

한우육의 도체특성, 근절길이 및 품질특성이 연도에 미치는 영향

문성실 · 강근호¹ · 허선진¹ · 정진연¹ · 양한술¹ · 김진성³ · 주선태^{1,2} · 박구부^{1,2*}

축산물등급판정소, ¹경상대학교 축산과학부, ²동물생명산업지역협력연구센터, ³동아대학교 식품과학부

Effect of Carcass Traits, Sarcomere Length and Meat Quality Properties on Beef *Longissimus* Tenderness at 24 hr Postmortem

Sung-Sil Moon, Geun-Ho Kang¹, Sun-Jin Hur¹, Jin-Youn Jeong¹, Han-Sul Yang¹, Jin-Sung Kim³, Seon-Tea Joo^{1,2} and Gu-Boo Park^{1,2*}

Animal Products Grading Service,

¹Division of Animal Science, College of Agriculture, Gyeongsang National University,

²Regional Animal Industry Research Center,

³Division of Food Science, College of Human Ecology, Dong-A University

Abstract

This study was conducted to investigate the effect of sarcomere length, carcass and quality traits on tenderness of Hanwoo beef at 24 hr postmortem. Immediately after slaughter, a total number of 30 carcasses(Hanwoo bull) selected, and sarcomere length was determined during rigor development(1, 3, 6, 12 and 24 hr). Tenderness group of longissimus dorsi muscle classified into tender group(≤ 7.5 kg/cm², n=9), or tough group(≥ 9.0 kg/cm², n=9) by shear force value at 24 hr postmortem, and estimated carcass traits, meat color, connective tissue and sensory property at 24 hr postmortem. Results showed that tender group had heavier carcass weight, thicker back fat, higher marbling score, lighter meat color, more white fat color and lower texture score(p<0.05). The change of sarcomere length was linearly decreased(p<0.05) from 3 hr postmortem, and the sarcomere length of tender group was significantly(p<0.05) longer than that of tough group at 3, 6 and 24 hr postmortem. The tender group showed significantly lower(p<0.05) shear force value of intramuscular connective tissue(IMCT), better(p<0.05) tenderness and overall acceptability compared to the tough group. Results indicated that tenderness of beef longissimus dorsi muscle could be improved by thicker back fat, higher marbling score and lower texture score, and predicted by sarcomere length of pre-rigor(3 and 6 hr postmortem). Also, the tenderness of beef longissimus dorsi muscle could be closely related to shear force value of IMCT, compared to total collagen and soluble collagen content in the same age.

Key words : Hanwoo bull, tenderness, collagen, sarcomere length

서론

우육의 연도는 소비자의 기호성과 밀접한 관련성을 가지고 있기 때문에 우육 산업에서 연도의 변이를 줄이고 균일한 육질의 쇠고기를 생산하는 것은 매우 중요한 문제로 알려져 있다(Morgan et al., 1991). 또한 이러한 우육의 연도는 도체

특성과도 밀접한 관련이 있는데, 특히 무거운 도체와 두꺼운 피하지방 및 높은 함량의 근내지방은 냉장저장 중 절연효과로 인한 냉각단축을 방지함으로써 우육의 연도를 향상시킬 수 있다(Lepetit et al., 2000). 그 뿐만 아니라 근육내 지방함량은 우육의 육질등급을 결정하는 가장 중요한 항목(Park et al., 2002)으로 결체조직 단백질의 특성과 함께 연도와 관련되어 있다(Bailey and Light, 1989).

