

냉장 또는 동결우육의 저장기간과 재냉장이 근원섬유단백질의 연도에 미치는 영향

김 미 숙 · 문 윤 희
경성대학교 식품공학과

Effect of Storage Period and Rechilling Process on Tenderness of Myofibrillar Protein of Chilled or Frozen Beef

Mi-Sook Kim and Yoon-Hee Moon

Dept. of Food Science and Technology, Kyungsung University, Pusan 608-736, Korea

Abstract

This study was carried out to investigate the changes of characteristics of myofibrillar protein for the vacuum chilled, the air frozen or the rechilled Holstein beef loin. The vacuum chilled beef was stored at 1°C and the air frozen beef was stored at -20°C for 60 days. The rechilled beef was restored for 3 days at 1°C by using the vacuum chilled or the air frozen beef. Myofibrillar protein extractability, 30,000 dalton component content and Mg-ATPase activity for the vacuum chilled beef were higher than those of the air frozen beef. Each parameters increased significantly for the vacuum chilled beef after the 20 days storage, but there was no significant difference for the air frozen beef during the 60 days storage. By the rechilling process, myofibrillar protein extractability of the vacuum chilled and the frozen beef were not significant difference. The 30,000 dalton component of the vacuum chilled beef was showed not significant increment by rechilling, but the frozen beef was showed significant increment by rechilling. The Mg-ATPase activity of myofibrillar protein of the vacuum chilled beef was not changes by rechilling, but the frozen beef after the 20 days storage was significant increment by rechilling.

Key words : myofibrillar protein, 30,000 dalton component, Mg-ATPase activity.

서 론

식육의 단백질은 용해도에 따라서 수용성, 염용성 및 불용성으로 나눌 수 있다. 그 중 염용성 단백질은 근육의 근원섬유에 존재하며 연도에 크게 관여한다. 식육의 연도는 사후경직시에 걸려졌다가 숙성되면서 연해진다. 이런 현상은 돼지고기나 닭고기보다 쇠고기에서 두드러지게 나타난다. 쇠고기가 사후경직을 거쳐 숙성되면서 연하게 되는데는 단백질 분해효소의 근원섬유단백질에 대한 작용^{1,2)}, 근원섬유 Z선의 위 약화에 의한 소편화^{3,4)}, actin과 myosin의 결합력의 약화^{5,6)}, 단백질의 추출성⁷⁾, tropinin-T의 소실과 분자량 30,000 성분의 출현^{8,9)} 및 Mg-activated aden-

osine triphosphatase 활성의 변화^{10,11)} 등의 요인에 의하여 이런 요인들은 쇠고기의 숙성지표로 활용된다.

쇠고기의 숙성은 일반적으로 냉장상태에서 이루어지고 동결상태에서는 그 효과를 얻기 힘들다. 따라서 동결육은 냉장육에 비하여 연도가 좋지 않아 동결저장한 경우 쇠고기의 기호성을 떨어뜨린다. 최근에는 쇠고기를 동결하지 않고 오랫동안 저장할 수 있는 진공포장냉장육이 많이 유통되고 있으나 아직도 동결육의 유통량이 많다. 그러므로 동결육의 연도를 향상시켜서 이용하는 방안이 필요하다. 쇠고기는 일반적으로 사후경직을 거치고 숙성이 완료되기 전에 동결하므로 해동한 후에 다시 냉장하면 연도의 향상효과를

Corresponding author : Mi-Sook Kim

얻을 수 있다^{12,13)}. 그러나 그 효과를 냉장육과 비교한 연구보고는 드물다.

본 연구는 쇠고기를 진공포장하여 냉장한 것과 함기포장하여 동결한 것을 20, 40 및 60일간 저장하면서 연도에 관련되는 특성중에 근원섬유단백질의 추출성, 분자량 30,000 성분 및 Mg-activated adenosine triphosphatase 활성의 변화를 경시적으로 확인하고, 아울러 냉장 또는 동결 후 재냉장할 경우의 변화를 분석한 결과이다.

