

사후 저장온도 15°C에서 한우적색근육의 생화학, 물리적 변화에 관한 연구

김천제 · 최도영 · 신현길 · 이무하* · 이재준 · 정규성** · 고원식
전국대학교 축산가공학과, *서울대학교 동물자원과학과, **축산업협동조합 중앙회

Postmortem Biochemical and Physical Changes in the Red Musculature of Korean Native Beef Cattle Stored at 15°C

Cheon-Jei Kim, Do-Young Choi, Heuyn-Kil Shin, Moo-Ha Lee,
Jae-Jun Lee, Kyu-Song Chung and Won-Sik Ko

Department of Animal Products Science, Kon-Kuk University

**Department of Animal Science and Technology, Seoul National University*

***National Livestock Cooperative Federation*

Abstract

The influence of the storage temperature at 15°C on the biochemical and structural changes in the red muscles (*M. sternomandibularis*) of korean native cattle postmortem were studied. The results obtained were summarized as follows; 1.5 to 2 hours postmortem the pH-value had dropped to 6.7~6.8, after 18 or 20 hours at 15°C it had reached its final pH-value (5.5). The irreversible loss of extensibility, i.e. the onset of rigor mortis, arose at 15°C between 9 and 10 hours postmortem at pH 6.1 to 6.0 and R-value between 1.05/1.10. The complete loss of extensibility postmortem was reached after 18 to 20 hours at pH 5.5/5.6. Muscle and sarcomere length of korean native cattle were contracted about 20% and 15%, respectively at 15°C. Meat of korean native cattle had the highest shear force (4.7 kg) on 1 day after slaughter. The tenderness was increased with the ripening period prolonged and was highest at the end of the 9 day ripening period.

Key words: drip loss, postmortem, extensibility, rigor mortis, shear force, R-value, sarcomere length, ripening period

서 론

근육은 사후강직이 진행되기 전에 저온저장(10°C 이하)을 함으로써 심한 근육의 수축을 가져오며, 이러한 현상을 저온수축(cold shortening)이라고 하며, 근육의 수축은 육의 연도와 보수력, Drip 발생에 영향을 미치며 심하게 수축된 육은 숙성을 하여도 연도가 개선되지 않는다고 한다⁽¹⁻⁴⁾. 저온수축은 일반적으로 백색육보다 적색육 부위에서 심하게 일어난다⁽¹⁾ 백색 근섬유의 비율이 높은 토끼나 돼지보다는 적색근섬유의 비율이 높은 소의 근육에서 주로 일어난데 이것은 백색근섬유가 적색근섬유에 비해 Mitochondria의 수가 적고, Mitochondria에서 유리되는 칼슘이온의 농도가 낮으며, 근형질막의 칼슘결합 능력이 적색근섬유보다 우수하기 때문이다⁽⁵⁾.

저온수축의 정도는 도체의 냉각속도와 관계가 깊어

양과 같은 소가축에서 심하게 심하게 일어난다. 일반적으로 우육은 돈육보다 저온수축에 의한 연도 감소가 심하여 2배 정도 연도가 감소한다고 하며⁽⁶⁻⁸⁾, 근육이 원래 길이의 20% 정도 수축하였을 때는 연도에 거의 영향을 미치지 않으나 그 이상 수축하였을 때는 연도가 급격히 감소한다고 한다^(6,9).

지난 수년간 각국에서 도체의 냉각속도, 대사속도, 근육수축에 관하여 우육⁽¹⁰⁻¹³⁾, 돈육^(1,14,15), 토육⁽¹⁶⁾, 양육⁽¹⁷⁾ 등 여러 종류의 가축에서 집중적으로 연구가 실시되었다. 이와 같이 국외에서는 육질을 개선하기 위하여 여러가지 노력이 시도되고 있음에도 불구하고 국내에서 한우에 관한 연구는 도체 등급⁽¹⁸⁾, 고온숙성의 효과⁽¹¹⁾, 지방산 조성 변화⁽¹⁹⁾, 선도변화⁽¹²⁾ 등에 관하여 연구가 진행되었으나 도살 후의 생화학·물리적 변화와 그 변화가 육질에 미치는 영향에 관하여는 거의 연구가 진행되고 있지 않는 실정이다.