식육의 연도는 근원섬유 단백질과 근육내 결체조직 단백질의 특성에 의해 가장 큰 영향을 받는데(Bailey and Light, 1989), 특히 결체조직 단백질 중 근육내 콜라겐의 함량과 성

*Corresponding author : Gu-Boo Park, Meat Science Laboratory, Division of Animal Science, College of Agriculture, Gyeongsang National University, Chinju 660-701, Korea. Tel: 82-55-751-5515, Fax: 82-55-756-7171, E-mail: gbpark@gsnu.ac.kr

숙정도는 육의 연도와 밀접한 관련성을 가지고 있다(Bosselmann et al., 1995). Nishimura 등(1998)의 연구에서 근육 내 지방은 주로 근속막내에 있는 근다발 사이에 축적되는 것으로, 근육내 높은 지방함량은 근속막의 구조를 파괴시킴으로써 육의 연도를 향상시킨다고 보고하였다. 또한 Majorano (2001)는 콜라겐 섬유상 그물망의 안정성은 다원자가 교차결합 분자들의 합성을 통해 일어나는데, 이러한 교차결합 분자들의 증가는 육의 질감을 결정하는데 중요한 역할을 한다고 보고하였다.

우육의 연도와 근절길이의 관련성에 관한 연구에서 Tornberg(1996)는 생육에서 근섬유의 측면 수축은 근절이 짧아짐에 따라 증가하고, 근절의 길이가 짧아질수록 높은 전단가를 보였으며, 사후강직의 진행속도와도 밀접한 관련이 있는데(Wheeler, 2000), 우육의 등심근육에서 사후 해당작용 정도가 중간인 것과 빠른 것에 비해 늦은 것이 유의적으로 짧은 근절길이를 가졌다고 보고하였다(Purchas and Aungsupakorn, 1993). 그러나 Shackelford 등(1994)은 근절길이와 전단가는 해당작용의 속도와 관계없이 낮은 관련성을 가진다고 보고하였다.

따라서 본 연구는 도체상태로 0℃에서 24시간 동안 냉장 저장된 한우육의 연도를 기준으로 사후시간의 경과에 따른 근절길이의 변화를 알아보고, 연도구분에 따른 도체특성, 결체조직 특성 및 관능적 특성을 알아보기 위해 수행하였다.

재료 및 방법

공시재료

상업적인 도축장에서 도축된 한우 수소 30두를 도축 후 1, 3, 6, 12 및 24시간에서 제 11~13흉추 사이의 근절길이를 측정하였으며, 사후 24시간에서 평가된 전단가를 기준으로 tender 그룹($\leq 7.5 \text{ kg/cm}^2$)과 tough 그룹($\geq 9.0 \text{ kg/cm}^2$)을 분류하여 각각 9두씩의 자료를 선별하였고, 또한 연도그룹에 따른 도체특성, 결체조직 특성 및 관능적 특성을 실험하여 분석하였다.

실험방법

1) 도체평가

도체평가는 등급판정사에 의해 사후 24시간에서 마지막 흉추와 제 1요추 사이를 절개한 등심근육을 30분 동안 홍색화 시킨 후 근내지방도, 육색, 지방색, 조직감 및 성숙도 점수를 측정하여 육질등급을 평가하였고, 또한 도체중량, 등지방두께 및 배최장근단면적을 측정하여 육량등급을 평가하여(APGS, 1995) 이용하였다.

2) 육색 측정

육색 측정은 근육단면을 Chromameter(CR 301, Minolta Co., Japan)를 이용하여 명도를 나타내는 L(lightness), 적색도를 나타내는 a(redness), 황색도를 나타내는 b(yellowness)값을 측정하였다. 이때 기기의 표준화 작업은 $Y=93.5$, $X=0.3132$, $y=0.3198$ 인 표준색판을 사용하였다.

3) 근절길이

근절길이는 Cross 등(1980)의 방법에 따라 도축 후 즉시 시료를 일정한 크기($3 \times 3 \text{ cm}$)로 절단하여 A 용액(0.1 M KCl, 0.039 M boric acid, 2.5% glutaraldehyde, 5 mM EDTA)에 침지시킨 후 2℃의 온도에서 2시간 방치한 후, B 용액(0.25 M KCl, 0.29 M boric acid, 2.5% glutaraldehyde, 5 mM EDTA)에서 17~19시간 방치한 다음 균질시킨 후, 헬륨네온 레이저를 사용하여 측정된 다음 아래의 계산식을 이용하여 측정하였다.

