

사후 저장온도 0~30°C가 한우근육의 이화학적 변화와 육질에 미치는 영향

김천제 · 박수봉* · 최도영 · 최병규 · 고원식
전국대학교 축산가공학과, *김천전문대학교 안경광학과

Influence of Postmortem Storage Temperatures between 0~30°C on the Physico-chemical Changes and Meat Qualities of Korean Native Beef Cattle

Cheon-Jei Kim, Soo-Bong Park, Do-Young Choi, Byung-Kyu Choe and Won-Sik Ko

Department of Animal Products Science, Kon-Kuk University

*Department of Ocular Optics, Kimchun College

Abstract

The influence of the storage temperature between 0°C and 30°C on the biochemical, physical changes and meat qualities in the red muscle (*M. sternomandibularis* and *M. mastoideus*) of Korean native cattle postmortem were studied. The results obtained were summarized as follows; The pH-value during the first hours post mortem was dropped faster in storage temperature 0°C than in 10°C, but the final pH-value reached after about 30 hrs. post mortem. The muscle which was stored in 30°C reached the final pH within 10 hrs. The muscle which was stored in 0°C showed the increased R-value at fast speed from the beginning. It reached maximum R-value after 20 hrs as it gradually increase showing low R-value by 10 hrs. in 10°C. The muscle which was stored in 0°C shortened to about 46% after 10 hrs. It was contracted about 17% after 15 hrs in 10~20°C. The sarcomere length of Korean native cattle had the least contraction in 10°C and it was contracted 18~20% (1.60~1.63 μm) after 5 hrs., 45~46% after 24 hrs in 0°C and 30°C which was generated cold shortening and rigor shortening. The meat that was stored in 0°C and 30°C showed about 2-fold higher shear force than it that was stored in 10°C at postmortem 24 hrs. The meat that was stored in 10°C at postmortem 24 hrs. showed drip loss less than 3% during the 9 days ripening period. The meat with cold shortening and rigor shortening showed the high drip loss.

Key words: postmortem, R-value, cold shortening, rigor shortening, drip loss, shear force, sarcomere length

서 론

한우육은 일반적으로 수입 소고기에 비하여 질긴 것으로 인식되고 있으며, 특히 숫소고기나 나이든 소고기의 경우는 더욱 그러하다. 한우육이 질긴 이유중의 하나는 한우지육의 경우 도축장 냉장시설의 미흡, 에너지 비용 때문에 도살 후 거의 예비냉각을 거치지 않고 도,소매 점으로 운반되어 온도체 발골하여 저온저장하거나 냉동을 하기 때문에 저온단축(cold shortening)이나 해동강직(thaw rigor)이 일어나 근섬유가 심하게 수축하기 때문이다. 도살직후 도체의 내부온도는 35~40°C로 미생물 성장, 감량 등을 억제하기 위하여 가능한 한 신속히 냉각시켜야 한다.

도살후 가축의 근육조직에서 일어나는 두 가지 큰 변화는 근육의 수축과 사후강직 현상으로 이것은 도살 직후 저장온도에 의하여 커다란 영향을 받는다⁽¹⁻⁴⁾.

근육의 수축은 육의 연도와 보수력, drip 발생에 영향을 미치며 심하게 수축된 육은 숙성을 하여도 연도가 개선되지 않는다고 한다^(3,5,6). 저온단축된 근육에서는 actin filament와 myosin filament 사이에 actomyosin bridge가 형성됨은 물론 actin filament가 암대의 중앙에서 서로 중첩되며 myosin filament가 Z-선과 인접하게 되어 근절의 길이가 짧아지면서 근육의 수축이 일어나 연도가 급격히 감소하게 된다⁽⁷⁾.

근육의 수축은 사후강직전 당분해가 완전히 이루어지지 않아 근육내 ATP수준이 높고, 외부로부터 자극에 의하여 칼슘이온이 근세포에서 근형질로 유리되어 일정치 이상(10^{-5} M)을 넘을 때 일어난다⁽⁶⁾.