본 연구는 도살 후 한우육의 생화학·물리적 변화 등을 조사 연구하기 위하여 근육수축이 가장 적은 15°C에 저장하면서 사후강직이 언제, 어떻게 진행되며 육

Corresponding author: Cheon-Jei Kim, Department of Animal Products Science, Kon-Kuk University, Mojin-Dong, Seongdong-Gu, Seoul 133-701, Korea

질에 어떠한 영향을 미치는지 규명하기 위하여 실시하였다.

재료 및 방법

재료

시료로 사용된 품종은 12~18개월령의 한우로 목부위의 적색근육인 *M. sternomandibularis*와 *M. mastoideus*를 도살 후 1.5시간 이내에 채취하여 지방과 건을 제거한 후 1~2 cm의 두께로 절단하여 polypropylene 포장지에 넣어 15°C의 Methanol Kryostaten(TK80D, MGW, Lauda)에서 24시간 항온시키면서 1~2시간 간격으로 시료를 취하여 조사하였다. 시료로 사용된 근육은 도살 직후(1시간 이내) pH가 6.5 이상, 육온이 38°C 이하인 것을 선별 사용하였다.

pH측정

도체의 pH측정은 유리전극을 근육의 중심부 5 cm 정도 깊이로 직접 꽂아 측정하였으며 실험실에서는 시료 3g당 증류수 20 ml를 가하고 50초간 균질시킨 다음 유리전극 pH-meter(Beckman, Model No.72009)로 측정하였다.

R-value측정

R-value는 Honikel과 Fischer⁽²¹⁾ 등의 방법에 의하여 측정하였다. R-value는 adenine, nucleotide에 대한 분해산물인 IMP, inosine, hypoxanthine의 비율로서 단시간내에 IMP/ATP의 비율을 측정할 수 있다.

근육의 신전성(Extensibility) 측정

근섬유 방향으로 길이 12~14 cm, 폭 5~6 cm, 두께 0.8 cm되게 자른 후 polypropylene 포장지에 넣어 15°C 항온으로 유지하면서 경과시간에 따라 근육의 길이를 측정하였으며 또한 신전성은 근육의 상부를 고정시킨 후 하부에 2000g의 추를 달아매어 10초 후에 늘어난 길이를 측정하였다. 신전성을 측정한 후 추를 제거하여 다시 polypropylene에 넣어 계속 15°C에 저장하면서 근육의 길이 변화와 신전성을 측정하였다.

근절(Sarcomere)의 길이 측정

근절은 약 300 mg의 근육을 2% Glutardialdehyde 용액으로 30분간 고정시킨 후 Helium-Neon-Laser(Spectra-physics, Model No.212-2)를 이용하여 Voyle⁽²²⁾의 방법에 의하여 측정하였다.

전단력(Shear force value)의 측정

시료를 약 2 cm 두께로 절단하여 70°C에서 30분간 가열하여 실온에서 30분간 냉각 후 근섬유와 평행하게 시료채취기(직경 11 mm)로 취하여 Instron(Model 1011, Testing System)으로 측정하였다. 이때의 cross head

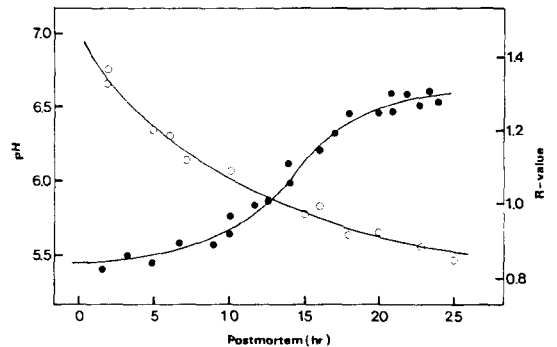


Fig. 1. Changes in pH and R-value of neck muscle of Korean native cattle postmortem at 15°C; (○): pH, (●): R-value

speed는 200 mm/min이고 chart speed는 20×10 mm/min이었다.