재료 및 방법

1. 재료

본 실험에 사용된 시료는 흄스티안(우, 도체중량 248 ± 30 kg)으로서 도축후 48시간 냉장된 등심부위(신선육)를 두쪽으로 나누어 한쪽은 염화비닐수지로 진공포장하고 $1 \pm 0.5^\circ\text{C}$ 에 냉장(냉장육) 하였으며, 나머지 한쪽은 폴리에틸렌 필름으로 함기포장하여 $-20 \pm 1^\circ\text{C}$ 에 동결(동결육)하였다. 냉장육과 동결육은 모두 20, 40 및 60일째에 시료로 하였으며, 진공포장을 개봉하거나 또는 해동한 후 $1 \pm 0.5^\circ\text{C}$ 에 냉장한 것을 재냉장육으로 하였다.

2. 근원섬유단백질의 추출성

근원섬유단백질의 추출성은 Yang 등¹⁰⁾의 방법을 사용하였다. 마쇄 소 등심육 5g에 0.16 M KCl-0.04 M Tris-HCl(pH 7.5) 완충용액과 0.16 M KCl 용액으로 추출하여 biuret법¹⁴⁾으로 추출액의 단백질 농도를 분석하였다.

3. 분자량 30,000 성분

분자량 30,000 성분은 Laemmli¹⁵⁾의 방법으로 SDS-polyacrylamide gel 전기영동하여 densitometer(GS 670, BIO-RAD)로 밴드의 농도비를 계산하고 actin에 대한 백분율로 나타내었다.

4. 근원섬유의 Mg-activated adenosine triphosphatase 활성

Mg-activated adenosine triphosphatase 활성은 $0.25\text{mg}/\text{ml}$ 의 근원섬유를 기질로, 1mM MgCl_2 , 1mM ATP , $25\text{mM Tris-HCl buffer}(\text{pH }8.0)$ 의 혼합 완충액 중에서 30°C 에서 5분간 반응시키고 TCA를 가해 반응을 정지시켜 무기인산을 Fiske 와 Subbarow¹⁶⁾의 방법으로 측정하였다. Adenosine triphosphatase 활성은 1mg 의 근원섬유단백질에 의

하여 1분간 유리되어 나오는 무기인산의 $1\mu\text{mole}$ 을 1unit로 하였다.

5. 통계처리

자료에 대한 통계분석은 SAS /PC를 사용하여 분석하였고 Duncan's multiple range test로 처리구간의 유의성을 검정하였다¹⁷⁾.

결과 및 고찰

1. 근원섬유단백질의 추출성

진공포장한 냉장육과 함기포장한 동결육을 20, 40 및 60일간 저장하면서 경시적으로 포장을 개봉하거나 해동한 직후의 것과 재냉장한 것의 근원섬유단백질 추출성을 비교하였다. Fig. 1(A)에서 보는 바와 같이 진공포장을 하지 않은 신선육은 냉장 3일에 65.1mg/g 으로 현저하게 많이 추출되었다. 진공포장하여 20, 40 및 60일간 냉장한 경우 근원섬유단백질은 각각 55.1 , 56.1 및 58.7mg/g 으로 신선육에 비하여 추출성이 높았다($p < 0.05$). 냉장 20일 이후에는 추출성이 서서히 높아지며 차이가 크지 않은 점으로 보아 근원섬유의 구조변화가 냉장초기에 현저하게 일어나고 냉장기간이 길어지면서 그 속도가 늦어지고 있는 것으로 나타났다. 이것은 진공포장한 냉장육을 20, 40 및 60일째에 포장을 개봉하고 재냉장하여도 재냉장하지 않은 것에 비해서 근원섬유단백질의 추출성 변화가 크지 않은 데에서도 확인되었다. 문 등¹⁸⁾은 쇠고기를 진공포장하여 냉장하면서 10일 간격으로 근원섬유단백질의 추출성을 비교한 결과 20일에서 30일 사이에 유의적인 차이를 보였다고 하여 본 결과와 비슷하였으나 추출량은 다소 낮았다. 한편, 동결육의 경우 Fig. 1(B)에서 보는 바와 같이 20, 40 및 60일째에 해동한 것이나 해동 후 재냉장한 것 모두 신선육에 비해서 근원섬유단백질의 추출성은 차이가 크지 않았다. Lawrie¹⁹⁾는 근원섬유가 분리되기 어려워지는 것은 근원섬유단백질의 변성에 의한 것보다 근원섬유 주위를 싸고 있는 근장단백질의 변화 때문이라고 하였다. Bendall 등²⁰⁾은 근장단백질이 변성되어 근원섬유 위로 침전하게 되면 근원섬유의 추출성이 낮아진다고 하였다. 본 실험에서 얻은 결과로 동결육을 해동하여 재냉장하여도 근원섬유단백질의 추출성의 차이가 현저하지 않은 것은 동결 중에 변성된 근장단백질이 근원섬유 주변에 침전된 테서 오는 현상으로 생각된다.

