

TITLE PAGE

- Food and Life-

Upload this completed form to website with submission

ARTICLE INFORMATION	Fill in information in each box below
Article Type	Article
Article Title (English)	Comparative study on fatty acid profiles of <i>Longissimus thoracis</i> across different marbling scores (7, 8, and 9) within 1⁺⁺ grade Hanwoo steers
Article Title (Korean) English papers can be omitted	한우 1 ⁺⁺ 등급 내 마블링 스코어(7, 8, 9) 차이가 등심의 지방산 프로파일에 미치는 영향 비교
Running Title (English, within 10 words)	Fatty acid profiles of <i>Longissimus thoracis</i> across different MS
Author (English)	Minkyung Woo ^{1*} , Shil Jin ^{2*} , Hanwool Do ² , Jeong Il Won ² , Sung-Sik Kang ² , Jun Kyu Son ² , Samooel Jung ¹
Affiliation (English)	¹ Department of Animal Science and Biotechnology, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea ² Hanwoo Research Center, National Institute of Animal Science, Pyeongchang 25340, Korea
Author (Korean) English papers can be omitted	우민경 ^{1*} , 진실 ^{2*} , 도한울 ² , 원정일 ² , 강성식 ² , 손준규 ² , 정사무엘 ¹
Affiliation (Korean) English papers can be omitted	¹ 충남대학교 축산학과 ² 국립축산과학원 축산자원개발부 한우연구센터
Special remarks – if authors have additional information to inform the editorial office	
ORCID and Position(All authors must have ORCID) (English) https://orcid.org	Minkyung Woo (https://orcid.org/0009-0007-5885-8340) Shil Jin(https://orcid.org/0000-0003-1120-3631) Hanwool Do(https://orcid.org/0009-0001-5128-4790) Jeong Il Won(https://orcid.org/0000-0003-3151-7144) Sung-Sik Kang(https://orcid.org/0000-0002-9453-5377) Jun Kyu Son(https://orcid.org/0000-0002-6266-3606) Samooel Jung (https://orcid.org/0000-0002-8116-188X)
Conflicts of interest (English) List any present or potential conflicts of interest for all authors. (This field may be published.)	The authors declare no potential conflict of interest.
Acknowledgements (English) State funding sources (grants, funding sources, equipment, and supplies). Include name and number of grant if available. (This field may be published.)	This research was supported by a Research Project of the Rural Development Administration (RDA), Republic of Korea (Project No. PJ01502802). This study was also supported by the 2026 RDA Fellowship Program at the National Institute of Animal Science, RDA, Republic of Korea.
Author contributions (This field may be published.)	*These authors contributed equally as a first author. *Woo M: Formal analysis, Data curation, Writing-Original draft preparation *Jin S: Formal analysis, Data curation, Writing-Original draft preparation Do H: Data curation, Writing-Review & Editing Won J: Writing-Review & Editing Kang S: Writing-Review & Editing Son J: Writing-Review & Editing Jung S: Conceptualization, Writing-Review & Editing
Ethics approval (IRB/IACUC) (English) (This field may be published.)	This manuscript does not require IRB/IACUC approval because there are no human and animal participants.

CORRESPONDING AUTHOR CONTACT INFORMATION

For the <u>corresponding</u> author (responsible for correspondence, proofreading, and reprints)	Fill in information in each box below
First name, middle initial, last name	Samooel Jung
Email address – this is where your proofs will be sent	samooel@cnu.ac.kr
Secondary Email address	
Postal address	Department of Animal Science and Biotechnology, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea
Cell phone number	
Office phone number	+82 42-821-5774
Fax number	+82 42-825-9754

Accepted

1 **Comparative study on fatty acid profiles of *Longissimus thoracis* across**
2 **different marbling scores (7, 8, and 9) within 1⁺⁺ grade Hanwoo steers**