보수력(W.H.C) 측정

시료 300 mg을 여과지에 취한 후 Grau와 Hamm⁽²³⁾의 방법으로 측정하였다. 보수력은 분리된 육즙의 면적(F)을 전체면적(T)으로 나눈 값(F/T)를 백분율로 산출하였다.

$$\text{보수력(\%)} = \frac{\text{분리된 육즙의 면적(F)}}{\text{전체면적(T)}} \times 100$$

겉보기 점도(Apparent viscosity)

시료 30g에 6%의 NaCl용액 15 ml를 첨가하여 Moulinette 균질기(Braun AG, West-Germany)에서 4~5초간 6~7회 세절한 Homogenate(2% NaCl 농도)를 30분간 상온에 방치한 후 회전식 점도계(Rotovisco, Haake, West-Germany)를 이용하여 측정하였다. 이때의 조건은 speed step 5, sensor No.13으로 하였다.

결과 및 고찰

사후 저장온도 15°C에서 한우근육의 pH, R-value 변화

Fig. 1은 한우의 적색근육을 사후 1.5시간 이내에 15°C에 항온하였을 때 사후시간경과에 따른 pH와 R-value 변화를 나타낸 것이다. R-value는 IMP/ATP의 비율로서 낮은 값의 R-value는 근육내의 ATP 농도가 높은 것을 나타내며 높은 값은 ATP 농도가 낮은 것을 의미한다. 도살 1.5시간 후의 pH는 6.7~6.8로서 비교적 높은 값을 나타내었다. 그러나 시간이 경과함에 따라 서서히 pH가 낮아져 도살 5시간 후 6.35, 10시간 후 6.0으로 떨어졌으며 25시간 후에는 최종 pH 5.5~5.7에 도달했다. 이것은 Hamm 등⁽²⁴⁾과 Honikel 등⁽²⁵⁾이 다른 품종의 우육으로 조사한 결과와 거의 일치한다.

R-value는 도살 후 7~8시간까지는 0.9 이하로 거의 변화가 없다가 그후 서서히 상승하기 시작하여 20시간

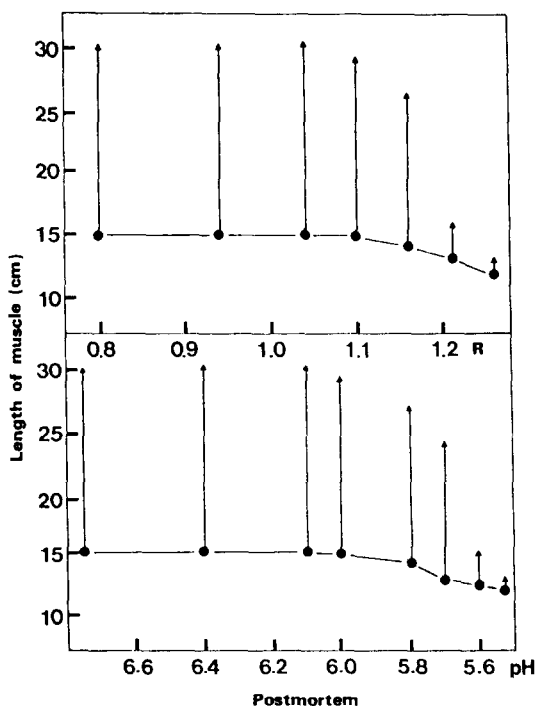


Fig. 2. Extensibility of neck muscle of Korean native cattle in relation to postmortem changes of pH and R-value Temperature was 15°C; (●): length of muscle without load, (▲): length of muscle under load. The vertical lines indicate the extensibility

