의 전기영동상의 비교

Billeter 등⁽¹⁰⁾은 인간 골격근의 근원섬유단백질을 전기영동으로 분석한 결과 myosin heavy chain 및 light chain의 전기영동상에서 근섬유 type 간에 차이가 있음을 관찰하였으며, Young 등⁽³⁷⁾도 tropomyosin과 myosin light chain의 전기영동상에서 근섬유 type 간에 서로 차이가 있음을 보고하였다.

Fig. 1은 돼지근육으로부터 조제된 myofibril 및 actomyosin의 전기영동상을 나타낸 것으로 red

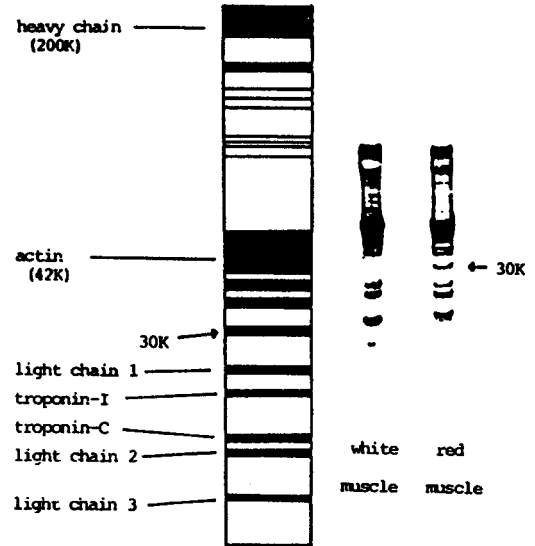


Fig. 1. Comparison of 12.6% SDS-polyacrylamide gel electrophoresis of myofibril from porcine red and white muscle

muscle과 white muscle 사이에 구성단백질의 함량 및 조성에 차이가 있음을 보여주고있다. 특히 red muscle myofibril의 전기영동상에는 30K 성분이 명료하게 나타나고 있다.

Dayton 등⁽³⁸⁾은 troponin-T가 근육의 저장중에 calpain의 작용을 받아 30K 성분을 형성시킨다고 하였다. 스런데, Yang 등⁽³⁹⁾은 소의 red muscle과 소의 심장근의 myofibril에서도 30K 성분이 관찰되었다고 하고 있다. 따라서 30K 성분은 troponin-T의 분해생성물일 가능성은 물론 red muscle myofibril을 특징짓는 성분일 가능성을 동시에 검토하여야 할 것으로 생각되었다. 이와 관련하여 저자들은 현재 각종 포유동물 근육의 red muscle의 근원섬유단백질의 성분조성을 비교 검토하고 있다.

근원섬유단백질의 생물활성의 비교

Myosin ATPase는 고이온강도에서 EDTA에 의하여 활성화되고⁽⁴⁰⁾ 고이온강도에서 활성화되는 actomyosin의 EDTA-ATPase 활성은 myosin 성분에서 유래되는 활성으로 해석할 수 있다^(41,42).

Fig. 2에 나타낸 바와 같이 돼지근육의 actomyosin의 EDTA-ATPase 활성은 이온강도가 높아질수록 활성이 증가되고 있으며, red muscle의 ATPase 활성이 white muscle의 ATPase 활성보다 높게 나타나고 있다. 이러한 결과는 토끼의 근육 및 소의 근육에서 red muscle의 ATPase 활성이 white muscle의 ATPase 활성보다 낮다는 보고^(7,39)와는 상반되고 있다. 또한

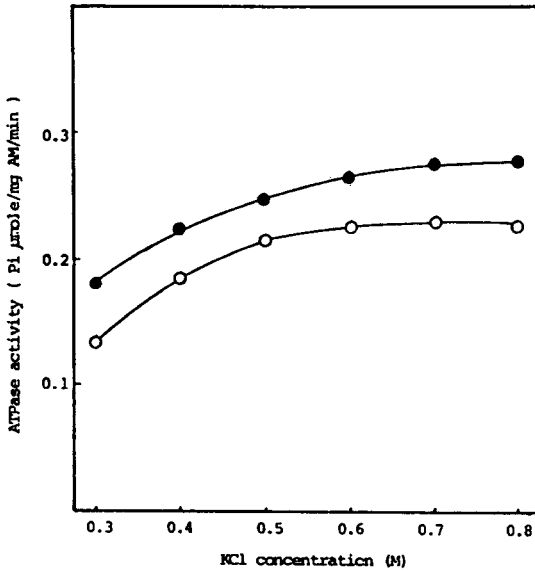


Fig. 2. Effect of KCl concentration on the EDTA-enhanced ATPase activity of actomyosin from white (o) and red (•) muscle