3

Accepted

Abstract

This study investigated the effects of marbling score (MS) variations within Hanwoo quality grade 1⁺⁺ on the appearance and fatty acid composition of the *Longissimus thoracis* muscle. A total of 110 samples were categorized into three groups: MS 7 (n=34), MS 8 (n=30), and MS 9 (n=46). Meat color analysis revealed no significant differences in redness (a^*) and yellowness (b^*) among the groups ($P > 0.05$); however, lightness (L^*) was significantly higher in the MS 8 and MS 9 groups than in the MS 7 group ($P < 0.05$). Regarding fatty acid composition, myristic acid (C14:0) content increased significantly as the MS increased from 7 to 9 ($P < 0.05$). Conversely, the proportions of linoleic acid (C18:2, n-6), **dihomo- γ -linolenic acid** (C20:3, n-6), and arachidonic acid (C20:4, n-6) were significantly lower in the MS 9 group than in the MS 7 group ($P < 0.05$). Despite these variations, the Atherogenic Index (AI) and Thrombogenic Index (TI) did not differ significantly among the groups (**$P > 0.05$**). These results imply that even within the same 1⁺⁺ grade, the appearance and nutritional properties of Hanwoo beef vary according to the MS.

Keywords: Hanwoo, beef, marbling score, fatty acid profile

22 서론

23 우육의 품질을 결정하는 다양한 요인 중 근내지방(intramuscular fat) 함량은
24 연도, 다즙성 및 풍미를 결정하는 핵심 인자이다(Jin et al., 2025; Liu et al., 2025;
25 Jeon et al., 2024). 이러한 이유로 근내지방도는 소 도체 등급판정 시 육질을
26 평가하는 주요 지표로 활용되며, 높은 근내지방 함량은 상위 육질등급 판정으로
27 이어져 농가의 경제적 수익과 직결된다. 그러나 근내지방 축적을 위한 장기
28 사육은 농가의 생산비 부담을 가중시키며, 고열량 지방 섭취가 소비자 건강에
29 미칠 수 있는 잠재적 부정적 영향에 대한 우려가 지속적으로 제기되어 왔다. 이에
30 따라 국가적으로 사육 기간 단축이 권고되었으나, 이는 근내지방 함량 저하에
31 따른 육질 등급 하락의 우려를 낳았다. 이러한 산업적·사회적 요구를 반영하여
32 2019년 12월 소 도체 등급 판정 기준이 개정되었다. 개정 전 기준에서는
33 근내지방도(Marbling Score, MS) 8번과 9번만이 1⁺⁺ 등급을 부여받았고 MS 7번은
34 1⁺ 등급에 해당하였으나, 개정 후에는 MS 7, 8, 9번 모두 1⁺⁺ 등급으로 포함되도록
35 기준이 완화 및 확대되었다. 그 결과, 1⁺⁺ 등급 출현율은 2019년 15.7%에서 개정
36 직후인 2020년 22.5%, 2021년 23.8%로 증가하였으며, 2025년에는 28.9%에 달하는
37 것으로 나타났다(축산물품질평가원, 축산유통정보).

38 지방의 높은 열량으로 인한 과잉 섭취 경향은 현대인들에게 기피 요인이 되고
39 있으나, 영양학적 측면에서 지방은 필수 지방산 및 불포화 지방산을 공급하는
40 필수 영양소이다(Cougo et al., 2026; Lee et al., 2025; Kim et al., 2024a). 우육의
41 지방산 조성을 보면 단일 불포화 지방산인 oleic acid의 비중이 가장 높으며(Jung
42 et al., 2026), 이는 혈중 LDL-cholesterol 저하 및 심혈관계 질환 예방 등
43 보건학적으로 유익한 기능을 갖는다(Sales-Campos et al., 2013). 또한 우육에는

필수 지방산인 linoleic acid, linolenic acid 및 arachidonic acid 도 함유되어 있어 단순한 에너지원 이상의 가치를 지닌다. 기존 연구에 따르면 근내 지방의 축적은 단순히 지방 조직의 양적 증가에 그치지 않고, 지방 합성 과정에서 관여하는 stearoyl-CoA desaturase (SCD)와 같은 효소의 활성 변화를 동반하여 지방산의 질적 구성에 변화를 유도하는 것으로 알려져 있다(Barton et al., 2011; Kim et al., 2024b).

하지만 근내지방도에 따른 지방산 조성의 가변성에도 불구하고, 현행 등급 체계에서는 MS 7, 8, 9번 우육이 모두 동일한 1⁺⁺ 등급으로 분류 및 유통되고 있다. 이로 인해 등급 내 존재할 수 있는 품질 변이에 대한 정보가 미흡하며, 이는 소비자에게 정밀한 품질 지표를 제공하는 데 한계로 작용하고 있다. 따라서 본 연구는 1⁺⁺ 등급 한우 등심(*Longissimus thoracis*) 내에서 MS 차이가 지방산 조성 및 품질 특성에 미치는 영향을 확인하고자 수행되었다.