$$\text{Sarcomere length}(\mu\text{m}) = \frac{632.8 \times 10^{-3} \times D \times \sqrt{(T/d)^2 + 1}}{T}$$

D: Stage와 Screen 거리(100 mm), T: 근절길이의 반지름

4) 총 콜라겐 및 가용성 콜라겐 함량

시료에서 총 콜라겐 함량은 시료 300 mL를 6 M HCl 25 mL에 넣어 110℃에서 24시간동안 가수분해한 후 측정하였다. 가수분해물질은 활성탄소를 사용하여 깨끗하게 한 후, 10 M과 1 M NaOH로 중화(pH 7.0)시킨 것을 증류수 250 mL로 희석하였다. 가수분해물질 4 mL와 chloramine T solution (1.41 g chloramine T, 증류수 10 mL, n-propanol 10 mL, citric buffer(pH 6) 80 mL) 2 mL를 test tube에 섞은 후, 실온에서 20분 동안 방치하였다. 그 후, 2 mL의 4-dimethyl-aminobenzaldehyde(p-DABA) 용액(10 g의 p-DABA, 35 mL의 HClO₄-60%, 65 mL의 isopropanol)을 넣었다. 용액을 흔든 후, 60℃에서 20분 동안 가열하여 흐르는 물에 5분 동안 방냉한 후, 558 nm에서 흡광도를 측정하였으며, 표준곡선으로부터 hydroxyproline 양을 측정하였다. 콜라겐 함량은 hydroxyproline 함량에 7.25 상수를 이용하여 계산하였다(즉, 콜라겐 함량 = hydroxyproline 함량 \times 7.25).

가용성 콜라겐 함량은 분쇄육 6 g의 시료를 Ringer's solution을 증류수와 1:3의 비율로 희석한 용액 24 mL에 넣어 12,000 rpm에서 균질한 후, 77℃에서 70분간 가열하였고, 2,300 \times g에서 30분 동안 원심분리 하였다. 원심분리 한 후 침전물을 증류수로 희석한 Ringer's solution 24 mL로 섞고, 다시 원심분리를 실시하였다. 남은 침전물을 105℃에서 건조한 후, 건물 100 mg을 6 M HCl 25 mL로 가수분해시켰으며, 침

전물의 콜라겐 함량은 총 콜라겐 함량과 동일한 방법으로 측정하였다. 가용성 콜라겐 함량은 총 콜라겐 함량과 불용성 콜라겐 함량과의 차이에 의해 계산하였다.

5) 전단가

시료를 2.5 cm 두께로 절단하여 70℃ 항온수조에서 50분간 가열하여 실온에서 30분간 냉각시킨 후 근섬유 방향과 평행하게 원통형 절편기(직경 1.27 cm)로 시료를 채취하여 인스트론 기기(Model 4443, Instron, USA)를 이용하여 시료의 근섬유 방향과 직각으로 절단하여 측정하였다. 이때의 조건은 V-blade를 이용하였으며, compression load cell 50 kg, crosshead speed는 100 mm/min, chart speed는 20×10 mm/min으로 실시하였다.

6) Intramusclar Connective Tissue(IMCT) 전단가

IMCT 전단가는 Nishimura 등(1996)의 방법에 의해 측정하였으며, 근육의 작은 조각(10×10×15 mm)은 3일 동안 2.5% glutaraldehyde가 포함된 0.1 M phosphate buffer 용액(pH 7.3)에 침지하였고, 5일 동안 sodium hydroxide의 10% aqueous 용액에 침지시킨 후 실온에서 5일 동안 증류수로 세척하였다. 세척 후 7.5% acrylamide와 1.5 mg/mL ammonium persulfate를 포함하고 있는 acrylamide 용액에 3시간 동안 실온에서 침지하였다. Acrylamide 용액은 N, N, N', N'-tetramethylethylenediamine(0.75 µL/mL)의 첨가에 의해 완전하게 중합시켰다. Acrylamide gel안에 embedding된 IMCT의 전단가는 Rheometer(NRM-2002J, Fudo Industry Co., Japan)를 이용하여 측정하였는데, 이때의 조건은 shearing blade: 35 mm 두께, crosshead speed: 6 cm/min로 수행하였다.