저온단축현상은 도살후 도체를 지연냉장시키거나 또는 고온(8~16°C)에서 일정시간 방치시킴으로써 방지하거나

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

감소시킬 수 있으며, 근육의 pH가 6.0 이하로 떨어지거나 ATP농도가 1 μMol/g 이하이면 저온단축은 일어나지 않는다^(3,6).

한우육의 소비증가와 함께 냉장육의 시판이 날로 확대되어가고 있는 실정이다. 국내에서 한우육에 관한 연구는 도체등급, 고온숙성, 선도변화 등에 관하여 연구가 진행되었으나 도살후 저장온도가 육질에 미치는 영향에 관한 연구는 극히 미미한 실정으로 비교할 만한 자료가 충분치 못한 실정이다. 따라서 본 연구는 도살후 온도체 발골하여 0~30℃에 저장하였을때 도살후 저장온도가 한우육의 생화학, 물리적 변화와 육질에 어떠한 영향을 미치는지 규명하기 위하여 실시하였다.

재료 및 방법

재료

시료로 사용된 품종은 12~18개월령의 한우로 전보⁽⁸⁾에서와 같은 방법으로 목부위 적색근육인 *M. sternomandibularis*와 *M. mastoideus*를 도살 후 1.5시간 이내에 채취하여 지방과 건을 제거한 후 1~2cm의 두께로 절단하여 polypropylene 포장지에 넣어 0~30℃의 Methanol Kryostatenr(TK80D, MGW, Lauda, Germany)에서 24시간 항온였으며, 이어서 9일간 2±1℃에 저장하면서 시료를 취하여 조사하였다. 시료로 사용된 근육은 도살 직후(1시간 이내) pH가 6.5 이상, 육온이 38℃ 이하인 것을 선별 사용하였다.

pH측정

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

R-value 측정

R-value는 Honikel과 Fischer⁽⁹⁾의 방법에 의하여 측정하였다. R-value는 adenine, nucleotide에 대한 분해 물질인 IMP, inosine, hypoxanthine의 비율로서 단시간 내에 IMP/ATP의 비율을 측정할 수 있다.

근육의 수축 측정

근육의 수축을 측정하기 위해서는 근섬유가 일정한 방향으로 놓여 있어야 하는데 시료로 사용한 *M. sternomandibularis*와 *M. mastoideus*는 근섬유의 방향이 거의 일정한 방향으로 놓여있어 단축을 측정하기에 적합하였다. 근섬유 방향으로 길이 12~14 cm, 폭 5~6 cm, 두께 0.8 cm되게 자른 후 polypropylene 포장지에 넣어 0~30℃에서 항온시키면서 항온시간에 따라 근육 길이를 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⁽¹⁰⁾의 방법에 의하여 측정하였다.

전단력(Shear force value)의 측정

시료를 약 2 cm 두께로 절단하여 75℃에서 30분간 가열하여 실온에서 30분간 냉각후 근섬유와 평행하게 시료채취기(직경 11 mm)로 취하여 Instron(Model 1011, Testing System)으로 측정하였다. 이때의 cross head speed는 200 mm/min이고 chart speed는 20×10 mm/min이었다.

Drip 측정

시료의 크기를 가로, 세로, 높이(4×4×2 cm, 중량 45~50g)를 일정한 두께로 절단하여 주사위 모양의 시료육 중심부를 바늘로 꿰뚫어 실로 묶은 다음에 polypropylene에 넣어 공기를 넣고 봉한 다음 도살직후 부터 24시간 각각의 저장온도(0~30℃)에서 항온후 2±1℃에서 9일간 저장하였다. 발생된 drip은 polypropylene 하부로 흘러내려 분리가 됨으로 drip 손실량은 원료육 중량에 대한 감량으로서 산출하였다.