재료 및 방법

시료 준비

본 연구에는 강원도 평창·영월·정선 지역에서 사육된 한우 거세우 시료를 사용하였다. 공시축은 평창 소재 도축장에서 도축되었으며, 도축 후 48시간이 경과한 도체로부터 제13흉추부위의 배최장근(*Longissimus thoracis*)을 7~10 cm 두께로 채취하였다. 모든 시료는 도축 후 72시간 시점에 분석에 이용되었으며, 분석 전까지 냉장 상태(2°C)를 유지하였다. 총 110점의 시료는 근내지방도(MS)에

64 따라 세 그룹으로 분류하였으며, 각 그룹별 시료 수는 MS 7(n=34), MS 8(n=30) 및
65 MS 9(n=46)였다.

66

67 **육색 분석**

68 근내지방도에 따른 한우육의 육색 차이를 규명하기 위해 색도계(CM-5, Konica
69 Minolta Inc., Tokyo, Japan)를 사용하여 CIE L* (명도), a* (적색도) 및 b* (황색도) 값을
70 측정하였다. 시료의 분석 전 20분간 블루밍(Blooming) 과정을 거쳤으며, 지방층을
71 제외한 근육 표면의 서로 다른 지점을 3회 반복 측정하였다. 측정된 결과값은
72 전용 소프트웨어(Spectra Magic Software, Minolta, Japan)를 통해 평균값을
73 산출하여 분석에 이용하였다.

74

75 **지방산 조성 분석**

76 **지질추출**

77 한우 시료 내 지질은 Folch 등(1957)의 방법을 변형하여 추출하였다. 시료 10
78 g 에 Folch 용액(Chloroform:Methanol = 2:1, v/v) 100 mL 와 산화 방지를 위한 5%
79 pyrogallol 용액(in Ethanol) 2 mL 를 첨가한 후, 균질기(T25 basic, IKA GmbH & Co.
80 KG, Germany)를 사용하여 20초간 균질화하였다. 균질액은 25°C 배양기에서 150
81 rpm 으로 1시간 동안 반응시킨 후, Whatman No. 4 여과지를 이용하여 상등액을
82 회수하였다. 회수된 상등액 40 mL 에 0.9% NaCl 용액 8 mL 를 혼합하여 층 분리를
83 유도하였으며, 수거된 하층액을 45°C 에서 질소 가스로 농축하였다. 최종적으로
84 anhydrous sodium sulfate 로 수분을 제거하여 순수한 지질 추출물을 획득하였다.

85 메틸화(methylation)

86 추출된 지질(약 100 mg)에 내부 표준 물질(Internal Standard, IS)인
87 triundecanoate (C11:0, 1 mg/mL in iso-octane) 1 mL 와 0.5 N methanolic NaOH 1.5
88 mL 를 혼합하고, 85°C 항온 수조에서 10분간 가열하여 비누화하였다. 냉각 후,
89 BF₃-Methanol 2 mL 를 첨가하여 동일 조건에서 가열함으로써
90 메틸화(Methylation)를 수행하였다. 이후 iso-octane 2 mL 와 포화 NaCl 용액 1
91 mL 를 첨가하여 각각 1분간 혼합하고, 원심분리기(1580 R, LABOGENE Co, Ltd.,
92 Denmark)로 2,500 rpm 및 4°C 조건에서 3분간 원심 분리하였다. 획득된 상등액은
93 anhydrous sodium sulfate 로 탈수한 후 GC 분석용 시료로 사용하였다.

94 기체 크로마토그래피 분석

95 지방산 메틸 에스테르(Fatty Acid Methyl Esters, FAME) 분석은 SP-2560 capillary
96 column (100 m × 0.25 mm × 0.2 µm)이 장착된 기체 크로마토그래프(Agilent GC
97 6890N, USA)를 이용하였다. Split ratio 는 200:1, 주입기(Injector) 및
98 검출기(Detector) 온도는 225°C 로 설정하였으며, 운반 기체인 질소(N₂)의 유속은
99 0.75 mL/min 으로 유지하였다. 오븐 온도는 100°C 에서 4분간 유지 후, 3°C/min 의
100 속도로 220°C 까지 승온하여 10분간 유지하였다. 각 지방산의 피크는 FAME Mix-
101 37 표준 물질(Sigma-Aldrich, USA)의 유지 시간(Retention time)과 비교하여
102 동정하였으며, 함량은 총 지방산 피크 면적에 대한 백분율(%)로 계산하였다.