7) 관능적 특성

관능검사는 가열육을 이용하여 6명의 관능요원에 의해 9점 척도 묘사법으로 풍미(flavor), 다즙성(juiciness), 연도(tenderness) 및 기호성(acceptability)을 조사하였다. 항목별 평가는 다즙성, 연도, 풍미 및 기호성은 1~3 : 좋지 않음, 4~6: 보통, 7~9 : 좋음으로 평가하였다.

통계처리

실험에서 얻어진 성적은 SAS/PC를 이용하여 분산분석을 실시하였으며, 연도 그룹에 따른 특성은 t-test(SAS, 1999)를 이용하여 5% 수준에서 유의성을 검정하였다.

결과 및 고찰

한우육의 도체특성과 육색이 쇠고기의 연도에 미치

는 영향

사후 24시간에서의 전단가를 기준으로 분류한 tender 그룹과 tough 그룹의 도체특성의 결과를 Table 1에 나타내었다. tender 그룹(336 kg)과 tough 그룹(331 kg)의 도체중량은 통계적인(p>0.05) 차이가 인정되지 않았지만, tender 그룹이 수치적으로 무거운 도체중량을 나타내었다. 배최장근단면의 2/3 지점에서 측정된 등지방두께는 tender 그룹(7.7 mm)이 tough 그룹(4.0 mm)에 비해 유의적으로 두껍게 나타났다(p<0.05). 그리고 근내지방도 점수는 tender 그룹(4.0점)이 tough 그룹(2.3점)에 비해 유의적으로 높은 점수로 평가되었으며(p<0.05), 밝은 육색(선홍색), 흰 지방색 및 좋은 조직감을 나타내었지만(p<0.05), 성숙도 점수에서는 연도그룹 간에 유의적인 차이가 나타나지 않았다. 이러한 결과는 소 도체에 대한 특성 중 등지방두께와 근내지방도 점수가 육의 전단가에 가장 많은 영향을 미친다는 것을 의미하는 것으로, May 등 (1992)이 비육단계에서의 농후사료 급여기간에 따른 연구에서 근내지방도 점수와 관능적인 연도와의 관련성(r=0.51)이 비교적 높았고, 전단가와와는 r=-0.61의 관련성을 보였다고 보고하였으며, 다른 도체특성에 비해 근내지방도 점수가 쇠고기의 기호성과 가장 높은 관련성을 보였다고 보고하여 본 실험의 결과와 비슷한 경향을 보였다. 그러나 Crouse 등 (1978)은 근내지방도가 관능적인 연도점수의 3%만을 설명할 수 있다고 보고하였고, 다른 연구자들(Parrish, 1974; Campion

Table 1. Difference in Hanwoo carcass traits and shear force of longissimus muscle between tender and tough groups

Carcass traits	Tender(n=9)	Tough(n=9)	P-value
Carcass weight, kg	336±27	331±21	0.65
Back fat thickness, mm	7.7±1.7 ^a	4.0±1.1 ^b	0.0001
Ribeye area, cm ²	83.6±7.8	80.7±4.3	0.35
Marbling score ¹⁾	4.0±1.3 ^a	2.3±1.0 ^b	0.008
Meat colour score ²⁾	4.7±0.5 ^a	4.0±0.7 ^b	0.034
Fat colour score ³⁾	2.3±0.5 ^b	3.0±0.5 ^a	0.012
Texture score ⁴⁾	4.1±0.3 ^b	4.6±0.5 ^a	0.048
Maturity score ⁵⁾	2.0±0.0	2.0±0.0	-
Shear force value(kg/cm ²)	6.8±0.5 ^b	10.4±0.7 ^a	0.0001