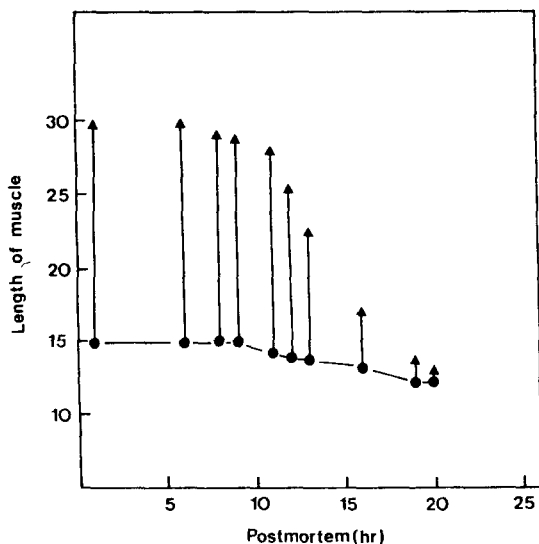


Fig. 3. Extensibility of neck muscle of Korean native cattle in relation to postmortem changes of time Temperature was 15°C; (●): length of muscle without load, (▲): length of muscle under load. The vertical lines indicate the extensibility

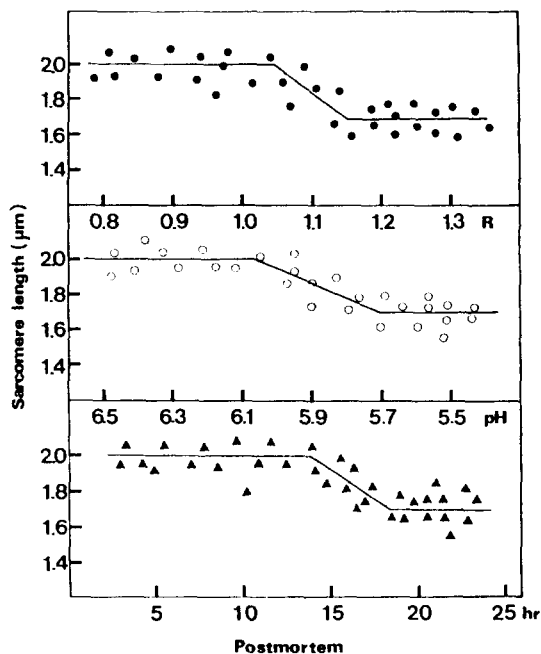


Fig. 4. Sarcomere length of Korean native cattle in relation to postmortem changes of pH, R-value and time. Temperature was 15°C

후에는 최종 R-value인 1.25~1.30에 도달하였다. 도살 후 7~8시간까지 R-value가 거의 변화가 없는 것은 Bandall⁽²⁾, Jolly 등⁽²⁶⁾에 의하면 소의 근육은 사후 얼마동안 일정한 ATP 농도를 유지하다가 감소하기 때문이라고 하였다.

사후 저장온도 15°C에서 한우근육의 수축, 신전성 변화
사후 근육은 생화학적 변화 뿐만 아니라 조직의 변화 즉 사후강직이 진행된다.