103

104 동맥경화 및 혈전형성 지수 분석

105 우육의 보건학적 가치를 평가하기 위해 동맥경화 유발 지수(Atherogenic index,
106 AI)와 혈전 유발 지수(Thrombogenic index, TI)를 아래 식에 의거하여 산출하였다.

107
$$AI = [C_{12:0} + (4 \times C_{14:0}) + C_{16:0}] / \Sigma UFA$$

108
$$TI = (C_{14:0} + C_{16:0} + C_{18:0}) / [(0.5 \times \Sigma n-6PUFA) + (3 \times \Sigma n-3PUFA) + (n-3FA/n-6FA)]$$

109

110 통계분석

111 본 연구의 모든 데이터는 SAS 프로그램(version 9.4, SAS Institute Inc., Cary, NC,
112 USA)의 PROC MIXED 를 이용하여 혼합 모형(Mixed model) 분석을 실시하였다.

113 통계 분석 시 MS 를 고정효과(Fixed effect)로, 소 도체의 도축 일자를 임의
114 효과(Random effect)로 설정하였다. 분석 결과는 최소제곱평균(Least-squares
115 means, LSM)과 평균의 표준오차(Standard error of the means, SEM)로 나타내었다.
116 처리군(MS 7, 8, 9) 간의 유의성 검정은 Tukey 의 다중검정법(Tukey's multiple range
117 test)을 이용하였으며, $P < 0.05$ 수준에서 통계적 유의성을 판정하였다.

118

119

120 결과 및 고찰

121 등심 이미지 및 육색

122 근내지방도(MS)에 따른 한우 등심의 조지방 함량을 분석한 결과, MS 7, 8 및 9
123 그룹에서 각각 19.58%, 20.68% 및 27.43%로 나타났다. 통계적으로 MS 7과 MS 8
124 사이에는 유의적인 차이가 없었으나, MS 9 그룹은 MS 7 및 8 그룹과 비교하여

조지방 함량이 유의적으로 높게 나타났다($P<0.05$; data not shown). 이러한 정량적 분석 결과는 시료의 외관적 특성을 나타낸 Figure 1과도 일치하였다. 육안 관찰 시 MS 9 그룹은 MS 7 그룹에 비해 근내지방이 더욱 조밀하고 풍부하게 분포되어 있음을 확인할 수 있었다. 이는 동일한 1⁺⁺ 등급으로 분류되더라도 MS 7과 MS 9 사이에는 실질적인 근내지방 함량 차이가 존재함을 의미하며, 실제 소비자가 육안으로 등심을 선택할 때에도 그 차이를 인지할 수 있는 수준으로 생각된다.

식육의 육색은 소비자가 품질을 예측하고 구매 여부를 결정하는 핵심 지표이며, 일반적으로 선명한 선홍색(Bright cherry-red)을 띠는 육류에 대한 선호도가 높다(Thies et al., 2024). 본 연구 결과, MS 7, 8 및 9 그룹 간의 적색도(a^*)와 황색도(b^*)는 유의적인 차이를 보이지 않았다(Table 1). 반면, 명도(L^*)는 MS 8 및 9 그룹이 MS 7 그룹에 비해 유의적으로 높게 나타났다($P<0.05$). 이는 근내지방도와 명도 사이에 정의 상관관계가 있다는 기존 연구 보고와 일치하는 결과이다(Zhang et al., 2022). 또한, Im et al. (2024)은 한우 채끝 등심의 근내지방 함량이 높을수록 명도값이 유의적으로 증가하나 적색도에는 유의한 차이가 없음을 보고한 바 있어 본 연구 결과와 유사하였다. 식육의 육색은 육색소 단백질인 myoglobin 의 함량 및 화학적 상태 뿐만 아니라, 근육 표면에서의 빛의 산란과 흡수 정도에 의해 결정된다(Cha et al., 2025). 본 연구에서 MS 9 그룹의 명도가 높게 나타난 것은 근내지방 함량의 증가로 인해 상대적으로 근섬유 밀집도가 감소하고, 백색의 지방 조직에 의한 빛의 산란 효과가 증대되었기 때문으로 판단된다(Zhang et al., 2022).