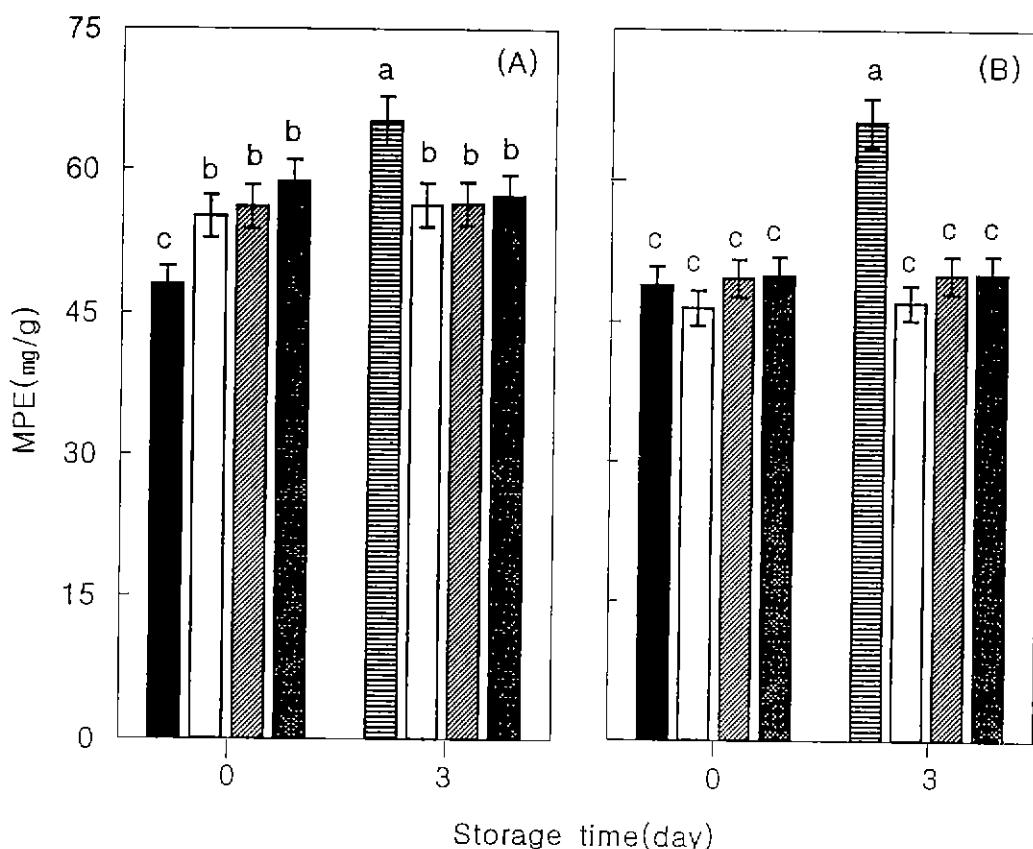


Fig. 1. Effect of rechilling at $1\pm0.5^{\circ}\text{C}$ on myofibrillar protein extractability(MPE) obtained from beef loin after open the vacuum pack or thawing. (A) Stored at $1\pm0.5^{\circ}\text{C}$ in vacuum package, (B) Stored at $-20\pm1^{\circ}\text{C}$ in air package, ■ : Stored for 2 days postmortem (control), ▨ : Stored for 3 days after 2 days postmortem, □ : Stored for 20 days, ▨ : Stored for 40 days, ▨ : Stored for 60 days. a-c : Superscripts are significantly difference ($p<0.05$).

