J. Korean Soc. Food Nutr.
21 (6), 712 ~ 718 (1992)

한국영양식량학회지

사후강직형태에 따른 근원섬유 단백질의 이화학적 성질변화

김대곤† · 성삼경*

신일전문대학 식품영양과
*영남대학교 식품가공학과

Postmortem Changes in the Myofibrillar Proteins of Alkaline and Acid Rigor Rabbit Muscle during Storage

Dae-Gon Kim† and Sam-Kyung Sung*

Dept. of Food Science and Nutrition, Shinil Junior College, Taegu 706-022, Korea
**Dept. of Food Science and Technology, Yeungnam University, Kyongsan 712-749, Korea*

Abstract

This experiment was carried out to investigate some physico-chemical properties of myofibrillar proteins isolated from alkaline and acid rigor muscles of rabbit. The degree of fragmentation was about 0.35 at 3 days of postmortem in acid rigor muscle fiber, whereas it was only 0.3 at 7 days of postmortem in alkaline rigor muscle fiber. Mg^{2+}-activated ATPase activities of actomyosin were increased to the highest level at 1st day in acid rigor and at 3rd day in alkaline rigor muscle fiber. Ca^{2+}-activated ATPase activities of actomyosin were slightly increased at postmortem. Mg^{2+}-, and Ca^{2+}-activated ATPase activities were higher in alkaline rigor muscle than those in acid rigor muscle at postmortem. Solubility of actomyosin increased with postmortem but no differences were observed in rigor types. SDS-PAGE (sodium dodecyl sulfate polyacrylamide gel electrophoresis) band patterns of myofibrils did not show significant differences between rigor types, but newly 30,000 dalton proteins were appeared at 3 day postmortem in both rigor types.

Key words : rigor types, fragmentation, ATPase, SDS - PAGE

서 론

골격근은 도살직후에는 신전성이 풍부하지만 시간의 경과에 따라 사후강직을 일으켜 굳어지며 생체의 근육과는 물성이 크게 달라진다. 이것은 사후근육내에서 일어나는 가장 두드러진 변화이다[1]. Bendall[2]은 마취시켜 도살한 가축의 근육에서는 creatine phosphate, ATP 함량 및 pH가 높게 유지되었다가 사후시간의 경과와 함께 서서히 떨어지는데 비하여, 도살전에 피로에 지치게 하거나 insulin 또는 adrenalin을 주사하게 되면 사후 pH 저하가 거의 없이 사후 전기간 동안 약 7.2의 높은 pH를 유지하게 되고, 도살직후에 골격근이 상당한 단축을 동반하는 강직이 일어난다고 하였다. 이러한 현상을 알카리강직이라고 하였고, 전자의 경우를 산강직이라고 하였다. Bendall의 이러한 지적에도 불구하고, 그 이후의 식품과학 수준에서의 근육 사후변화에 관한 연구는 엄밀한 의미에서 조건설정이 되어 있지 않았으며, 대부분이 산강직을 경과한 것을 전제

†To whom all correspondence should be addressed

로 하고 연구되어져 왔다. 실제로 Bendall의 지적처럼 현장에서, 그리고 사냥한 짐승의 육에서 많이 볼 수 있는 알카리 강직상태에 관한 연구는 도외시 되어 왔다. 따라서 본 연구는 육의 사후변화 과정을 엄밀히 분석 검토하기 위하여 강직형태에 따른 근원섬유 단백질의 물리화학적인 변화를 분석 검토하였기에 보고한다.

재료 및 방법

시료의 처리

알카리 강직근의 유발은 Bate-Smith 와 Bendall[3]의 방법에 따라 처리하였다. 즉 건강하게 사육된 토끼를 24시간 동안 절식시키고 체중 kg 당 100IU의 insulin (동신제약)을 복부에 주사하였다. Insulin 주사 후 5시간 지난 뒤에 경동맥 절단법으로 도살하였다. 산강직근은 토끼를 도살 전 12시간 동안 절식시키고 sodium pentabarbital d-tubocurarine chloride로 마취시켜 같은 방법으로 도살하였다. 도체는 양 처리구 공히 polyethylene 주머니에 넣어 4°C의 저온실에서 7일간 저장하면서 정해진 시간마다 시료를 채취하였다. 사후 0 시간의 시료는 도살 후 30분 이내에 채취하였다.