등심 지방산 조성

근내지방도에 따른 한우 등심의 지방산 조성 분석 결과를 Table 2에
제시하였다. 분석 결과 myristic acid (C14:0), myristoleic acid (C14:1), margaric acid
(C17:0), linoleic acid (C18:2, n-6), linolenic acid (C18:3, n-3), eicosadienoic acid
(C20:2), dihomo- γ -linolenic acid (C20:3, n-6) 및 arachidonic acid (C20:4, n-6)
조성에서 MS 그룹 간 유의적인 차이가 관찰되었다. 특히 MS 함량 증가에 따른
선형적인 증감 추세는 C14:0, C18:2, C20:3 및 C20:4에서 명확하게 나타났다.

포화지방산인 myristic acid 의 조성은 MS 9 그룹이 MS 7 그룹에 비해
유의적으로 높았으며($P < 0.05$), 이는 우육 등심의 근내지방 함량과 myristic acid
조성 사이에 유의미한 정의 상관관계($r = 0.48$)가 존재한다는 기존 연구 결과와
일치한다(Kakala et al., 1999).

반면 불포화 지방산인 linoleic acid, dihomo- γ -linolenic acid 및 arachidonic
acid 의 조성은 MS 9 그룹에서 MS 7 그룹 대비 유의적으로 낮게 나타났다($P < 0.05$).
이러한 결과는 근내지방 함량이 증가할수록 필수 지방산인 C18:2($r = -0.40$)와
C20:4($r = -0.33$)의 조성이 감소한다는 보고(Hoehne et al., 2012)를 뒷받침한다. 본
연구에서 중성지질과 인지질 분획을 직접 분리하여 정량 하지는 않았으나, 이러한
현상은 고도의 근내지방 축적 과정에서 중성지질 (triglyceride)의 급격한 축적으로
인해 상대적으로 인지질(phospholipid)의 비율이 감소하는 것에 따른 결과로
추정된다. 특히 linoleic acid 는 인지질의 주요 구성 지방산이므로, 중성지질
비중이 높은 고마블링 우육에서 그 조성이 낮아지는 결과를 초래한다(Ren et al.,
2025).

우육의 지방산 조성은 지방의 영양학적 가치와 품질을 결정하는 핵심 지표이다.
최근 연구에 따르면, 포화지방산 섭취가 심혈관계 질환에 미치는 영향은 총 LDL

168 수치보다 입자 크기가 작고 밀도가 높은 small dense LDL (sdLDL)의 양에 의해
169 결정된다는 새로운 관점이 제시되고 있다(Astrup et al., 2020). 포화지방산은 주로
170 무해한 large buoyant LDL 을 증가시킬 뿐 sdLDL 형성에 미치는 영향은
171 미미함에도 불구하고(Adams et al., 2010), 대중적인 소비자 인식 측면에서
172 포화지방산은 여전히 기피 요인으로 작용하고 있다. 따라서 본 연구 결과, MS 9
173 그룹에서 관찰된 높은 포화지방산 조성은 소비자에게 부정적인 품질 특성으로
174 인식될 가능성이 크다. 또한, 체내 건강 유지에 필수적이며 외부 섭취가 요구되는
175 linoleic acid 와 arachidonic acid 의 조성이 MS 9에서 유의적으로 낮아졌으며, 전체
176 다가불포화지방산(PUFA) 비율 또한 MS 7 그룹(3.10%) 대비 MS 9 그룹(2.69%)에서
177 감소하였다. 이러한 결과는 지방의 양적 측면(함량)에서는 MS 9이 우수할 수
178 있으나, 영양학적 질(quality) 측면에서는 MS 9 등심이 MS 7 대비 다소 낮을 수
179 있음을 시사한다.