2. 분자량 30,000 성분

진공포장한 냉장육과 험기포장한 동결육에 있어서 경시적으로 포장을 개봉하거나 해동한 직후의 것과 재냉장한 것에서 조제된 근원섬유의 전기영동상의 성분비를 densitometer에서 구하고 분자량 30,000 성분의 결과를 Fig. 2에 나타내었다. 진공포장한 냉장육의 경우, Fig. 2의 (A)에서 보는 바와 같이 분자량 30,000 성분은 냉장 20, 40 및 60일에 16.3, 23.1 및 24.2% /actin으로 나타나서 신선육의 2.7% /actin 보다 증가하였다($p<0.05$). 그리고 냉장 20, 40 및 60일째에 진공포장을 개봉한 후에 재냉장한 것은 각각 18.6, 25.8 및 25.9% /actin으로 재냉장하지 않은 것에 비하여 다소 증가하였다. 한편 동결육의 경우 Fig. 2의 (B)에서 보는 바와 같이 분자량 30,000 성분은 동결 60일까지 차이를 보이지 않았다. 그러나 동결육을 해동한 후에 재냉장한 것은 재냉장하지 않

은 것에 비하여 동결기간에 관계없이 모두 분자량 30,000 성분이 증가하였다($p<0.05$). Olson과 Parry⁸⁾는 쇠고기를 냉장할 때에 근원섬유단백질 중 troponin-T가 분해되어 분자량 30,000 성분이 출현되고 그 정도는 숙성 중에 점점 많아진다고 보고하였다. Takahashi 등⁶⁾은 토끼근육 중의 troponin-T 함량이 많지 않기 때문에 쇠육의 변화에 주요요인이나 아니라 하였다. 정 등²¹⁾은 진공포장한 쇠고기를 28일 간 냉장할 경우 냉장기간과 분자량 30,000 성분은 상관관계가 높아서 숙성도의 지표로 활용할 수 있다고 보고하였다. 본 연구결과에서 분자량 30,000 성분이 냉장 20일에 많아지고 40일 이후에 큰 차이를 보이지 않았던 점으로 보아 진공포장하여 40일 이상 냉장되는 우육의 숙성도를 판단할 때에 분자량 30,000 성분의 출현정도의 결과는 상관이 크지 않은 것으로 나타났다.