Enz. assay: 25mM Tris-HCl buffer (pH 8.0), 1mM ATP 1mM EDTA, 0.25mg/ml AM

Yang 등⁽³⁹⁾은 닭의 근육의 경우에는 red muscle 과 white muscle 사이에 차이가 없다고 하였다. 따라서 동물의 종류에 따라 red muscle 과 white muscle 의 근수축성단백질의 ATPase 활성은 그 차이를 가질 것으로

추정되었다.

한편, 근수축운동의 energy 변환과 운동기능의 발현은 근원섬유조절단백질과 Ca²⁺에 의하여 조절되며, white muscle 과 red muscle 은 sarcoplasmic reticulum 에서의 Ca-ion 축적능력에 차이가 있는 것으로 알려져있다^(43,44) 따라서 근원섬유단백질의 Ca-ATPase 활성은 근섬유 type 간에 대사속도의 차이 등 생물기능의 차이를 반영할 것으로 생각되었다.

Fig. 3과 Fig. 4에 나타낸 바와 같이 myofibril 및 actomyosin의 Ca-ATPase 활성은 저이온강도에서 높은 활성을 유지하며, red muscle의 Ca-ATPase 활성이 white muscle의 Ca-ATPase 활성보다 현저하게 높은 활성을 보이고 있다. 이러한 결과는 근섬유 type에 따라 Ca-ATPase 활성의 차이를 보이지 않았던 닭의 actomyosin⁽³⁹⁾라는 차이를 보이며, 토끼근육에서 조제된 white muscle actomyosin 쪽이 red muscle 의 그것보다 2~3배의 Ca-ATPase 활성을 갖는다는 Barany 등의 결과⁽⁷⁾와도 상반되고 있다. red muscle 의 ATPase 활성이 white muscle 의 그것보다 높은 사실은 Mg-ATPase 활성의 측정결과로 부터도 확인되었으며(데이터 제시 생략), 넓은 pH 범위에서 유지되고 있다(Fig. 5).

Fig. 5에 나타낸 바와 같이, myofibril의 Ca-ATPase 활성은 pH7.2 및 pH9.0에서 극대활성을, pH8.0에서 극소활성을 나타내는 二相性(biphasic response)을 보였으며, 이러한 경향은 red muscle 과

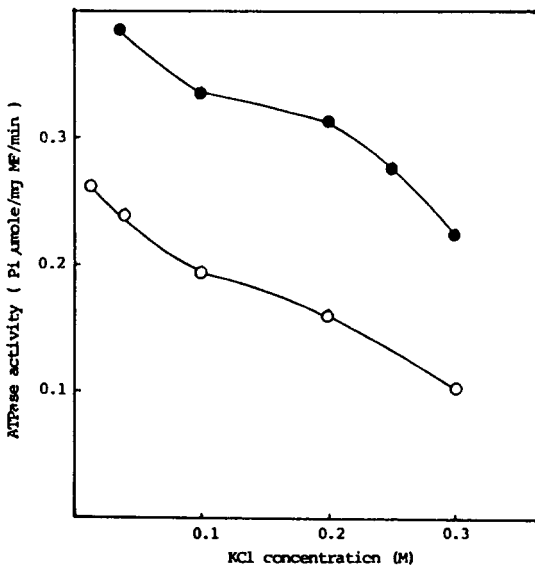


Fig. 3. Effect of KCl concentration on the Ca-activated ATPase activity of myofibril from white (o) and red (•) muscle