¹⁾ 1=trace, 19=very abundant

²⁾ 1=very right cherry red, 7=very dark red

³⁾ 1=white, 7=yellow

⁴⁾ 1=very fine, 9=very coarse

⁵⁾ 1=very young, 9=very old

^{ab} Means±SD within row with different superscripts are significantly differ(p<0.05).

et al., 1975; Tatum et al., 1980)도 근내지방도와 연도사이의 상관관계는 비교적 적었다고 보고하여 본 실험과 다른 경향을 보였다. 이러한 연구자들 간의 차이는 소 품종에서 근육 내 지방을 축적할 수 있는 능력과 사양형태와 관련이 있는 것으로 사료되며, 근내지방도의 축적능력이 우수한 품종에서는 근내지방도와 연도 사이에 높은 관련성을 가진다고 보고하였다(May et al., 1992).

연도 그룹에 따른 도체중량의 결과에서 두 그룹간에 통계적인 차이는 나타나지 않았지만, tender 그룹이 345 kg으로 tough 그룹에 비해 수치적으로 높게 나타났다. Dikeman 등(1998)과 Ozawa 등(2000)은 도체중량이 부분육량 뿐 만 아니라 고기의 육질에 영향을 미친다고 보고하였으며, May 등(1992)은 도체중량과 쇠고기 등심의 전단가는 비교적 높은 상관도($r = -0.53$)를 가졌다고 보고하여 본 실험의 결과를 뒷받침하였다. 등지방두께가 쇠고기의 육질에 미치는 영향에 대해, May 등(1992)은 등지방두께와 전단가는 $r = -0.55$, 등심단면적과는 $r = -0.48$ 의 상관관계를 보였다고 보고하였다. 그러나 본 실험의 결과에서 tender 그룹과 tough 그룹간에 등심단면적에 의한 통계적인 차이가 인정되지 않아 May 등(1992)의 결과와는 다소 상이하게 나타났다.

사후시간의 경과에 따른 근절길이가 한우육의 연도에 미치는 영향

사후시간의 경과에 따른 근절길이의 변화는 두 그룹에서 유의적으로($p < 0.05$) 감소하는 경향을 보였지만(Fig. 1), 사후 1시간과 사후 3시간에서의 근절길이는 통계적인 차이를 나타내지 않았다. 사후 시간의 경과에 따른 두 그룹간의 비교에서 사후 12시간에서의 근절길이를 제외하고, 나머지 전 사후시간에서 tender 그룹이 tough 그룹에 비해 유의적으로 긴 근절길이를 나타내었다($p < 0.05$). 이러한 결과는 사후 24시간에서의 연도와 근절길이 사이에서의 밀접한 관련이 있다는

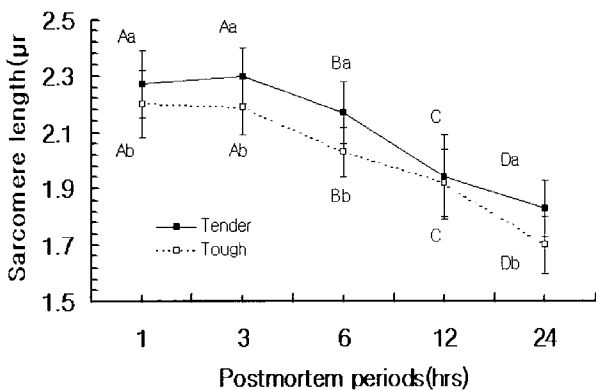


Fig. 1. Change in sarcomere length(µm) in Hanwoo longissimus muscle during 24 hrs postmortem.

것을 함축하는 것으로, 특히 사후 1시간에서 측정된 tender 그룹의 긴 근절길이가 사후 24시간까지 길게 나타났는데 ($p < 0.05$), 이는 사후 높은 도체온도로 인한 해당작용의 정도가 tender 그룹이 tough 그룹에 비해 더 빠른 것과 관련이 있는 것으로 사료된다.