Fig. 2는 사후 적색 한우근육을 15°C에 저장하였을 때 pH, R-value에 따른 근육의 길이 변화와 신전성을 나타낸 것이다. pH 6.1, R-value 1.05 이상에서는 도살직후와 같은 수준의 높은 신전성을 유지하다가 pH 6.0, R-value 1.1에서, 즉 근육의 본래 ATP 농도의 2/3가 고갈되었을 때 근육은 신전성을 상실하기 시작하였다. 신전성의 완전한 상실은 한우근육의 경우 pH 5.6, R-value 1.20에서 나타났으며, 근육길이는 신전성을 완전히 상실하기 전에 약 20% 단축하였다. 한우근육은 도살 직후 15°C에 저장시 10시간만에 사후강직이 시작되어 20시간 후 완료되었다(Fig. 3). Honikel과 Fischer⁽¹²⁾ 등은 우근육의 사후강직은 pH 5.9, R-value 1.10일 때 시작하며 이때의 ATP 농도는 약 1 μMol/1g 근육이라고 하였다. 사후강직에 의한 근육의 수축은 낮은 pH와 ATP 농도의 저하에 의하여 Ca²⁺ 이온이 근소포체로 되돌아가는 능력이 저하됨에 따라 근원섬유 주위의 Ca²⁺ 농도가 증가하기

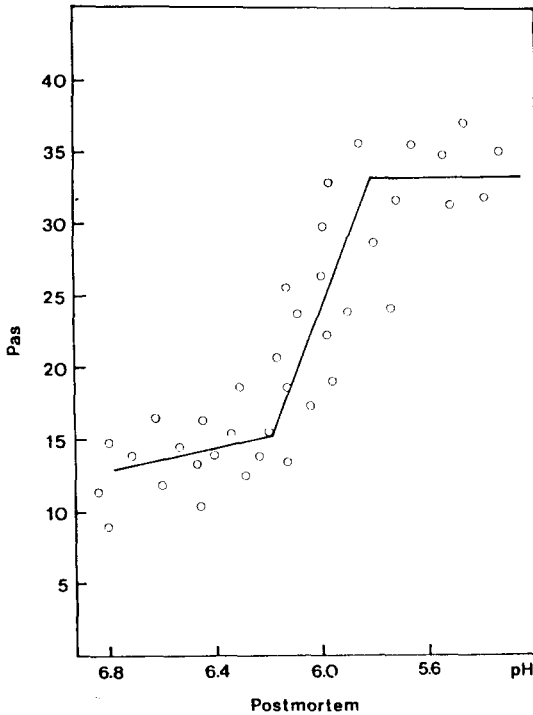


Fig. 5. Viscosity of neck muscle homogenate of korean native cattle in relation to postmortem changes of pH. Temperature was 15°C

때문에 일어난다고 한다⁽⁶⁾.

Fig. 4는 도살 후 pH, R-value, 시간에 따른 근질의 길이 변화를 나타낸 것이다.

pH 6.1 이상, R-value 1.05 이하에서는 근질의 길이 변화가 없다가 사후강직이 시작되면서 즉 pH 6.1~6.0, R-value 1.05~1.10에서 수축하기 시작하여 pH 5.7, R-value 1.15에서는 근질의 길이가 1.70 μm로서 본래 길이의 약 15% 정도가 단축하였다. 그러나 본 실험의 결과 근육내의 모든 근섬유가 동시에 단축하지는 않았다.

Fig. 5는 도살 후 한우육의 pH변화에 따른 homogenate의 점도를 나타낸 것이다. 한우육의 homogenate는 사후강직전(pH 6.2~6.1 이상), 즉 ATP 농도와 pH가 높을 때는 15 pas 이하의 낮은 점도를 나타내었다. 이것은 근섬유인 myosin filament와 actin filament가 서로 이완된 상태로 있기 때문인 것으로 사료된다. 또한 근육의 ATP 농도가 높을 때 염첨가는 myosin과 actin을 분리시키는 역할을 하기 때문에 사후강직 전에는 점도가 낮다고 한다⁽²⁷⁾. 사후강직이 시작되면서 처리한 homogenate는 pH가 낮아짐에 따라 등전점 부근에서 외관상 점도가 급상승하여 최대치를 나타내었다. 이것은 사후강직이 시작되면서 actin filament과 myosin filament가 불가역적인 상호결합을 하면서 actomyosin을 형성하여 결합력이 증가하기 때문이다⁽²⁸⁾.