Enz. assay: 25mM Tris-HCl buffer (pH 8.0), 1mM ATP 10mM CaCl₂, 0.25mg/ml MF

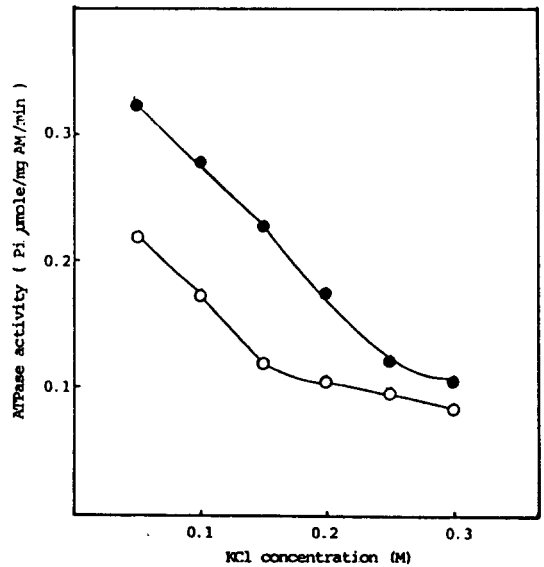


Fig. 4. Effect of KCl concentration on the Ca-activated ATPase activity of actomyosin from white (o) and red (•) muscle

Enz. assay: 25mM Tris-HCl buffer (pH 8.0), 1mM ATP 1mM EDTA, 0.25mg/ml AM

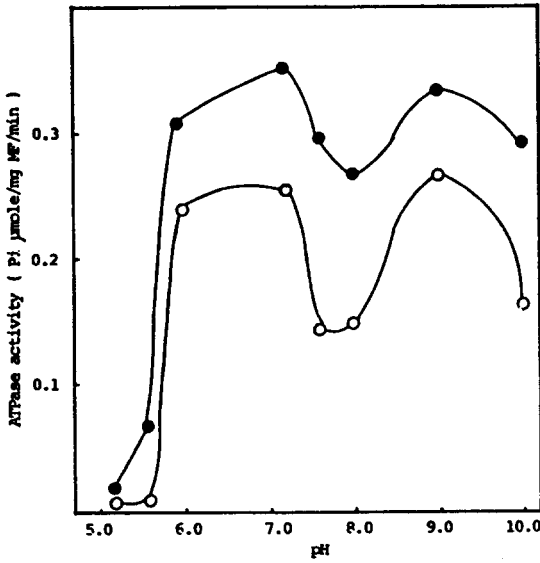


Fig. 5. Effect of pH on the Ca-activated ATPase activity of myofibril from white (o) and red (●) muscle
 Enz. assay: 0.01M KCl, 10mM CaCl₂, 1mM ATP, 0.25mg/ml MF
 Buffer system: pH 5.0-7.0 25mM Tris-maleate buffer
 pH 7.0-9.0 25mM Tris-HCl buffer
 pH 9.0-10.0 25mM Carbonate-bicarbonate buffer

white muscle 에서 동일하게 나타나고 있으며 pH5~10의 범위에서 활성의 세기는 white muscle 보다 red muscle 에서 높게 나타나고 있다. 근섬유 type 간에 활성의 크기는 다르나 활성중심(active site)부위의 functional group들에 있어서는 차이가 없음을 시사해주는 것으로 해석되었다.

이상의 추정은 ATPase 활성에 미치는 유기용매의 영향을 시험한 결과로부터 지지되었다(Fig. 6). 즉 ethanol 첨가시 10%에서 최대활성을 보이는 반면 dioxane 을 첨가했을 때에는 1%에서 최대활성을 나타낸 후 급격한 활성의 저하를 보이고 있다. 이러한 경향은 활성의 세기에 차이를 보이나 red muscle 과 white muscle 의 actomyosin 의 Ca-ATPase 활성은 같은 경향을 나타내고 있다.

유기용매의 종류에 따른 활성의 차이는 각각의 유기용매가 용액의 유전항수에 미치는 영향의 차이에 기인되며, 이에따라 ATPase 의 활성중심부위 변화량도 ethanol 과 dioxane 간에 차이가 있을 것으로 해석되었으나, red muscle 의 actomyosin ATPase 활성과 white muscle 의 actomyosin ATPase 활성이 유전항수의 변화에 대한 반응이 극히 유사하게 나타나므로, actomyosin ATPase 의 활성중심부위의 functional group들과 활성

중심부위의 공간구조에는 근섬유 type 간에 차이가 없는 것으로 추정되었다.