Myofibril 과 actomyosin의 조제

Myofibril은 Perry 와 Corsi[4]의 방법에 따라, actomyosin은 Szent-Györgi[5]의 방법에 따라 조제하였다. 조제한 시료는 사용하기 전까지 50% glycerol-myofibril 및 50% glycerol-actomyosin 현탁액으로 -20°C 이하에서 저장하였다.

pH 측정

시료 5g에 50mM sodium iodoacetate 액(pH 7.0)을 5배 가하고, homogenizer (Virtis 45, USA)로 3분간 현탁한 후 유리전극 pH meter (Metrohm 632, Swiss)로 측정하였다.

근섬유 소편화도 측정

Takahashi 등[6]의 방법을 약간 수정하여 시료 2g에 20배액의 0.1M KCl - borate (0.1M KCl, 39mM borate, 5mM EDTA, pH 7.0)용액을 가하고 homogenizer에서 10,000rpm의 속도로 60초간 현탁시킨 후 위상차 현미경에서 600배로 관찰하였다. 소편화지수는 1~4근절로 구성된 근섬유의 소편 ([F])을 전체 근섬유와 근섬유소편의 총수 ([Σ]) 에 대한 비율로 표시하였다.

ATPase 활성 측정

조제한 actomyosin의 ATPase 활성은 25°C에서 다음 반응계로 측정하였다. 즉 1mM $MgCl_2$ 또는 10mM $CaCl_2$, 1mM EDTA, 1mM ATP, 0.1M KCl-20mM tris-maleate buffer (pH 7.0), 0.5mg/ml actomyosin에서 3분간 반응시킨 후 등량의 미리 냉각시킨 10% TCA액을 첨가하여 반응을 중지시켜 유리된 무기인을 Fiske-Subbarow[7] 방법으로 측정하였다.

용해도 측정

1M KCl 용액과 1mg/ml 농도의 actomyosin을 등량 혼합하여 5분간 교반한 후 1000×g 에서 10분간 원심분리하여 상등액을 280nm에서 흡광도를 측정하였다.

전기영동

조제한 myofibril로 Weber 와 Osborn[8]의 방법에 따라 전기영동을 실시하였다.

단백질 농도 측정

단백질 농도는 bovine serum albumin을 표준으로 하고, Biuret 방법[9]에 따라 측정하였다.

결과 및 고찰

강직형태에 따른 저장중의 pH 변화

Fig. 1은 강직형태에 따른 사후 pH 변화를 나타낸 것이다. 산 강직근의 경우, 도살직후에 pH가 6.9 부근에서 사후 1일째에 5.9로 크게 떨어진 반면 알카리 강직근은 사직후 7.1에서 저장 전기간 동안 pH 변화가 거의 없었다. 이러한 변화는 Bate - Smith 와 Bendall[10], 성[11]의 결과와 잘 일치하고 있다. 알카리 강직근의 유발을 위해 도살전에 insulin 을 주사하면 근육내 pH 증가와 glycolysis의 증가로 인해 사후 pH 변화가 거의 없거나 높은 수준으로 유지된다고 한 Moore[12]의 결과와도 일치하고 있다. 사후 pH 변화는 도체내에서 일어나는 여러가지 물리화학적 변화의 지표로 중요하다[13]. 사후 도체는 체온과 조직형태를 유지할려는 힘이 작용하고 이것을 위해 근육운동의 에너지원인 ATP를 분해하게 된다. 사

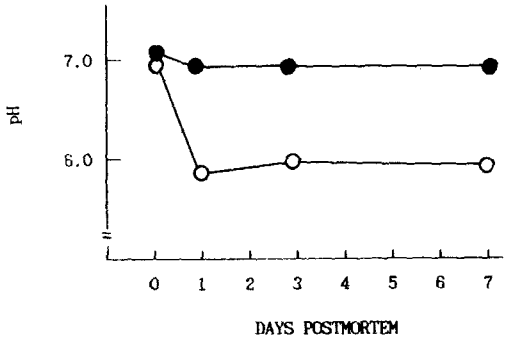

Fig. 1. Changes of pH declines of *rabbit longissimus thoracis* muscle.
○—○ ; acid rigor, ●—● ; alkaline rigor