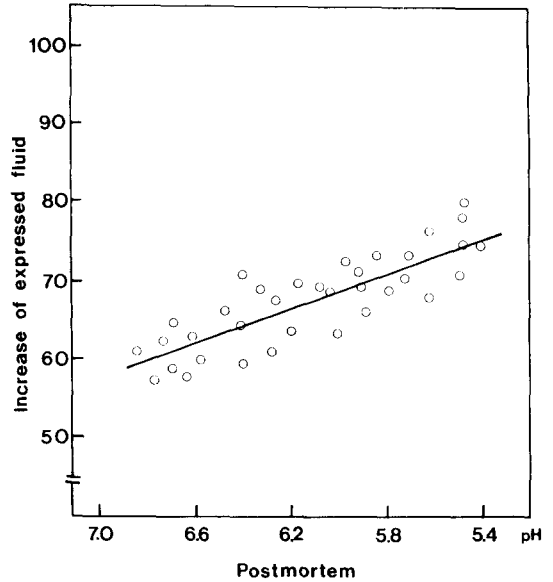


Fig. 6. WHC(F/T %) of neck muscle of korean native cattle in relation to postmortem changes of pH. Temperature was 15°C

사후 한우육의 보수성, 연도

Fig. 6은 도살 후 한우육의 pH변화에 따른 근육의 보수성을 나타낸 것이다. 도살 후 pH가 높을 때 근육의 보수성이 높아 압착시 분리되는 육즙이 적으며, pH가 낮아짐에 따라 보수력이 떨어져 등전점(IP) 부근의 pH (5.4~5.5)에서 가장 낮았다.

Fig. 7은 도살 후 15°C 에서 24시간 저장한 후 이어서 9일간 3~4°C 에 숙성하면서 육의 연도변화를 전단력으로 나타낸 것이다. 전단력은 사후강직이 완료된 1일째가 가장 높았으며(4.7 kg), 3~4°C 에서 9일 숙성한 육이 가장 낮은 전단력을 나타내어 연도가 가장 높았다. 성 등⁽¹¹⁾은 도살 후 한우육을 2°C 와 16°C 에서 5~15일간 숙성한 결과 16°C 에서는 숙성기간이 단축되었으며, 2°C 에 숙성한 육은 10~15일 후 전단력이 최저를 나타내어 본 실험의 결과와 거의 같은 결과를 나타내었다. 도살 직후의 육은 사후강직 육보다 낮은 전단력을 나타내었는데 이것은 근육내의 높은 ATP 농도에 의하여 가열중 극심한 수축이 일어나 근섬유가 파괴되기 때문에 연도가 높다고 하며, 도살직후 급속가열한 육은 완만가열한 육보다 연하다고 한다^(29,30).

요 약

본 연구는 사후 저장온도 15°C 가 한우근육(M. sternomandibularis)의 생화학, 물리학적 변화에 미치는 영향을 조사하였다. 도살 1.5시간 후의 pH는 6.7/6.8이었으며, 저장온도 15°C 에서 18~20시간 후 최종 pH인 5.5에 도

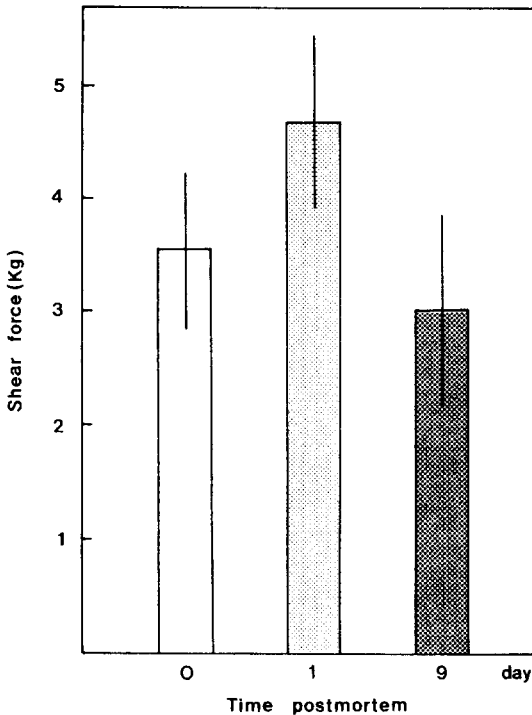


Fig. 7. Changes of shear force in Korean native cattle (*M. sternomandibularis*) during storage postmortem. After 24h the muscle were stored at 2~3°C