근원섬유단백질의 열안정성

돼지근육의 근원섬유단백질은 구성단백질의 조성에서 red muscle 과 white muscle 에서 차이를 나타냈으며(Fig. 1), ATPase 활성은 활성-pH 곡선 및 유전항수의 변화에 대한 반응에서 동일한 경향을 나타냈으나, red muscle 의 ATPase 활성이 white muscle 의 ATPase 활성보다 높게 나타났다(Fig. 2~Fig. 6). 따라서 이와같은 근섬유간의 차이는 열안정성에서도 나타날 것으로 예상되었다. 또한 근원섬유단백질은 제품의 탄력성 등 육제품의 물성에 결정적 요인이 되고 있으므로^(45,46)근원섬유단백질의 열안정성을 검토하는 것은 육제품의 품질향상에 대한 기초자료가 된다고 생각되었다.

Table 1은 actomyosin ATPase 의 반응초기속도를 나타낸 것이며, Table 2는 actomyosin ATPase 의 반응의 열역학량을 나타낸 것이다.

Table 1에 나타낸 바와 같이, red muscle 의 ATPase 반응속도는 white muscle 의 그것보다, 넓은 온도범위에서 높은 것으로 나타났으며, 반응의 열역학량은 red muscle 쪽이 온도의존성이 높은 것을 보이고 있다(Table 2). 이상의 결과는 근원섬유단백질의 열안

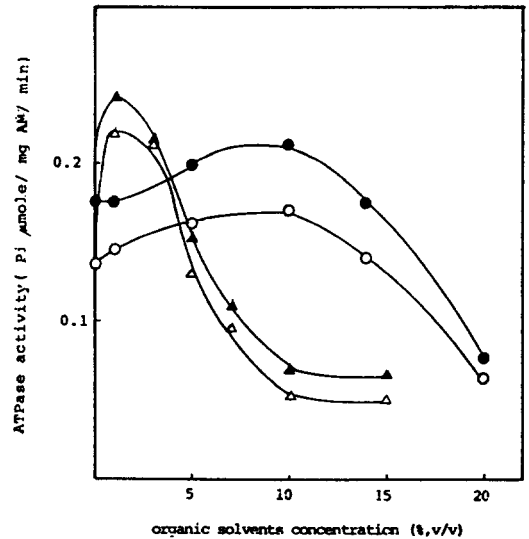


Fig. 6. Effect of organic solvents on the Ca-activated ATPase activity of actomyosin from white (o, Δ) and red (●, ▲) muscle
 Enz. assay: 25mM Tris-HCl buffer (pH 8.0), 10mM CaCl₂, 1mM ATP, 0.125 M KCl, 0.25mg/ml AM
 organic solvents: ethanol (o, ●), dioxane (Δ, ▲)

Table 1. Initial rate of Actomyosin ATPase as a function of temperature

Temperature (°C)	White muscle	Red muscle
30	15.0 × 10 ^{-2a}	16.0 × 10 ^{-2a}
40	22.5 × 10 ⁻²	29.5 × 10 ⁻²
45	30.5 × 10 ⁻²	37.0 × 10 ⁻²
50	38.0 × 10 ⁻²	53.0 × 10 ⁻²
55	45.0 × 10 ⁻²	63.0 × 10 ⁻²

^a: μ moles/mg/min.

정성이 red muscle 과 white muscle 사이에 차이가 있음을 예상시키는 것이었다.

일반적으로 근원섬유단백질의 열안정성에 대한 연구는 actomyosin 이나 myosin 을 대상으로 변성속도상수 (Kd)를 구하여 이루어져 왔으며, Johnston등⁽⁴⁷⁾은 근원섬유의 열안정성을 검토하기 위해 Mg-ATPase 활성을 지표로 하고 있으나 가온에 의한 Mg-ATPase 의 변성기작은 二相性의 상관관계를 나타내기 때문에 정확한 속도를 표현할 수 없는 어려움이 있다고 지적하고 있다⁽⁴⁸⁾. 이에 반하여 Ca-ATPase 활성은 가온에 의한 실험이 일차반응에 따르기 때문에 정확한 속도상수를 비교 검토할 수 있다고 주장되고 있다⁽⁴⁹⁾.