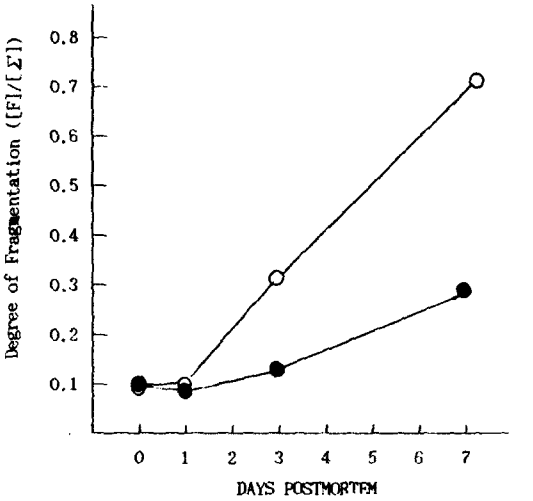

Fig. 2. Changes in the fragmentation of myofibrils during postmortem storage.
At appropriated times, postmortem muscle fibers were homogenized at 10,000 rpm for 60 sec, and [F]/[S] values were measured at 600 times magnification.
○—○ ; acid rigor, ●—● ; alkaline rigor

후 TCA cycle에 의한 ATP 공급경로가 막히게 되어 ATP 농도가 저하되면 creatine phosphate(CP) 와 glycolysis로부터 ATP가 공급되는데, glycolysis로부터의 ATP 공급은 젖산을 생성시키고 이것이 사후 근육내에 축적한다[2]. 소, 돼지, 염소, 토끼의 경우 사후 근육내 젖산 농도가 6~16μmol/g 이지만, 사후 24시간에는 80~100μmol/g-이 되어 pH 저하를 초래하게 된다[14,15].

한편 사후 pH 변화, 즉 강직형태에 따라 강직의 정도가 달라진다고 알려져 있는데, 사후강직은 산성 보다 알카리쪽에서 강도도 세고, 개시시간도 짧다고 한다[2,16]. 따라서 사후강직 형태에 따라서 근섬유의 소편화에도 차이가 있을 것으로 보고 근섬유의 소편화도를 측정하여 보았다.

근섬유 소편화도의 변화

저장기간중 강직형태에 따른 근섬유의 소편화도는 Fig. 2에 나타내었다. 산 강직근의 경우 사후 시간의 경과에 따라 소편화가 크게 진행되어 저장 3일째와 7일째에 각각 0.35,.0.75에 이르렀으나, 알카리 강직근의 경우 소편화의 진행 속도가 느려서 저장 3일째에 0.15, 저장 7일째에 0.3 정도의 수준이었다. 이러한 결과는 Fukazawa[17], 성[11] 등의 결과와 수치에서는 차이가 나지만 그 경향은 유사하였다. 수치의 차이는 실험방법상의 차이에 기인 하는 것으로 생각된다. 또한 Sayre 등[18]은 닭을 도살하기전에 glycogen을 고갈시켰을 경우 사후 24시간 숙성시켜도 소편화 정도는 매우 적었다고 하였다. Takahashi 등[6]은 닭의 흉근을 5°C에서 저장한 경우 시간의 경과에 따라 1~4개의 근절로 형성된 근섬유의 소편이 형성된다고 하였으며, Parrish[19] 와 Culler[20]는 sarcomere의 길이 변화나 collagen 단백질의 변화보다도 근섬유의 소편화도가 고기의 연도에 있어서 더 크게 작용한다고 하였다. 또한 산 강직근의 경우에 있어서 Davey 등[21]은 강직개시기에 근육을 stretch 하는데 필요한 장력은 2kg/cm² 이지만 숙성중에는 5~10배 감소하며 이러한 장력의 감소는 I filament 와 Z-line 의 접합부위가 약화되기 때문이라고 하였다.

근섬유의 소편화원인에 대하여 Hattori[22] 등과 高橋[23]는 사후 강직시에 수축으로 발생하는 장력이 Z-line에 지속적으로 작용하기 때문이라고 하였고, 또한 근세포내 Ca^{2+}이온이 근세포의 결합능력 저하에 따라 유리되므로 사후에 증가하여 1×10^{-5}M 이상이 되면 Z-line에 지속적으로 작용하기 때문이라고 하였다. 그리고 Bush 등[24]과 Suzuki 등[25]은 calcium-activated factor (CAF)의 작용에 의하여 Z-line이 붕괴되므로 소편화가 일어난다고 하였다. 그러나 강직시에 근육의 수축으로 발생하는 장력이 더 크다는 사실[9]로 미루어 볼 때 이것에 의한 소편화 현상은 설명하기 어렵다고 볼 수 있다. Ca^{2+}이온 작용설에 대하여서는 성 등[11]의 연구에서 알카리 강직근의 근장에 Ca^{2+}이온을 첨가하여도 소편화에 거의 변화가 없었으며 소편화가 단순히 Ca^{2+}이온만으로 촉진되지 않는다고 하였다. CAF 작용에 의한 소편화설은 Takahashi 와 성 등이 근장내에 CAF의 단백분해 작용을 완전히 억제하는 iodoacetate를 첨가하여