달했다. 한우육의 불가역적인 신전성의 상실 즉, 사후강직은 15°C 에서 도살 9~10시간 후 pH 6.1~6.0, R-value 1.05~1.10에서 시작하여 도살 18~20시간, pH 5.9에서 강직이 완료되어 신전성을 완전히 상실하였다. 저장온도 15°C 에서 한우근육은 약 20%, 근절은 15% 정도 수축하였다. 한우육은 도살 약 1일 후 전단력이 4.7 kg으로 가장 높았으며, 9일 숙성 후 3.0 kg으로 숙성기간이 경과함에 따라 연도가 증가하였다.

감사의 말

본 연구는 1990~1991년도 한국과학재단 동물자원연구센터의 학술연구비 조성에 의하여 수행된 연구결과의 일부로 이에 깊은 감사를 드립니다.

문헌

1. Bendall, J.R.: Cold-contraction and ATP-turnover in the red and white musculature of the pig, post-mortem. *J. Sci. Food Agric.*, **26**, 55(1975)
2. Bendall, J.R.: The biochemistry of rigor mortis and cold contraction. 19th. European Meat Research Worker's Meeting, Paris. Bd. I 1(1973)
3. Honikel, K.O., Fischer, C., Hamid, A. and Hamm, R.:

Influence of postmortem changes in bovine muscle on the water-holding capacity of beef; postmortem of muscle at various temperatures between 0 and 30°C. *J. Food Sci.*, **46**, 23(1981)

4. Marsh, B.B.: "Meat" (ed. D.J.A. Cole and R.A. Lawrie) Butterworths. London. 339(1975)
5. Cornforth, D.P., Pearson, A.M. and Merkel, R.A.: Relationship of mitochondria and sarcoplasmic reticulum to cold shortening. *Meat Sci.*, **4**, 103(1980)
6. Marsh, B.B. and Leet, N.G.: Studies in meat tenderness. II The effect of cold shortening on tenderness. *J. Food Sci.*, **31**, 450(1966)
7. McCrae, S.E., Seccombe, C.G., March, B.B. and Carse, W.A.: Studies in meat tenderness. 9. The tenderness of various lamb muscle in relation to their restraint and delay before freezing. *J. Food Sci.*, **36**, 566(1971)
8. Behnke, J.R. and Fennema, O.: Quality changes in prerigor beef at -3°C. *J. Food Sci.*, **38**, 539(1973)
9. Herring, H.K., Cassens, R.G., Suess, G.G., Brungardt, V.H. and Briskey, E.J.: Tenderness and associated characteristics of stretched bovine muscles. *J. Food Sci.*, **32**, 317(1967)
10. Locker, R.H. and Wild, J.C.: Yield point in raw beef muscle: The effect of ageing rigor temperature and stretch. *Meat Sci.*, **7**, 93(1982)
11. 성삼경, 안동현, 김수민: Effect of high temperature ageing on physical and morphological characteristics of Korean male beef. *한국축산학회지*, **30**, 666(1988)
12. Honikel, K.O., Fischer, C., Hamid, A. and Hamm, R.: Influence of postmortem changes in bovine muscle on the water-holding capacity of beef; postmortem storage of muscle at 20°C. *J. Food Sci.*, **46**, 1(1981)
13. Henderson, D.W., Goll, D.E. and Stromer, M.H.: A comparison of shortening and z-line degradation in postmortem bovine, porcine and rabbit muscle. *Amer. J. Anatomy*, **128**, 117(1970)
14. Fischer, C., Honikel, K.O. and Hamm, R.: Über das Saffreter der Kälteverkürzung in dunkler und heller Muskulatur bei Rind und Schwein. *Fleischwirtschaft*, **60**, 263(1980)
15. Kim, C.J., Honikel, K.O. and Hamm, R.: Veränderungen im Schweinemuskel nach dem Schlachten und ihr Einfluss auf das Wasserbindungsvermögen von Fleisch and Muskelhomogenaten. I. Untersuchungen bei 20°C. *Fleischwirtschaft*, **65**, 489(1985)
16. Jolly, P.D., Lopse, R.L.T., Dransfield, E.U. and Perry, G.: Rabbit meat for manufacturing: The effect of different post-slaughter cooling treatments. *J. Food Technol.*, **18**, 481(1983)
17. Bowling, R.A., Smith, G.C., Dutton, T.R. and Carpenter, Z.L.: Effect of prerigor conditioning treatments on lamb muscle tenderness and pH. *J. Food Sci.*, **43**, 502(1978)
18. 김용근, 한수현, 김동훈, 이영진, 강태홍, 김강식: 소도체등급기준 설정에 관한 연구. *한국축산학회지*, **29**, 358(1987)
19. 박구부, 이재숙, 이한기, 송도순: 저장기간에 따른 한우육 및 돈육의 지방산 조성 변화. *한국축산학회지*, **31**, 254(1989)
20. 박구부, 김영직, 이한기, 김진성, 김영환: 저장기간에