본 연구에서는 red muscle 과 white muscle 로 부터

Table 2. Thermodynamic data for actomyosin ATPase from porcine red and white muscle

muscle type	Ea (cal/mole)	ΔH* (cal/mole)	ΔS* (cal/mole °K)	ΔG* (cal/mole)
white	8,946	8,314	-38.09	20,426
red	11,042	10,410	-31.11	20,302

(45°C)

Table 3. D, Z-value and thermodynamic data for inactivation of actomyosin from porcine red and white muscle

pH	muscle type	D(min)			Z (°C)	Ea (cal/mole)	ΔH* (cal/mole)	ΔS* (cal/mole °K)	ΔG* (cal/mole)
		45°C	50°C	55°C					
6.5	white	29.8	6.6	2.1	7.78	61,355	60,723	126.6	20,458
	red	37.7	5.7	1.9	7.68	60,509	59,877	124.1	20,425
7.5	white	79.6	9.4	2.0	6.27	76,095	75,463	171.6	20,894
	red	72.2	8.2	1.9	6.33	75,363	74,731	169.5	20,830
8.5	white	80.0	7.6	2.1	6.28	75,990	75,358	171.3	20,894
	red	71.7	6.7	1.9	6.36	75,162	74,530	168.9	20,820

(45°C)

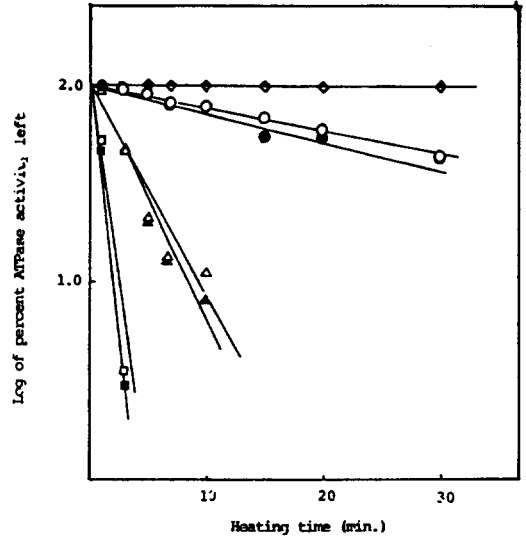


Fig. 7. Rate of inactivation of actomyosin from red (●, ▲, ■, ◆) and white (○, △, □, ◇) muscle as a function of time during heating at various temperature. Heating cond.: 25mM Tris-HCl buffer (pH 7.5), 0.5 M KCl, 1mg/ml AM

얻은 actomyosin ATPase(Ca-ATPase)의 변성속도를 각온도별로 pH7.5(Fig. 7), pH6.5(테이타는 계제 생략) 및 pH8.5(테이타는 계제 생략)에서 구하였다.

Fig. 7에 나타낸 바와 같이 actomyosin ATPase 의 열변성은 일차반응속도식으로 나타낼 수 있었으며, 계산된 열역학량은 red muscle 과 white muscle 사이에 차이를 보이고 있다(Table 3). 즉, 산성(pH6.5), 중성쪽(pH7.5) 및 약알카리쪽(pH8.5)에서 red muscle 의 D 값이 white muscle 의 그것보다 작아 열안정성이 낮은 것으로 나타나고 있다.

이 결과는 white muscle 의 actomyosin 이 산성에서 불안정하고 알카리영역에서 안정하나, red muscle 의 actomyosin 은 산성에서 안정하고 알카리영역에서 불

Table 4. D,Z-value and thermodynamic data for inactivation of myofibril adjusted to 0.6 M with 1.16M KCl

pH	muscle type	D(min)			Z (°C)	Ea (cal/mole)	ΔH* (cal/mole)	ΔS* (cal/mole °K)	ΔG* (cal/mole)
		45°C	50°C	55°C					
6.5	white	73.0	12.8	4.7	8.60	57,457	56,825	113.1	20,859
	red	66.7	9.8	3.6	8.17	60,949	60,317	124.3	20,790
7.5	white	129.0	20.0	4.0	6.63	71,592	70,960	156.5	21,193
	red	122.0	14.7	2.8	6.22	77,715	77,083	175.9	21,193
8.5	white	107.0	19.6	4.2	7.01	66,380	65,748	140.5	21,069
	red	72.0	12.5	3.5	7.97	62,651	62,019	129.5	20,838

(45°C)

안정하다는 Guth 등의 보고⁽⁶⁰⁾와는 모순되고 있으나, 토끼근육을 대상으로 한 Guth 등의 결과와의 차이는 동물의 종류에 따른 차이일 수도 있다고 추정되었다. 그러나 Table 3의 결과는 알카리영역에서는 근원섬유단백질의 열변성이 온도에만 의존하는 형태로 나타난다는 Yasui 등의 보고⁽⁶¹⁾와는 일치하고 있다.