도 소편화가 진행된다는 사실과 CAF의 효소활성 pH의 존성이 7.0에서 최대를 나타낸다는 사실[26] 및 본 실험의 결과에서와 같이 알카리 강직근의 pH가 사후 전저장 기간동안 7.0 정도의 높은 수준이었음에도 산 강직근에 비하여 소편화도가 낮았다는 사실등으로 미루어 볼 때 CAF에 의한 소편화 진행설은 이해가 되지 않는다고 할 수 있다.

Actomyosin의 ATPase 활성변화

근원섬유 단백질의 변성지표로 이용되는 Mg^{2+}-ATPase 와 myosin 단백질의 변성정도를 나타내는

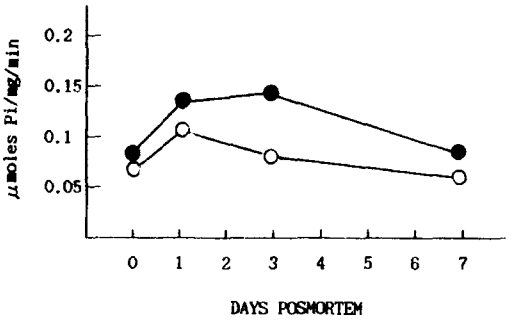

Fig. 3. Changes in Mg^{2+}-ATPase activity of actomyosin during postmortem storage.
Conditions for measuring ATPase activity : Concentration of actomyosin : 0.5mg/ml.
Concentration of ATP : 1mM ATP in 1mM $MgCl_2$., 0.1M KCl -20mM Tris-maleate buffer, pH 7.0. Reaction temperature : 25°C
○—○ ; acid rigor, ●—● ; alkaline rigor

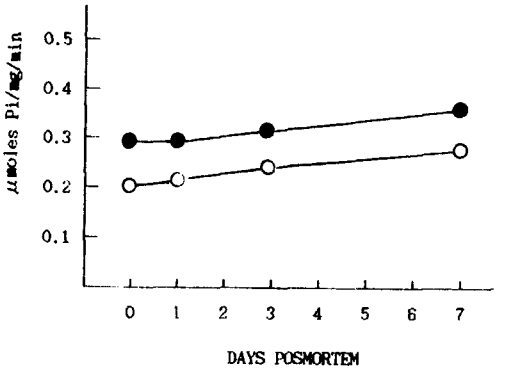

Fig. 4. Changes in Ca^{2+}ATPase activity of actomyosin during postmortem storage.
Conditions for measuring ATPase activity : Concentration of actomyosin : 0.5mg/ml.
Concentration of ATP : 1mM ATP in 10mM $CaCl_2$. 0.1M KCl -20mM Tris-maleate buffer, pH 7.0. Reaction temperature : 25°C
○—○ ; acid rigor, ●—● ; alkaline rigor

Ca^{2+}-ATPase를 측정하여 본 결과는 Fig. 3 및 Fig. 4 와 같았다. 알카리 강직근의 Mg^{2+}-ATPase 활성은 저장 1일째와 3일째까지 증가한 반면, 산강직근의 경우 저장 1일째 증가하였다. 이후 저장 7일째와 3일째부터 각각 0 일 수준으로 떨어졌는데, 이러한 사후 저장기간에 따른 Mg^{2+}-ATPase 활성 변화 양상은 Fujimaki 등[27], Herring 등[28], Cheng 등[29] 등의 결과와 일치하고 있다. 저장중 ATPase 활성이 다르게 나타나는 것은 수축성 단백질에 어떠한 변화가 일어났음을 시사하게 되는데[27], Herring 등[28]은 사후 24시간 지난 근육에서 조제한 actomyosin의 Mg^{2+}-ATPase 활성은 죽은 직후의 근육에서 조제한 것보다 높았으며 이것은 myosin과 actin의 강한 결합을 나타내는 것이라고 하였다. 또한 Goll 등[30]은 소 근육으로부터 사후 1일째와 13일째의 Mg^{2+}-ATPase 활성을 측정한 결과 저장 1일째에는 증가하였으나 저장 13일째에는 0 일 수준으로 떨어진다고 하였으며, 이것은 myosin-actin 상호작용이 저장 13일째에는 해리되었음을 시사하는 것이라고 하였다. 본 실험의 결과도 이들의 견해와 일치하고 있다.