사후 3시간에서의 pH를 이용한 근절길기와 전단가와의 관련성에서 Smulders 등(1990)은 느린 해당작용($pH_3 > 6.3$)에서 근절길기와 관능적인 연도는 $r = 0.84$ 로 높은 관련성이 있다고 보고하였는데, 본 실험의 결과(Unpublished data), 사후 3시간에서의 pH 값은 tender 그룹이 pH 6.29, tough 그룹은 pH 6.50으로 유의적인($p < 0.05$) 차이를 보임으로써, Smulders 등(1990)의 결과와 유사하였으며, 또한 전체(pH_3 : 5.40~6.78)적으로 근절길기와 관능적 연도($r = 0.54$) 및 비숙성육 전단가($r = -0.50$)와 관련성이 있다고 보고하여 본 실험의 결과와 비슷한 경향을 보였다.

사후 24시간에서의 연도 그룹에 따른 콜라겐 함량, 결체조직 전단가 및 관능적 특성

한우 등심근육에서 평가된 tender 그룹과 tough 그룹에 따른 총 콜라겐 함량, 가용성 콜라겐 함량 및 IMCT 연도의 결과를 Table 3에 나타내었다. 연도그룹에 따른 총 콜라겐 함량 및 가용성 콜라겐 함량은 통계적으로 차이가 인정되지 않았지만, tough 그룹에 비해 tender 그룹에서 수치적으로 적은 총 콜라겐 함량과 많은 가용성 콜라겐 함량을 나타내었다. 이러한 결과는 May 등(1992)의 연구에서 결체조직 점수와 육의 전단가($r = -0.67$) 및 관능적인 연도($r = 0.73$)와 비교적 높은

Table 2. Difference in objective color measurement (CIE L*, a*, b*) between tender and tough groups

Colour	Tender(n=9)	Tough(n=9)	P-value
L*	30.3±1.2	30.1±1.2	0.83
a*	14.1±1.0	14.1±1.2	0.92
b*	4.8±0.8	4.8±0.8	0.91

Table 3. Difference in collagen contents, Intramusclar Connective Tissue (IMCT) shear force between tender and tough groups of Hanwoo longissimus muscle

Traits	Tender (n=9)	Tough (n=9)	P-value
Total collagen(mg/g)	5.5±0.6 ^a	5.6±0.8 ^a	0.79
Solubility collagen(mg/g)	1.6±0.4 ^a	1.4±0.4 ^a	0.46
IMCT shear force(g/cm ²)	42.3±5.5 ^b	51.2±6.0 ^a	0.005

^{ab}: Means±SD within a same row with different superscripts are significantly differ($p < 0.05$).

Table 4. Difference in sensory traits between tender and tough groups of *Hanwoo longissimus* muscle

Traits	Tender(n=9)	Tough(n=9)	P-value
Tenderness	7.4±0.7 ^a	4.4±0.9 ^b	0.001
Juiciness	5.8±0.7 ^a	4.6±0.7 ^b	0.02
Flavor	5.7±0.9 ^a	5.2±1.0 ^a	0.32
Overall acceptability	7.3±0.7 ^a	4.6±0.9 ^b	0.001

^{ab}: Means±SD within a same row with different superscripts are significantly differ(p<0.05).

관련성을 가졌다는 보고와 상이하게 나타났다. 일반적으로 근육 내 결체조직은 동물의 나이가 증가함에 따라 안정화되고(Bailey and Light, 1989; McCormick, 1994) 결체조직내 콜라겐은 나이가 증가함에 따라 점진적으로 질겨지고, 더 단단해지며, 쉽게 변성되지 않는 특징을 가지기 때문에 콜라겐의 특성 변화는 육의 질감과 밀접한 관련이 있다(Nishmura et al., 1996). 그러나 본 실험의 결과에서 tender 그룹과 tough 그룹간의 총 콜라겐 함량 및 가용성 콜라겐 함량이 통계적으로 차이를 나타내지 않은 것은 실험동물의 나이가 생후 약 18개월(성숙도 점수, No. 2)로 거의 비슷했기 때문인 것으로 판단된다. Intramuscular Connective Tissue(IMCT)의 진단가 평가에서 tender 그룹이 tough 그룹에 비해 통계적으로 낮은 진단가를 보여(p<0.05), 동물의 나이가 거의 동일할 경우 콜라겐의 함량 또는 용해성 보다 IMCT 진단가가 육의 연도와 더 높은 관련성이 있는 것으로 나타났다.