이러한 결과는 actomyosin보다 생체조직에 보다 가까운 형태인 0.6 M KCl 처리 myofibril(myofibril)을 0.6 M KCl 용액에서 48시간 처리)의 결과(Table 4)로부터도 확인되었다. 즉, red muscle myofibril이 white muscle myofibril보다도 변성속도가 빨랐으며, 약산성 영역에서의 변성속도가 중성 및 약알칼리 영역보다 빨랐다.

Table 3과 Table 4의 결과로부터 생체조직에 가까운 근원섬유의 형태가 더욱 안정하다는 사실도 확인되었다.

요 약

근원섬유구성단백질의 SDS-polyacrylamide gel 전기영동상으로부터 돼지근육의 red muscle과 white muscle의 근원섬유단백질사이에는 30K 성분함량의 특징적 차이가 나타났으며, 생물활성에서도 red muscle쪽이 white muscle쪽보다 높은 ATPase 활성을 나타내었다.

근원섬유단백질의 열안정성은 D 값에서 확실한 차이를 보여 white muscle쪽이 red muscle쪽보다 높은 열안정성을 나타냈고, 열역학량에서도 근섬유 type 간의 차이를 보였다.

한편 근원섬유단백질의 열안정성은 생체조직에 가까운 형태일수록 안정하다는 사실도 확인되었다.

감사의 말

본 연구는 근섬유의 특성에 관한 비교생화학적 연구

의 제4보로 1983년도 후반기 한국과학재단 연구비로 수행된 것이다. 저자들은 연구비를 지원하여 준 한국과학재단에 심심한 사의를 표하는 바이다.

문 헌

1. Smith, D.S., in *Electron Microscope Anatomy*, Kurtz, S.M. (ed.), p.267, (1964)
2. Beecher, G.R., Cassens, R.G., Hoe, W.C. and Briskey, E.J.: *J. Food Sci.*, **30**, 969 (1965)
3. Ogata, T.: *J. Biochem.*, **47**, 726 (1960)
4. Owen, J.A. and Lawrie, R.A.: *J. Food Tech.*, **10**, 169 (1975)
5. Reis, D.J., Moorhead, D. and Wooten, G.F.: *Amer. J. Physiol.*, **217**, 541 (1969)
6. Wu, C.C., *Biochemistry*, **8**, 39 (1969)
7. Melton, C.C., Dikeman, M.E., Tuma, H.J. and Kropf, D.H.: *J. Anim. Sci.*, **40**, 451 (1975)
8. Barany, M., Barany, K., Reckard, T and Volpe, A.: *Arch. Biochem., Biophys.*, **109**, 185 (1965)
9. Lewis, P.K., Jr., Brown, C.J. and Heck, M.C.: *J. Anim. Sci.*, **45**, 254 (1977)
10. Billetter, R., Heizmann, C.W., Howard, H. and Jenny, E.: *Eur. J. Biochem.*, **116**, 389 (1981)
11. Yong, O.A. and Dawey, C.L.: *Biochem. J.*, **195**, 317 (1981)
12. Lazarus, C.R. and West, P.L.: *J. Anim. Sci.*, **42**, 253 (1976)
13. May, M.L., Dikeman, M.E. and Schalles, R.: *J. Anim. Sci.*, **44**, 571 (1977)
14. Hunt, M.C. and Hedrick, H.B.: *J. Food Sci.*, **42**, 513 (1977)
15. Bendall, J.R.: *J. Sci. Food Agr.*, **25**, 55 (1975)
16. Hitchcock, S.E., Huxley, H.E. and Szent-Györgyi,