180

181 **보건학적 지수 분석**

182 근내지방도 차이가 한우 등심 지방의 보건학적 가치에 미치는 영향을 평가하기
183 위해 동맥경화 유발 지수(Atherogenic Index, AI)와 혈전 유발 지수(Thrombogenic
184 Index, TI)를 산출하였다(Figure 2). 분석 결과, AI 와 TI 모두 모든 MS 그룹 간에
185 통계적으로 유의적인 차이가 나타나지 않았다($P>0.05$).

186 AI 와 TI 는 식육 내 포화지방산과 불포화지방산의 상대적 비율 및 각 지방산의
187 생리 활성을 종합적으로 고려한 수치로, 심혈관계 질환 예방 측면에서 지방의
188 품질을 판단하는 중요한 척도로 이용된다(Mokhtari & Farhangi, 2025). 일반적으로

189 이 지수들이 낮을수록 보건학적으로 우수한 것으로 간주된다. 본 연구에서 MS 9
190 그룹은 앞선 결과에서 myristic acid(C14:0)와 같은 특정 포화지방산의 조성이
191 유의적으로 높았음에도 불구하고, 종합적인 AI 및 TI 수치에서 MS 7 그룹과
192 유사한 수준을 유지하였다.

193 이는 근내지방 함량이 증가하더라도 전체적인 지방산의 균형 측면에서는
194 심혈관 건강에 미치는 잠재적 위험성이 유의미하게 높아지지 않음을 시사한다.
195 따라서 1⁺⁺ 등급 내에서 근내지방도가 높은 우육을 선택하더라도, 지방산 조성의
196 종합적인 보건학적 지수 측면에서는 낮은 근내지방도 제품과 차별적인 건강 위해
197 요소가 없음을 의미한다.

198

199 결론

200 본 연구는 한우 1⁺⁺ 등급 내 근내지방도(MS 7, 8, 9)의 차이가 등심의 외관 및
201 지방산 특성에 미치는 영향을 규명하고자 수행되었다. 연구 결과, MS 9 그룹은
202 높은 근내지방 함량으로 인해 MS 7 그룹 대비 육색의 명도(L*)가 유의적으로 높게
203 나타나 외관적 차별성을 보였다. 지방산 조성 분석에서는 MS 9 그룹이 MS 7
204 그룹에 비해 포화지방산인 myristic acid 의 조성은 높은 반면, 필수 지방산인
205 linoleic acid 및 arachidonic acid 의 조성은 낮아 영양학적 조성 측면에서는 다소
206 낮은 특성을 나타냈다. 그러나 동맥경화 유발 지수(AI) 및 혈전 유발 지수(TI)는
207 MS 등급과 관계없이 유사한 수준을 유지하여, 근내지방 함량 증가에 따른
208 종합적인 보건학적 위해 요소의 증가는 관찰되지 않았다.

결론적으로, 본 연구는 2019년 개정 등급제 도입 이후, 동일한 1⁺⁺ 등급으로
묶여 유통되는 한우 등심이라 할지라도 세부 MS(7, 8, 9)에 따라 시각적
명도(L*)뿐만 아니라 필수지방산 및 다가불포화지방산 조성에서 실질적인 품질
경향성의 차이가 존재함을 확인하였다. 따라서 향후 소고기 육질 등급 체계에
대한 소비자 정보 제공 및 홍보 시, 이러한 세부 등급별 품질 특성을 함께
고려함으로써 소비자의 알 권리를 충족시키고 선택의 폭을 넓히는 정책적 노력이
필요할 것으로 사료된다.

216

217

218 References

219 Adams TH, Walzem RL, Smith DR, Tseng S, Smith SB. 2010. Hamburger high in total,
220 saturated and trans-fatty acids decreases hdl cholesterol and ldl particle diameter, and
221 increase tag, in mildly hypercholesteremic men. Br J Nutr 103: 91-98.

222 Astrup A, Magkos F, Bier DM, Brenna JT, de Oliveira Otto MC, Hill JO, King JC, Menta A,
223 Orlovas JM, Volk JS, Yusuf S, Krauss RM. 2020. Saturated fats and health: a reassessment
224 and proposal for food-based recommendations: jacc state of the art review. J Am Coll Cardiol
225 76: 844-857.

226 Barton L, Bures D, Kott T, Rehak D. 2011. Effect of sex and age on bovine muscle and adipose
227 fatty acid composition and stearoyl-CoA desaturase mRNA expression. Meat Sci 89(4): 444-
228 450.