결과 및 고찰

사후 저장온도에 따른 한우육의 pH, R-value의 변화

Fig. 1은 도살 직후 저장온도에 따른 pH변화를 나타낸 것이다. 저장온도 0℃에서는 10℃보다 초기에 빠른 속도로 pH가 떨어지다가 10시간 이후부터는 서서히 떨어져 가장 늦게 최종 pH에 도달하였다. 이것은 저온수축에 의한 것으로 초기에 수축에 필요한 에너지가 ATP로부터 공급되어 ADP로 분해되며, ADP는 glycogen의 분해에

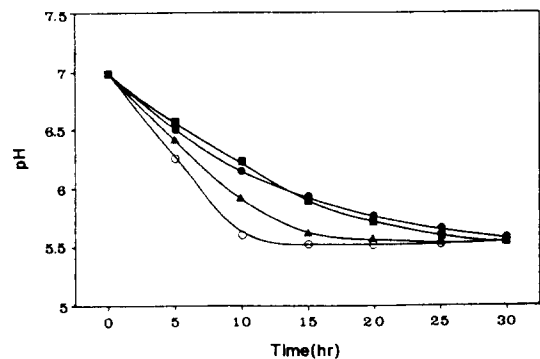


Fig. 1. Effect of storage temperature on pH postmortem decline of neck muscle of Korea native cattle
Symbols: ●; 0℃, ■; 10℃, ▲; 20℃, ○; 30℃

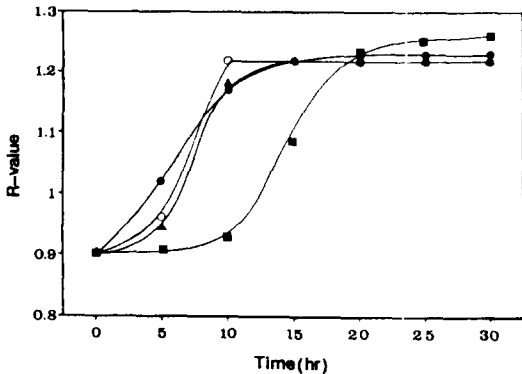


Fig. 2. Relation between R-value and time postmortem in neck muscle of Korea native cattle incubated at different temperature. Symbols are the same as in Fig. 1

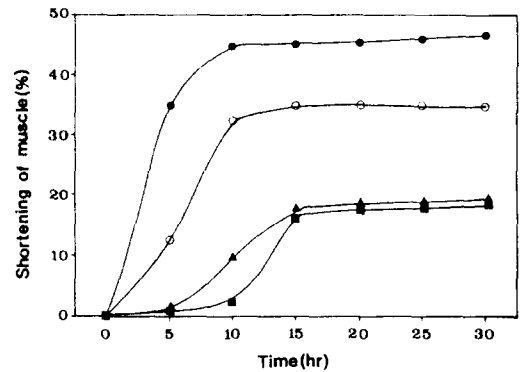


Fig. 3. Shortening of neck muscle of Korea native cattle at different temperature from 0°C to 30°C postmortem. Symbols are the same as in Fig. 1

의해 다시 ATP로 합성되기 때문에 pH가 초기에 급히 떨어지며 수축이 완료된 후에는 당분해가 서서히 진행되어 높은 온도보다 늦게 최종 pH에 도달한다고 하였다⁽¹¹⁾. 30°C에 저장한 근육은 빠른 속도로 pH가 떨어져 10시간 이내에 최종 pH에 도달하였으며, 10°C에서 저장한 근육은 25~30시간만에 최종 pH에 도달하였다. 저장온도에 따른 한우육의 pH저하속도는 Honikel⁽¹²⁾ 등이 조사한 결과와 거의 비슷한 추세를 나타내었으나, 다소 빠른 것으로 나타났다. Cassens와 Newbold⁽¹²⁾, Honikel⁽¹³⁾ 등도 도체의 저장온도는 당분해에 의한 pH 저하속도에 커다란 영향을 미친다고 하였다.