- A.G., *J. Mol. Biol.*, **80**, 825 (1973)
17. Head, J.F., Weeks, R.A. and Perry, S.V., *Biochem. J.*, **161**, 465 (1977)
 18. Kuroda, M. and Maruyama, K., *J. Biochem. (Tokyo)*, **80**, 323 (1976)
 19. Porzio, M.A. and Pearson, A.M., *Biochim. Biophys. Acta*, **490**, 27 (1977)
 20. Porzio, M.A., Pearson, A.M. and Cornforth, D.P., *Meat Sci.*, **3**, 31 (1979)
 21. Watterson, D.M., Sharief, F. and Vanaman, T.C., *J. Biol. Chem.*, **255**, 962 (1980)
 22. Fujii, K. and Maruyama, K., *Biochem. Biophys. Res. Commun.*, **104**, 633 (1982)
 23. Lusby, M.L., Ridpath, J.F., Parrish, F.C., Jr. and Robson, R.M., *J. Food Sci.*, **48**, 1783 (1983)
 24. Wang, K. and Ramirez-Mitchell, R., *Biophys. J.*, **33**, 21a (1981)
 25. Robson, R.M., Oshea, J.M. and Huiatt, T.W., *J. Food Biochem.*, **8**(1), 1 (1984)
 26. Osborn, M. and Weber, K., *Cell*, **31**, 303 (1982)
 27. Geisler, N. and Weber, K., *Eur. J. Biochem.*, **111**, 425 (1980)
 28. Potter, J.D. and Gergely, J., *J. Biol. Chem.*, **250**, 4628 (1975)
 29. Offer, G., Moos, C. and Starr, R., *J. Mol. Biol.*, **74**, 653 (1973)
 30. Briskey, E.J. and Fukajawa, T., *Advances in Food Research*, Vol. **19**, Academic Press, New York, p.279 (1971)
 31. Morimoto, K. and Harrington, W.F., *J. Mol. Biol.*, **77**, 165 (1973)
 32. Yang, R., Okitani, A. and Fujimaki, M., *Agri. Biol. Chem.*, **36**, 2087 (1972)
 33. 양용, 김철재, 문윤희, 유주현, 한국식품과학회지 6권 79(1974)
 34. Szent-Györgyi, A., "The chemistry of muscular contraction" 2nd. rev. ed., Academic Press, New York p.21 (1951)
 35. Weber, K. and Osborn, M., *J. Biol. Chem.*, **244**, 4406 (1969)
 36. Shapiro, A.L., Vinuela, E. and Maizel, J.V., *Biochem. Biophys. Res. Commun.*, **28**, 815 (1967)
 37. Young, O.A. and Davey, C.L., *Biochem. J.*, **195**, 317 (1981)
 38. Dayton, W.R., Olson, D.G., Parrish, F.C. and Goll, D.E., *J. Food Sci.*, **42**, 117 (1977)
 39. 양용, 신완철, 오두환, 진홍승, 김기태, 한국식품과학회지, **18**(3), 173(1986)
 40. Friess, E.T., *Arch. Biochem. Biophys.*, **51**, 17 (1954)
 41. Offer, G.W., *Biochem. Biophys. Acta*, **89**, 556 (1964)
 42. Bowen, W.J. and Kerwin, T.B., *J. Biol. Chem.*, **211**, 237 (1954)
 43. Dayton, N.R., Goll, D.E., Zeese, M.G., Robson, R.M. and Reville, W. J., *Biochem.*, **15**, 2150 (1976)
 44. Sreter, F.A. and Gergely, J., *Biochem. Biophys. Res. Commun.*, **16**, 438 (1964)
 45. Veis, J., *Biochem. J.*, **67**, 410 (1954)
 46. Kerlv, M. and Ottawav, J.H., *J. Physiol.*, **123**, 534 (1954)
 47. Johnston, I.A., Freason, N. and Goldspink, G., *Biochem. J.*, **133**, 735 (1973)
 48. Hashimoto, A. and Arai, K., *Bull. Japan. Soc. Sci. Fish.*, **50**(5), 853 (1984)
 49. Hashimoto, A., Kobayashi, A. and Arai, K., *Bull. Japan. Soc. Sci. Fish.*, **48**(50), 671 (1982)
 50. Guth, L. and Watson, P.K., *Exp. Neurol.*, **17**, 107 (1967)
 51. Yasui, T., Ishioroshi, M. and Samejima, K., *Kagaku to Seibutsu*, **19**(5), 337 (1981)
 52. 신완철, 오두환, 진홍승, 김기태, 양용, 한국식품과학회지, **18**(3), 181 (1986)
 53. 양용, 신완철, 오두환, 진홍승, 김기태, 한국식품과학회지, **18**(3), 226 (1986)

(1986년 7월 23일 접수)