- 따른 육의 선도 변화. 한국축산학회지, 30, 561(1988)
21. Honikel, K.O. and Fischer, C.: A rapid method for the detection of PSE and DFD porcine muscles. *J. Food Sci.*, 42, 1633(1977)
 22. Voyle, C.A.: Sarcomere length and meat quality. 17th European Meeting of Meat Research Workers. Bristol. 95(1971)
 23. Grau, R. and Hamm, R.: Über das Wasserbindungsvermögen in Säugetiermuskel. *Z. Lebensm. Unters. Forsch.*, 105, 446(1957)
 24. Hamm, R., Honikel, K.O. and Kim, C.J.: Veränderung im Schweine und Rindmuskel nach dem Schlachten. *Fleischwirtschaft*, 64, 1387(1984)
 25. Honikel, K.O., Fischer, C. and Hamm, R.: Einfluß der Lagertemperatur von schlachtfischem Rindermuskel auf das Wasserbindungsvermögen von Fleisch und Bräten. *Fleischwirtschaft*, 60, 1577(1980)
 26. Jolly, P.D., Honikel, K.O. and Hamm, R.: Influence of temperature on the rate of postmortem metabolism and water-holding capacity of bovine neck muscles. *Meat Sci.*, 5, 99(1980)
 27. Toth, L. and Hamm, R.: Zur Rheologie des Fleisches. III. Messung der Fleisssgrenze und der Viskosität von Modellbräten mit dem Rotationsviskosimeter. *Fleischwirtschaft*, 48, 1651(1968)
 28. Rede, R. and Hamm, R.: Zur Rheologie des Fleisches. V. Wirkung von Kochsalz und Diphosphat auf die rheologischen Eigenschaften von Rindermuskel-Homogenaten zu verschiedenen Zeitpunkten postmortem. *Fleischwirtschaft*, 52, 331(1972)
 29. Dransfield, E. and Rhodes, D.N.: Texture of beef M. semitendinosus, heated before, during and after development of rigor mortis. *J. Sci. Food Agric.*, 26, 483 (1975)
 30. Ray, E.E., Stiffler, D.M. and Berry, B.W.: Effects of hot-boning and cooking method upon physical changes, cooking time and losses, and tenderness of beef roasts. *J. Food Sci.*, 45, 769(1980)

(1992년 10월 14일 접수)