본 실험의 결과 전 저장기간 동안 알카리 강직근이 산 강직근 보다 월등하게 높게 나타났는데, 이것은 actomyosin을 저온에서 낮은 pH에 저장하면 myosin A와 actin 사이의 결합력이 점차 약해지고 저장기간이 길어질수록 비가역적인 해리가 일어난다고 한 사실[31]과 일치된다고 할 수 있다. 즉 알카리 강직근이 산 강직근 보다 myosin-actin 간의 상호작용이 더 크게 작용하는 것으로 해석될 수 있다.

한편, Ca^{2+}-ATPase의 활성변화를 보면 산, 알카리 강직근 모두 경시적으로 약간 증가하는 경향이었으나 큰 변화는 없었다. 다만 알카리 강직근이 산 강직근 보다 높은 활성을 나타내었다.

Actomyosin 의 용해도 변화

Fig. 5는 저장기간에 따른 actomyosin의 용해도 변화를 나타내고 있다. 산 강직, 알카리 강직 구별없이 전 저장기간 동안 용해도는 계속 증가하고 있으며, 강직형태에 따른 용해도의 차이는 없었다. 이러한 결과는 여러 연구자들의 결과와 일치하고 있다[29,32-34]. Penny[32]와 Davey 등[36]은 토끼육을 4°C에서 저장하였을 경우 전 저장기간 동안 용해도는 증가하는데 이것은 숙성이 진행됨에 따라 단백분해효소의 작용으로 tropomyosin이 가수분해 되어 Z-line이 파괴됨에 기인한다고 하였

으며, 숙성이 진행됨에 따라 actin 과 myosin의 함량이 증가된다고 하였다. 그러나 본 실험의 결과에서 Fig. 6에 나타낸 전기영동상에서의 이러한 함량 변화에 관한 유의성은 인정되지 않았다.

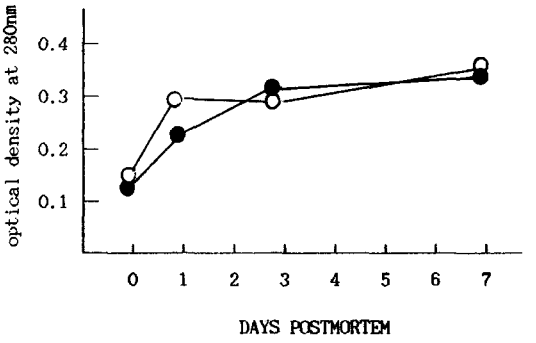

Fig. 5. Changes in solubility of actomyosin during postmortem storage.
Solubility : 1mg/ml protein in 1M KCl concentration.
○—○ ; acid rigor, ●—● ; alkaline rigor

Myofibril 의 전기영동

Fig. 6은 저장기간별로 추출한 myofibril 단백질을 전기영동(SDS-PAGE, sodium dodecyl sulfate polyacrylamide gel electrophoresis)한 것이다. 전기영동한 결과로는 강직형태에 따른 차이는 발견할 수 없었다. 다만 두가지 모두 저장 3일째부터 troponin-T의 분해 산물이라고 밝혀진 30,000dalton 성분이 나타났다. 이러한 30,000dalton 성분의 생성에 대하여 Matsumoto 등[37]은 Cathepsin D의 작용에 기인한다고 하였으며, Olson 등[38] 과 Cheng 등[29]은 CAF의 작용에 기인한다고 하였다. 그러나 Okitani 등[39]은 cathepsin D는 troponin-T로부터 30,000dalton 성분을 분해시키는데 이것의 작용은 pH 4.0~6.0 범위에서 작용한다고 하였으며, Dayton 등[40]은 CAF의 최적활성 pH 범위가 7.0~7.5 라고 하였다. 따라서 본 실험의 결과 양 실험구 공히 30,000dalton 성분이 나타난 것으로 보아 산 강직근에서는 cathepsin D 가알카리 강직근에서는 CAF가 작용한 것으로 추측이 되나 이에 관한 연구는 더 진행되어져야 한다고 생각된