연도그룹에 따른 관능적인 연도와 전체적인 기호성은 tender 그룹이 tough 그룹에 비해 우수한 것으로(p<0.01) 평가되었고(Table 4), 우수한 다즙성을 보이는 것으로 평가되었지만(p<0.01), 풍미점수는 연도그룹에 따른 통계적인 차이가 나타나지 않았다.

요 약

연도그룹에 따른 도체특성의 차이는 tender 그룹이 tough 그룹에 비해 무거운 도체중과 두꺼운 등지방 두께, 우수한 근내지방도, 밝은 육색, 흰 지방 및 좋은 조직감을 나타내었다(p<0.05). 근절길이의 변화는 사후 시간이 경과함에 따라 지속적으로 감소하는 경향을 보였으며, 특히 사후 3시간 이후에 유의적으로 감소하였다(p<0.05). 연도에 따른 그룹간의 비교에서는 사후 3, 6 및 24시간에서 tender 그룹이 tough 그룹에 비해 유의적으로(p<0.05) 긴 근절길이를 나타내었다. 그리고 tender 그룹은 tough 그룹에 비해 낮은 IMCT 진단가를 나타내었고(p<0.05), 관능적으로 우수한 연도와 기호성을

나타내었다(p<0.05).

이상의 결과에서, 육의 연도는 다른 도체특성에 비해 등지방두께, 근내지방도 및 조직감과 밀접한 관련성을 보였으며, 사후초기인 3과 6시간에서의 근절길이를 측정함으로써 사후 24시간째 연도의 추정이 가능할 것으로 사료된다. 그리고 동일한 나이에서 연도와 관련성은 총 콜라겐 및 가용성 콜라겐 함량보다는 근육내 결체조직의 강도와 더 높은 관련성(p<0.05)이 있는 것으로 나타났다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단이 주관하고, 경상남도과 진주시가 후원하는 RAIRC(동물생명산업지역협력연구센터) 사업의 지원으로 수행되었기에 이에 감사 드립니다.

참고문헌

1. Animal products grading service (1995) Report of business for animal products grading. APGS, Korea.
2. Baily, A. J. and Light, N. D. (1989) Connective tissue in meat and meat products. Elsevier science publishers, Ltd., Essex, U.K.
3. Bosselmann, A., Moller, C., Steinhart, H., Kirchgessner, M., and Schwartz, F. J. (1995) Pyridinoline cross-links in bovine muscle collagen. *J. Food Sci.* **60**, 953-958.
4. Campion, D. R., Crouse, J. D., and Dikeman, M. E. (1975) Predictive value of USDA beef quality grade factors for cooked meat palatability. *J. Food Sci.* **40**, 1225-1230.
5. Cross, H. R., West, R. L., and Dutson, T. R. (1980) Comparison of methods for measuring sarcomere length in beef *semitendinosus* muscle. *Meat Sci.* **5**, 261-266.
6. Crouse, J. D. and Smith, G. M. (1978) Relationship if selected beef carcass traits with meat palatability. *J. Food Sci.* **43**, 152-157.
7. Dikeman, M. E., Cundiff, L. W., Gregory, K. E., Kemp, K. E., and Koch, R. M. (1998) Relative contributions of subcutaneous and intermuscular fat to yield and predictability of retail product, fat trim, and bone in beef carcasses. *J. Anim. Sci.* **76**, 1604-1612.
8. Lepetit, J., Grajales, A., and Favier, R. (2000) Modelling the effect of sarcomere length on collagen thermal shortening in cooked meat: consequence on meat toughness. *Meat Sci.* **54**, 239-260.