Fig. 2는 도살 직후 저장온도에 따른 R-value의 변화를 나타낸 것이다. R-value는 IMP/ATP의 비율로서 낮은 값의 R-value는 근육내의 ATP농도가 높은 것을 나타내며 높은 값은 ATP농도가 낮은 것을 의미한다. 0°C에 저장한 근육은 ATP가 빠른 속도로 분해되어 처음부터 R-value가 상승하였으나 강직이 완료된 6~7시간 이후에는 30°C보다 서서히 상승하였다. 30°C에 저장한 근육은 빠른 속도로 상승하여 10시간 후 R-value가 최고치에 도달하였다. 0°C와 30°C에 저장한 근육의 R-value가 빠른 속도로 높아진 것은 저온수축과 고온수축에 의한 것으로, 수축에 필요한 에너지를 ATP분해에 의해서 공급하기 때문에 R-value가 상승한 것으로 사료된다. 10°C에 저장한 근육은 10시간까지는 낮은 R-value를 나타내다가 서서히 상승하여 20시간 후 최고치에 달하였다. 김 등⁽⁸⁾에 의하면 한우육의 경우 15°C 저장온도에서 ATP농도의 1/3가 고갈되었을때 즉, R-value 1.10에서 근육의 신전성을 상실하기 시작하여 1.20에서 완전히 상실하였으며 근육길이는 신전성을 완전히 상실하기 전에 수축하였다.

사후 저장 온도에 따른 한우육의 수축, 연도의 변화

Fig. 3은 도살 후 저장온도에 따른 근육의 길이변화를 나타낸 것이다. 0°C에서는 저장 직후부터 급속히 근육이

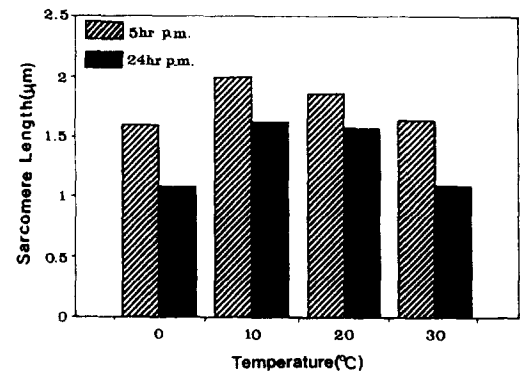


Fig. 4. Sarcomere length of neck muscle of Korea native cattle at 5 and 24 hrs postmortem at different temperature

수축하기 시작하여 10시간 후 약 46% 수축하였으며, 고온수축이 진행된 30°C에서는 10시간 후 35% 수축하였다. R-value변화가 비교적 서서히 진행된 10°C에서는 10시간 후부터 수축하기 시작하여 15시간 후 17% 수축하였다. 20°C에 저장한 근육은 6시간 후부터 수축하기 시작하여 15시간 후 약 18% 수축하였다.

Fig. 4는 도살직후 육을 0°C, 10°C, 20°C, 30°C에 저장하면서 5시간, 24시간 후의 근절길이 변화를 나타낸 것이다. 한우육의 근절길이는 도살직후 2.0±0.2 µm를 나타내었으나 저온수축과 고온수축이 발생한 0°C와 30°C에서는 저장 5시간 후 1.60~1.63 µm로서 18~20%, 24시간 후에는 1.05~1.10 µm로서 약 45~48% 수축하였다. 사후강직이 서서히 진행된 10°C에서는 24시간후 약 18~20% 수축하였다. 같은 저장온도에서 근질의 수축정도는 근육의 수축정도와 거의 일치하였다.

Fig. 5는 도살 후 24시간 0~30°C에 저장한 후 2일부터 9일간 2°C에 저장한 한우육을 저장온도에 따른 근질의

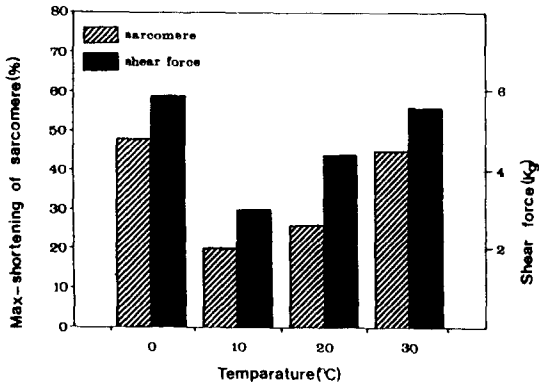


Fig. 5. Maximum shortening of sarcomere and shear force of neck muscle of Korea native cattle 9 days post-mortem versus pre-rigor temperature