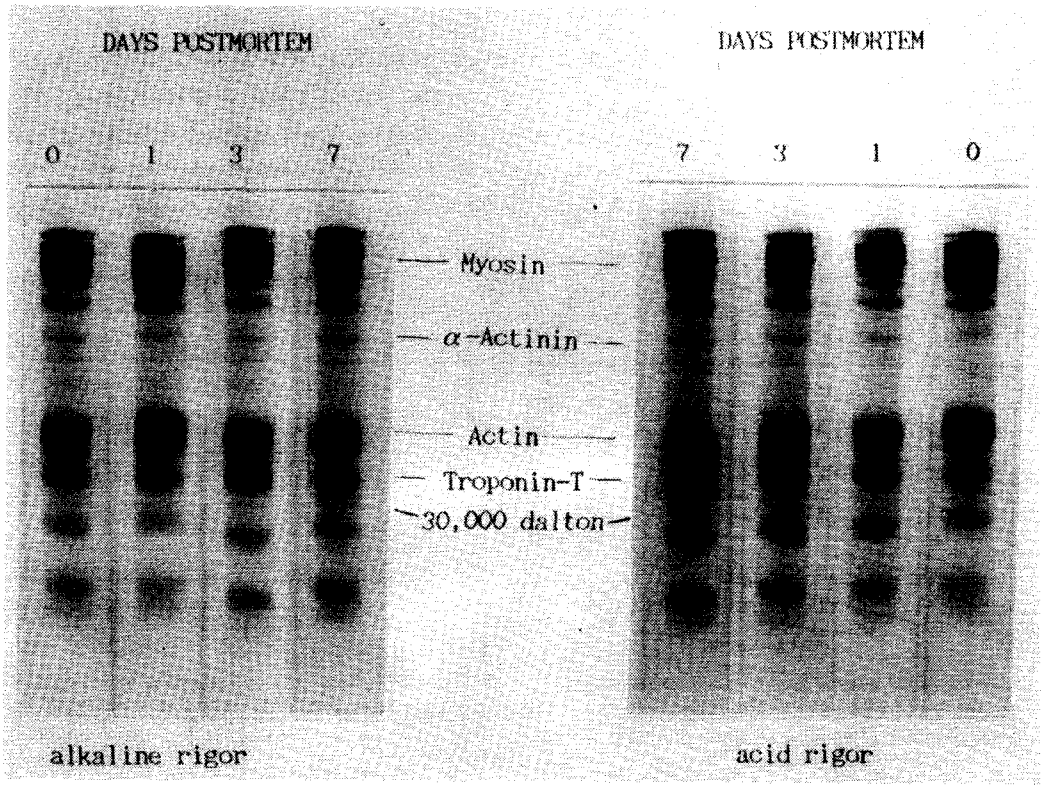

Fig. 6. SDS-PAGE of myofibrils during postmortem storage.
Electrophoresis was performed to 7.5% polyacrylamide gel at a constant current of 8mA/gel for 4hr with 0.1% SDS, 0.1M sodium phosphate buffer (pH 7.0). Gels were stained in CBB staining solution.

다. 또한 소편화도에 있어서 강직형태에 따라 큰 차이가 있었음에도 불구하고 전기영동의 결과는 차이가 없었음도 주목할 만 하다.

요 약

산 강직근과 알카리 강직근의 사후 저장중 물리, 화학적 변화를 비교 검토하였다. 근섬유의 소편화도는 산 강직근이 알카리 강직근에 비하여 저장 3일째부터 월등히 높았다. Mg^{2+}-ATPase 활성은 알카리 강직근이 저장 전기간 동안 산 강직근 보다 높았으며, 산 강직근은 저장 1일째, 알카리 강직근은 저장 3일째에 가장 높았다. Ca^{2+}-ATPase 활성에 있어서 산 강직근과 알카리 강직근 모두 전 저장기간 동안 약간 증가하는 경향이었으나 산 강직근은 알카리 강직근 보다 전기간 동안 활성도가 낮았다. Actomyosin의 용해성이나 myofibril의 전기영동상은 강직 형태에 따른 유의한 차이가 없었다.