9. Majorano, G., Filetti, F., Salvatori, G., Gambacorta, M., Bellitti, A., and Oriani, G. (2001) Growth, slaughter and intra-muscular collagen characteristics in garganica kids. *Small ruminant research*. **39**, 289-294.
10. May, S. G., Mies, W. L., Edwards, J. W., Williams, F. L., Wise, J. W., Morgan, J. B., Savell, J. W., and Cross, H. R. (1992) Beef carcass composition of slaughter cattle differing in frame size, muscle score, and external fatness. *J. Anim. Sci.* **70**, 2431.
11. McCormick, R. J. (1994) The flexibility of the collagen component of muscle. *Meat Sci.* **36**, 79-91.
12. Morgan, J. B., Savell, J. W., Hale, D. S., Miller, R. K., Graffin, D. B., Cross, H. R., and Shackelford, S. D. (1991) National beef tenderness survey. *J. Anim. Sci.* **69**, 3274-3283.
13. Nishimura, T., Hattori, A., and Takahashi, K. (1996) Relationship between degradation of proteoglycans and weakening of the intramuscular connective tissue during post-mortem aging of beef. *Meat Sci.* **42**, 251-260.
14. Nishimura, T., Liu, A., Hattori, A., and Takahashi, K. (1998) Changes in medical strength of intramuscular connective tissue during *postmortem* aging of beef. *J. Anim. Sci.* **76**, 528-532.
15. Ozawa, S., Mitsuhashi, T., Mitsumoto, M., Matsumoto, S., Itoh, N., Itagaki, K., Kohno, Y., and Dohgo, T. (2000) The characteristics of muscle fiber types of *longissimus thoracis* muscle and their influences on the quantity and quality of meat from Japanese black steers. *Meat Sci.* **54**, 65-70.
16. Park, G. B., Moon, S. S., Ko, Y. D., Ha, J. K., Chang, H. H., and Joo, S. T. (2002) Influence of slaughter weight and sex on yield and quality grades of *Hanwoo* (Korean native cattle) carcasses. *J. Anim. Sci.* **80**, 129-136.
17. Parrish, F. C. Jr. (1974) Relationship of marbling to meat tenderness. Proc. Meat Ind. Res. Conf. pp. 117-131. Arlington, VA.
18. Purchas, R. W. and Aungsupakorn, R. (1993) *Meat Sci.* **34**, 163.
19. SAS. (1999) SAS/STAT Software for PC. Release 6.11, SAS Institute, Cary, NC, U.S.A.
20. Shackelford, S. D. Koohmaraie, M., and Savell, J. W. (1994) Evaluation of *longissimus dorsi* muscle pH at three hours *postmortem* as a predictor of beef tenderness. *Meat Sci.* **37**(2), 195-204.
21. Smulders, F. J. M., Marsh, B. B., Swartz, D. R., Russell, R. L., and Hoenecke, M. E. (1990) Beef tenderness and sarcomere length. *Meat Sci.* **26**, 89-99.
22. Tatum, J. D., Smith, G. C., Berry, B. W., Murphey, C. E., Williams, F. L., and Carpenter, Z. L. (1980) Carcass characteristics, time on feed and cooked beef palatability attributes. *J. Anim. Sci.* **50**, 833-840.
23. Tornberg, E. (1996) Biophysical aspects of meat tenderness. *Meat Sci.* **43**, 175-191.
24. Wheeler, T. L., Shackelford, S. D., and Koohmaraie, M. (2000) Variation in proteolysis, sarcomere length, collagen content, and tenderness among major pork muscles. *J. Anim. Sci.* **78**, 958-965.

(2003. 2. 20. 접수 ; 2003. 4. 21. 채택)