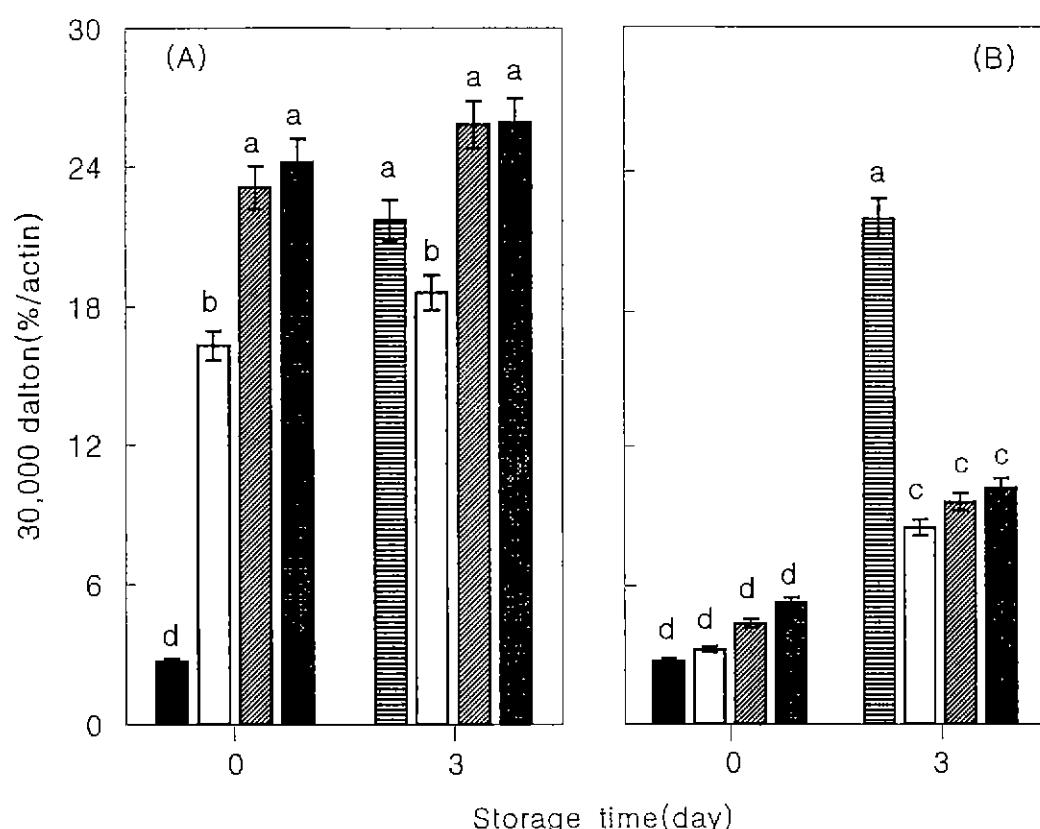


Fig. 2. Effect of rechilling at $1\pm0.5^{\circ}\text{C}$ on 30,000 dalton component of beef loin after open the vacuum pack or thawing. (A) Stored at $1\pm0.5^{\circ}\text{C}$ in vacuum package, (B) Stored at $-20\pm1^{\circ}\text{C}$ in air package, ■ : Stored for 2 days postmortem (control), ▨ : Stored for 3 days after 2 days postmortem, □ : Stored for 20 days, ▨ : Stored for 40 days, ▨ : Stored for 60 days, a-c : Superscripts are significantly difference ($p<0.05$).

3. 근원섬유의 Mg-activated adenosine triphosphatase(Mg-ATPase) 활성

진공포장한 냉장육과 험기포장한 동결육을 일정기간 저장하면서 경시적으로 진공포장을 개봉하거나 해동한 후에 근원섬유를 조제하여 Mg-ATPase 활성을 측정하였다. 또 진공포장을 개봉하거나 해동한 후 재냉장하였을 때의 근원섬유 Mg-ATPase 활성을 비교하였다. 결과는 Fig. 3의 (A)에서 보는 바와 같이 신선육의 경우 0.02 M KCl의 존재하에서 0.09unit이었으나 3일간 냉장한 후에 0.23unit로 높아졌다($p<0.05$). 진공포장하여 냉장한 경우 저장 20, 40 및 60일에 모두 0.20unit 이상으로 신선육에 비하여 높은 활성을 보였으며($p<0.05$) 저장기간에 따라 다소 높아졌다. 그리고 진공포장을 개봉하여 재냉장한 경우 근원섬유의 Mg-ATPase 활성은 재냉장하지 않은 것에 비해서 큰 차이가 없었다. 따라서 진공

포장을 하더라도 냉장되는 동안 근원섬유의 구조변화가 일어나고 ATP를 분해하는 능력이 냉장 20일까지 크게 향상되고 그 이후에는 변화가 크지 않은 것으로 나타났다. 한편 동결저장의 경우, Fig. 3의 (B)에서 보는 바와 같이 동결 20, 40 및 60일째에 해동하여 조제한 근원섬유의 Mg-ATPase 활성은 모두 신선육의 것에 비하여 차이를 보이지 않았다. 해동한 후에 재냉장한 것은 근원섬유의 Mg-ATPase 활성이 재냉장하지 않은 것에 비하여 높게 나타났다. 특히 동결 20일째의 것은 0.15unit로 높았다($p<0.05$).

오키다니²²⁾는 훌스타인을 냉장상태로 저장하면 근원섬유의 Mg-ATPase 활성은 증가하지만 동결저장 중에는 이 현상이 일어나지 않고, 해동하여 0°C 에서 재냉장하면 활성이 증가하지만 동결하지 않고 냉장한 것보다는 적었다고 하여서 본 실험의 결과와 비교적 일치하였다.