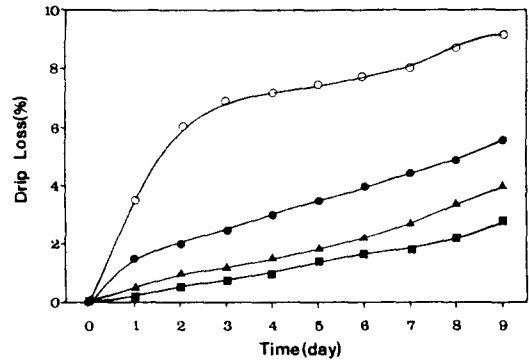


Fig. 6. Drip loss of neck muscle of Korea native cattle incubated at the first day at 0°C to 30°C. After 24 hrs the muscle were incubated up to 9 days at 2°C. Symbols are the same as in Fig. 1

최대 수축과 연도변화를 전단력으로 나타낸 것이다. 저온수축과 고온수축이 심하게 일어난 0°C와 30°C에 저장한 육은 4°C에서 9일간 숙성후에도 전단력이 10°C에 저장한 육보다는 약 2배 가량 높아 연도가 낮은 것으로 나타났다. 위의 결과에서 사후강직중 심하게 수축한 육은 숙성 후에도 연도가 크게 증진되지 않는 것으로 사료된다.

본 연구 결과는 Marsh와 Leet⁽¹⁴⁾, Behnke와 Fennema⁽¹⁵⁾ 등이 저온단축에 의한 우육의 연도감소는 200%에 달한다고 한 결과와 거의 같은 경향을 나타내었다. Herring⁽¹⁶⁾ 등에 의하면 근육이 원래길이의 20% 정도 단축할 경우에는 연도에 아무런 영향을 미치지 않으나 그 이상으로 단축할 때에는 연도가 급격히 감소한다고 한다.

사후 저장 온도에 따른 한우육의 drip 감량의 변화

경제적인 측면에서 저장중 육에서 유출되는 drip은 가능한한 적어야 한다. Fig. 6은 도살후 24시간 0~30°C에 저장한 후 2일째부터 9일간 2°C에 저장하면서 drip 감량을 나타낸 것이다. 저온수축(0°C)과 고온수축(30°C)이 일어난 육은 drip감량이 높았으며, 특히 고온수축이 일어난 육은 PSE육과 유사한 특성을 보여 9일 후 약 9.2% drip감량이 발생하였다. 근육과 근질의 수축이 가장 적게 발생한 10°C에 저장한 육은 9일 저장후 drip이 약 3% 이하로 가장 적었다.

본 연구 결과는 Honikel^(3,13) 등이 우육에서, Kim⁽²⁾ 등이 돈육에서 사후강직전 8~15°C에 저장하였을 때 drip발생이 가장 적었다는 결과와 거의 일치한다. Drip발생은 근질의 수축에 의한 근육 미세구조의 변화에 의한 것으로 근육, 근질의 수축과 drip발생은 관련성이 높아 근원섬유가 수축되면 필수록 근섬유 내부 공간이 좁아지면서 내부에 존재하는 수분이 외부로 이동되어 이러한 수분들은 쉽게 drip의 형태로 손실된다⁽¹³⁾.