문 헌

1. Judge, M. D., Aberle, E. D., Forrest, J. C., Hedrick, H. B. and Merkel, R. A. : *Principles of meat science.* 2nd ed., Kendall/Hunt Publishing Company, p.97 (1989)
2. Bendall, J. R. : Postmortem changes in muscle. In "*The structure and function of muscle.*" Bourne G. H. (ed.), Academic Press, New York, p.243 (1973)
3. Bate-Smith, E. C. and Bendall, J. R. : Changes in muscle after death. *British Medical Bulletin*, **12**, 230 (1956)
4. Perry, S. V. and Corsi, S. : Extraction of proteins other than myosin from the isolated rabbit myofibril. *Biochem. J.*, **68**, 5 (1958)
5. Szent-Györgi, A. : *Chemistry of muscular contraction.* 2nd ed., Academic Press, New York, p.192 (1951)
6. Takahashi, K., Fukazawa, T. and Yasui, T. : Formation of myofibrillar fragments and reversible contraction of sarcomeres in chicken pectoral muscle. *J. Food Sci.*, **32**, 409 (1967)
7. Fiske, C. H. and Subbarow, Y. : The colorimetric determination of phosphorous. *J. Biol. Chem.*, **66**, 375 (1925)
8. Weber, K. and Osborn, M. : The reliability of molecular weight determinations by dodecyl sulfate-polyacrylamide gel electrophoresis. *J. Biol. Chem.*, **244**, 4406(1969)
9. Gornall, A. G., Bardwill, C. J. and David, M. M. : Determination of serum proteins of the biuret reaction. *J. Biol. Chem.*, **177**, 751 (1949)
10. Bate-Smith, E. C. and Bendall, J. R. : Factors determining the time course of rigor mortis. *J. Physiology*, **110**, 47 (1949)
11. Sung, S. K. and Izumi, K. : Fragmentation of alkaline rigor muscle and effect of calcium ion and pH on the fragmentation of glycerinated muscle fiber. *Korean J. Anim. Sci.*, **24**, 209 (1982)
12. Moore, R. D., Fidelman, M. L. and Seeholzer, S. H. : Correlation between insulin action upon glycolysis and change in intracellur pH. *Biochem. Biophysi. Research Commu.*, **91**, 905 (1979)
13. Greaser, M. L. : Conversion of muscle to meat. In "*Muscle as food*" Bechtel, P. J. (ed.), Academic Press, New York, p.37 (1986)
14. Brisky, E. J. and Wismer-Pederson, J. : Biochemistry of pork muscle structure. I. Rate of anaerobic glycolysis and temperature change versus the apparent structure of muscle tissue. *J. Food Sci.*, **26**, 297 (1961)
15. Hallund, O. and Bendall, J. R. : The long-term effect of electrical stimulation on the postmortem fall of pH in the muscle of landrace pigs. *J. Food Sci.*, **30**, 296 (1965)
16. Izumi, K., Ito, T. and Fukazawa, T. : Effects of pH, calcium ions and ATP on rigor contraction in glycerinated rabbit psoas muscle fiber. *J. Food Sci.*, **43**, 1188 (1978)
17. Fukazawa, T., Briskey, E. J., Takahashi, F. and Yasui, T. : Treatment and postmortem aging effects on the Z-line of myofibrils from chicken pectoral muscle. *J. Food Sci.*, **34**, 606(1969)
18. Sayre, R. N. : Chicken myofibril fragmentation in relation factors influencing tenderness. *J. Food Sci.*, **35**, 7 (1970)
19. Parrish, F. C., Young, R. B., Miner, B. E. and Anderson, L. D. : Effect of postmortem conditions on certain chemical, morphological and organoleptic properties of bovine muscle. *J. Food Sci.*, **38**, 690 (1973)
20. Culler, R. D., Parrish, F. C., Smith, G. C. and Cross, H. R. : Relationship of myofibril fragmentation index to certain chemical physical and sensory characteristics of bovine longissimus muscle. *J. Food Sci.*, **43**, 1177 (1978)
21. Davey, C. L. and Dickson, M. R. : Studies in meat tenderness. 8. Ultra-structural changes in meat during aging. *J. Food Sci.*, **35**, 56 (1970)
22. Hattori, A. and Takahashi, K. : Studies on the postmortem fragmentation of myofibrils. *J. Biochem.*, **85**, 47 (1979)
23. 高橋 興威 : 死後硬直の解除とCa^{2+}. 化學と生物, **19**, 261(1981)
24. Bush, W. A., Stromer, M. H., Goll, D. E. and Suzuki, A. : Ca^{2+}-specific removal of Z-line from rabbit skeletal muscle. *J. Cell Biol.*, **52**, 367 (1972)
25. Suzuki, A., Nonami, Y. and Goll, D. E. : Proteins released from myofibrillar fragments and reversible contraction of sarcomeres in chicken pectoral muscle. *J. Food Sci.*, **39**, 1461 (1975)
26. Dayton, W. R., Goll, D. E., Stromer, M. H., Reville,