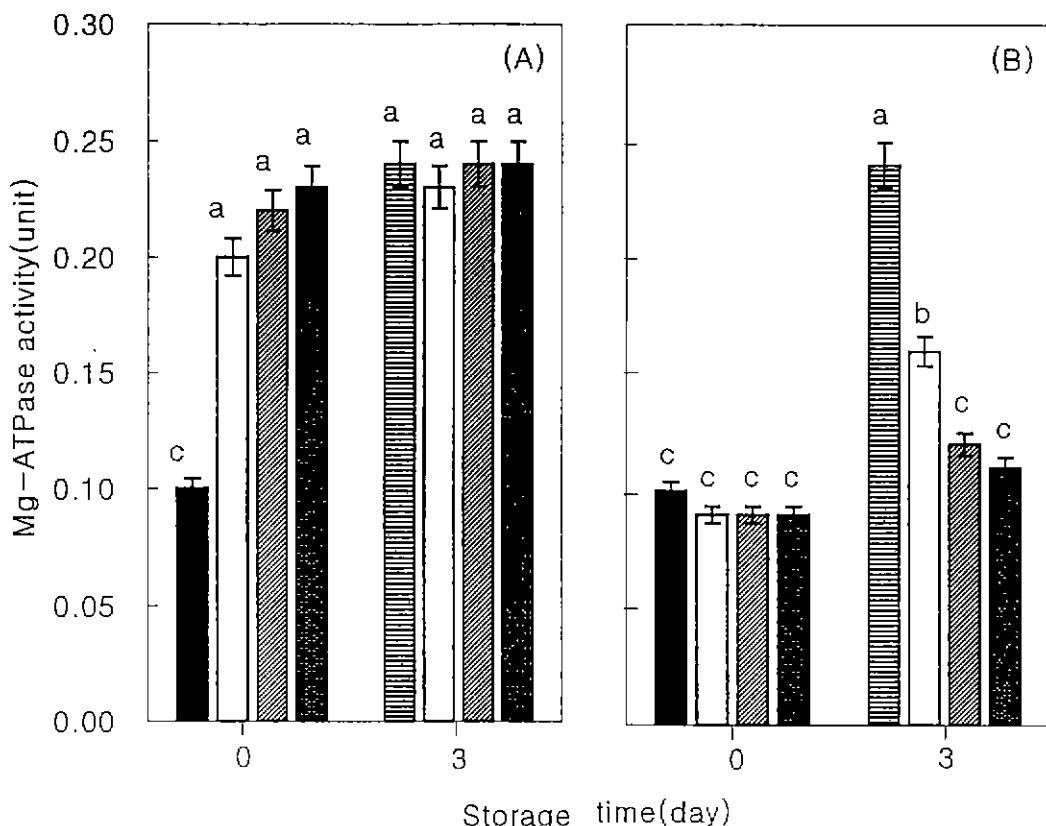


Fig. 3. Effect of rechilling at $1\pm0.5^{\circ}\text{C}$ on Mg-ATPase activity of myofibril obtained from beef olin after open the vacuum pack or thawing. (A) Stored at $1\pm0.5^{\circ}\text{C}$ in vacuum package, (B) Stored at $-20\pm1^{\circ}\text{C}$ in air package, ■ : Stored for 2 days postmortem (control), ▨ : Stored for 3 days after 2 days postmortem, □ : Stored for 20 days, ▨ : Stored for 40 days, ▨ : Stored for 60 days. a-c : Superscripts are significantly difference ($p<0.05$).

요약

홀스타인 등심육을 2등분하여 한쪽은 염화비닐수지로 진공포장하고, 다른 한쪽은 폴리에틸렌 필름으로 합기포장하여 각각 1°C 와 -20°C 에 저장하면서 경시적으로 근원섬유단백질 추출성, 분자량 30,000 성분 및 Mg-activated adenosine triphosphatase 활성의 변화를 비교하였다. 그리고 냉장 또는 동결 후 재냉장의 효과를 검토하였다. 근원섬유단백질의 추출성은 냉장육의 경우, 저장 20일에 증가하였고($p<0.05$) 40일 이후에는 큰 차이를 보이지 않았다. 동결육의 경우, 60일까지 큰 차이를 보이지 않았다. 근원섬유의 분자량 30,000 성분은 냉장육의 경우, 40일까지 많아지고($p<0.05$), 동결육은 60일까지 차이가 없었다. 근원섬유의 Mg-activated adenosine triphosphatase 활성은 냉장 20일에 높아지고($p<0.05$) 그

이후에는 변화가 크지 않았다. 재냉장에 의하여 진공포장육의 근원섬유단백질의 추출성, 분자량 30,000 성분, Mg-activated adenosine triphosphatase 활성 및 동결육의 근원섬유단백질의 추출성은 큰 차이를 보이지 않았고, 동결육의 분자량 30,000 성분 함량과 근원섬유의 Mg-activated adenosine triphosphatase 활성은 크게 향상되었다($p<0.05$).