요 약

본 연구는 사후 저장온도 0~30°C가 한우근육(*M. sternomandibularis*와 *M. mastoideus*)의 생화학, 물리학적 변화와 육질에 미치는 영향을 조사하였다. 저장온도 0°C에서는 10°C보다 초기에 빠른 속도로 pH가 떨어졌으나, 최종 pH는 약 30시간 후 도달하였다. 30°C에 저장한 근육은 10시간 이내에 최종 pH에 도달하였다. 0°C에 저장한 근육은 처음부터 빠른 속도로 R-value가 상승하였으며, 10°C에 저장한 근육은 10시간까지는 낮은 R-value를 나타내다가 서서히 상승하여 20시간 후 최고치에 달하였다. 0°C에 저장한 근육은 10시간후 약 46% 수축하였으며 10~20°C에 저장한 근육은 15시간후 약 17% 수축하였다. 한우육의 근질의 길이는 10°C에서 수축이 가장 적었으며, 저온수축과 고온수축이 발생한 0°C와 30°C에서는 저장 5시간후 1.60~1.63 μm로서 18~20%, 24시간후에는 45~46% 수축하였다. 도살후 24시간 0°C와 30°C에 저장한 육은 10°C에 저장한 육보다 전단력이 2배가량 높은 것으로 나타났다. 도살후 24시간 10°C에 저장한 육은 9일 저장후 drip발생이 3% 이하로 가장 적었으며, 저온수축(0°C)과 고온수축(30°C)이 일어난 육은 drip발생이 높았다.

감사의 말

본 연구는 1991~1992년도 한국과학재단 동물자원연구센터의 학술연구비 조성에 의하여 수행된 연구결과치의 일부로 이에 깊은 감사를 드립니다.

문 헌

1. Hamm, R., Honikel, K.O. and Kim, C.J.: Veränderung

- im Schweine und Rindmuskel nach dem Schlachten. *Fleischwirtschaft*, **64**, 1387(1984)
2. Kim, C.J., Honikel, K.O. and Hamm, R.: Veränderungen im Schweinemuskel nach dem Schlachten und ihr Einfluss auf das Wasserbindungsvermögen von Fleisch und Muskelhomogenaten. I. Untersuchungen bei 20°C. *Fleischwirtschaft*, **65**, 489(1985)
 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. Locker, R.H. and Wild, J.C.: Yield point in the raw beef muscle: The effect of aging rigor temperature and stretch. *Meat Sci.*, **7**, 93(1982)
 5. Bendall, J.R.: The biochemistry of rigor mortis and cold contracture. 19th. Europe Meat Research Worker's Meeting, Paris. Bd. I 1(1973)
 6. Hamm, R.: Postmortem Changes in Muscle with regard to Processing of Hot-boned Beef. *J. Food Technol.*, 105(1982)
 7. Marsh, B.B. and Carse, W.A.: Meat tenderness and the sliding filament hypothesis. *J. Food Technol.* **9**, 129(1974)
 8. 김천제, 최도영, 신현길, 이무하, 이재준, 정규성, 고원식: 사후 저장온도 15°C 에서 한우 적색근육의 생화학, 물리적 변화에 관한 연구. 한국식품과학회지, **25**, 57 (1993)
 9. Honikel, K.O. and Fischer, C.: A rapid method for the detection of PSE and DFD porcine muscle. *J. Food Sci.* **42**, 1633(1977)
 10. Voyle, C.A.: Sarcomere length and meat quality. 17th European Meeting of Meat Research Workers. *Bristol*. 95(1971)
 11. 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)
 12. Cassens, R.G. and Newbold, R.P.: Effect of temperature on the time course of rigor mortis in ox muscle. *J. Food Sci.*, **32**, 269(1967)
 13. Honikel, K.O., Kim, C.J. and Hamm, R.: Sarcomere shortening of prerigor muscles and its influence on drip loss. *Meat Sci.*, **16**, 267(1986)
 14. Marsh, B.B. and Leet, N.G.: Studies in meat tenderness. III. The effect of cold shortening tenderness. *J. Food Sci.*, **31**, 450(1966)
 15. Behnke, J.R. and Fennema, O.: Quality changes in prerigor beef muscle at -3°C. *J. Food Sci.*, **38**, 539 (1973)
 16. Herring, H.K., Cassens, R.G., Suess, G.G., Brungardt, V.H. and Briskey, E.J.: Tenderness and associated characteristics of stretched and contracted bovine muscle. *J. Food Sci.*, **32**, 317(1967)

(1993년 12월 4일 접수)