W. J., Zeece, M. G. and Robson, R. H. : Some properties of a Ca^{2+}-activated protease that may be involved in myofibrillar protein turnover. In "*Cold spring harber conferences on cell proliferation*" Reich, E., Rifkin, D. B. and Shaw, E. (eds.), Cold spring harbor lab., Cold spring harbor N. Y., Vol. 2, p. 551 (1975)
27. Fujimaki, M., Okitani, A. and Arakawa, N. : The changes of "myosin B" during storage of rabbit muscle. 1. Physico-chemical studies on "myosin B". *Agric. Biol. Chem.*, **29**, 581 (1965)
28. Herring, H. K., Cassens, R. G. and Briskey, E. J. : Studies on bovine natural actomyosin. 1. Relation of ATPase and contractility to tenderness of muscle. *J. Food Sci.*, **34**, 389 (1969)
29. Cheng, C. S. and Parrish, F. C. Jr. : Effects of postmortem storage conditions on myofibrillar ATPase activity of porcine red and white semitendinosus muscle. *J. Food Sci.*, **43**, 17 (1978)
30. Goll, D. E. and Robson, R. M. : Molecular properties of postmortem muscle. 1. Myofibrillar nucleoside triphosphatase activity of bovine muscle. *J. Food Sci.*, **32**, 323 (1967)
31. Okitani, A., Takagi, O. and Fujimaki, M. : The change of "myosin B" during storage of rabbit muscle. Part Ⅳ. Effect of temperature, pH and ionic strength on denaturation of "myosin B" solution. *Agric. Biol. Chem.*, **31**, 939 (1967)
32. Penny, I. F. : Effect of aging on the properties of myofibrils of rabbit muscle. *J. Sci. Fd. Agric.*, **19**, 518 (1968)
33. Greaser, M. L., Cassens, R. G., Hoekstra, W. G. and Briskey, E. J. : The effect of pH-temperature on the calcium-accumulating ability of purified sarcoplasmic reticulum. *J. Food Sci.*, **34**, 633 (1969)
34. Cheng C. S. and Parrish, F. C. Jr. : Molecular changes in the salt-soluble myofibrillar proteins of bovine muscle. *J. Food Sci.*, **43**, 461 (1978)
35. Chaudhry, H. M., Parrish, F. C. and Goll, D. E. : Molecular properties of post-mortem. 6. Effect of temperature on protein solubility of rabbit and bovine muscle. *J. Food Sci.*, **34**, 183 (1969)
36. Davey, C. L. and Gilbert, K. V. : Studies in meat tenderness. 6. The nature of myofibrillar proteins extracted from meat during aging. *J. Food Sci.*, **33**, 343 (1968)
37. Matsumoto, T., Okitani, A., Kitamura, Y. and Kato, H. : Mode of degradation of myofibrillar proteins by rabbit muscle cathepsin D. *Biochimica Biophysica Acta*, **755**, 76 (1983)
38. Olson, D. G., Parrish, F. C. Jr., Dayton, W. B. and Goll, D. E. : Effect of postmortem storage and calcium activated factor on the myofibrillar proteins of bovine skeletal muscle. *J. Food Sci.*, **42**, 117 (1977)
39. Okitani, A., Matsumoto, T., Kitamura, Y. and Kato, H. : Purification of cathepsin D from rabbit skeletal muscle and its action towards myofibrils. *Biochimica Biophysica Acta*, **662**, 202 (1981)
40. Dayton, W. R., Reville, W. J., Goll, D. E. and Stromer, M. H. : A Ca^{2+}-activated protease possibly involved in myofibrillar protein turnover : Partial characterization of the purified enzyme. *Biochem.*, **15**, 2159(1976)

(1992년 9월 4일 접수)