참고문헌

- Koohmaraie, M. : Inhibition of postmortem tenderization in bovine carcasses through infusion of zinc. *J. Anim. Sci.*, 68, 1476(1990).
- Matsukura, U., Okutani, T., Nishimuro, T. and Kato, H. : Mode of degradation of myofibrillar proteins by an endogenous protease, cathepsin L. *Biochim. Biophys. Acta*, 662, 41(1981).
- Davey, C.L. and Gilbert, K.V. : Studies in meat

- tenderness. 7. Changes in the fine structure of meat during aging. *J. Food Sci.*, 34, 69~74(1969).
4. Parrish, F.C.Jr., Young, R.B., Miner, B.E. and Andersen, L.D. : Effect of postmortem conditions on certain chemical, morphological and organoleptic properties of bovine muscle. *J. Food Sci.*, 38, 690~695(1973).
 5. Fujimaki, M., Arakawa, N., Okitani, A. and Takagi, O. : The changes of "myosin B"(actomyosin) during storage of rabbit muscle. II. The dissociation of "myosin B" into myosin A and actin, and its interaction with ATP. *J. Food Sci.*, 30, 937(1965).
 6. Takahashi, K., Nakamura, F. and Inoue, A. : Postmortem changes in the actin-myosin interaction of rabbit skeletal muscle. *J. Biochem.*, 89, 321(1981).
 7. Locker, R.H. : Degree of muscular contraction as a factor in tenderness of beef. *Food Res.*, 25, 304~307(1960).
 8. Olson, D.G. and Parrish, F.C.Jr. : Relationship of myofibril fragmentation index to measures of beef-steak tenderness. *J. Food Sci.*, 42, 506~509(1977).
 9. Samejima, K. and Wolfe, F.H. : Degradation of myofibrillar protein components during postmortem aging of chicken muscle. *J. Food Sci.*, 41, 250~254(1976).
 10. Yang, R., Okitani, A. and Fujimaki, M. : Studies on myofibrils from the stored muscle. Part. I. Postmortem changes in adenosine triphosphatase activity of myofibrils from rabbit muscle. *Agric. Biol. Chem.*, 34, 1765~1772(1970).
 11. Ouali, A., Obled, A., Cottin, P., Merdeci, N., Ductasting, A. and Valin, C. : Comparative effects of postmortem storage and low calcium-reguring natural proteinase on bovine and rabbit myofibrillar protein. *J. Sci. Food Agric.*, 34, 466~476(1983).
 12. 松石昌典, 沖谷明絵 : 輸入牛肉の食味性. 日畜會報, 64, 171~178(1993).
 13. 沖谷明絵, 松石昌典, 根岸晴夫, 吉川純夫 : 凍結貯藏牛肉の解凍後貯藏による食味性の向上. 日畜會報, 61, 990~997(1990).
 14. Bendall, J.R. : *The structure and function of muscle*. Vol. 3ed. G.H. Bourne, Academic Press New York, p.227(1960).
 15. Laemmli, U.K. : Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of bacteriophage T4. *Nature*, 227, 680(1970).
 16. Fiske, C.H. and Subbarow, Y. : The colorimetric determination of phosphorus. *J. Biol. Chem.*, 66, 375(1925).
 17. SAS : SAS User's Guide. Statistical Analysis System Institute, Inc., Cary, NC.(1988).
 18. 문윤희, 홍대진, 김미숙, 정인철 : 진공포장한 소등심육의 냉장저장중 이화학적, 판능적 특성의 변화. 한국식품영양과학회지, 27, 214~219(1998).
 19. Lawrie, R.A. : "Meat Science." Pergamon Press, London.(1966).
 20. Bendall, J.R. and Wismer-Pedersen, J. : Some properties of the fibrillar proteins of normal and watery pork muscle. *J. Food Sci.*, 27, 144(1962).
 21. 정인철, 김미숙, 신완철, 문윤희 : 냉장우육의 속성도 지표로 활용하기 위한 물리화학적 특성. 한국식품영양과학회지, 26, 647~653(1997).
 22. 沖谷明絵 : 牛肉の熟成条件とフレーバーの生成. 日食工誌, 40, 535~541(1993).

(1998년 9월 17일 접수)