229 Cha JY, Kim YJ, Kim JH, Park MK, Jung S, Choi YS. 2025. Study on structural analysis and
230 physicochemical properties of meat using hyperspectral image analysis. Food and Life

2025(1): 15-22.

Cougo ACTS, Souza G, Bonjour F, Irigaray BA, Jachmanian I, Brito G, Campo MDM, Ibanez F, Luzardo S. 2026. Bioactive compounds and fatty acid composition in raw and cooked beef with two different ageing periods. *Meat Sci* 234: 110045.

Hoehne A, Nuernberg G, Kuehn C, Nuernberg K. 2012. Relationships between intramuscular fat content, selected carcass traits, and fatty acid profile in bull using a F2-population. *Meat Sci* 90: 629-635.

Jeon H, Lee S, Kim D, Kim HB, Bae IS, Kim Y, Seong PN, Jo K. 2024. Correlation of electrical conductivity and color with water loss and shear force of pork loin. *Korean J of Agricultural Sci* 51(3): 307-314.

Jin S, Kim HJ, Won JI, Jang SS, Kang SS, Kim SW. 2025. Genetic analysis and genomic evaluation of marbling fineness in highly marbled Hanwoo steers. *Korean J of Agricultural Sci* 52(2): 279-288.

Jung Y, Kim D, Jeong D, Oh S, Park BK, Sujiwo J, Yoon SK, Jang A. 2026. Differences in physicochemical traits, bioactive and flavor compounds, and sensory attributes of Hanwoo beef loin according to slaughter age. *Meat Sci* 234: 110038.

Kazala EC, Lozeman FJ, Mir PS, Laroche A, Bailey DRC, Weselake RJ. 1999. Relationship of fatty acid composition to intramuscular fat content in beef from crossbred Wagyu cattle. *J Anim Sci* 77: 1717-1725.

Kim SI. 2025. Effects of quality grade on fatty acid composition and melting points of different adipose tissues of Hanwoo steers. *Korean J of Agricultural Sci* 52: 119-127

Kim S, Choi J, Kim ES, Keum GB, Doo H, Kwak J, Ryu S, Choi Y, Kang J, Kim H, Chae Y, Lee Y, Kim D, Seol KH, Kang SM, Kim Y, Seong PN, Bae IB, Cho S, Kwon HJ, Jung S, Lee

254 Y, Kim HB. 2024a. Assessing the relationship between muscle-to-fat ratio in pork belly and
 255 boston butt using magnetic resonance imaging. *Korean J of Agricultural Sci* 51(2): 187-192.

256 Kim S, Choi J, Kim ES, Keum GB, Doo H, kwak J, Ryu S, Choi Y, Kang J, Kim H, Chae Y,
 257 Sung A, Lee Y, Kim D, Seol KH, Kang SM, Kim Y, Seong PN, Bae IS, Cho S, Kwon HJ,
 258 Jung S, Lee Y, Kim HB. 2024b. A study on the correlation between muscle-to-fat ratio in
 259 Boston butt, pork belly, and half-carcass. *Korean J of Agricultural Sci* 51: 443-450.

260 Korea Institute for Animal Products Quality Evaluation.
 261 [https://www.ekapepia.com/v3/supplyTrend/statistics/grade/cow.do?programUrl=%2Fgradei](https://www.ekapepia.com/v3/supplyTrend/statistics/grade/cow.do?programUrl=%2Fgradeinfo%2Fstatistics%2Fcow_statistics_1.asp&startDate=2019-01&endDate=2019-12&sidocode=&abattcode=)
 262 [nfo%2Fstatistics%2Fcow_statistics_1.asp&startDate=2019-01&endDate=2019-](https://www.ekapepia.com/v3/supplyTrend/statistics/grade/cow.do?programUrl=%2Fgradeinfo%2Fstatistics%2Fcow_statistics_1.asp&startDate=2019-01&endDate=2019-12&sidocode=&abattcode=)
 263 [12&sidocode=&abattcode=](https://www.ekapepia.com/v3/supplyTrend/statistics/grade/cow.do?programUrl=%2Fgradeinfo%2Fstatistics%2Fcow_statistics_1.asp&startDate=2019-01&endDate=2019-12&sidocode=&abattcode=) (Retrieved date: April 17, 2026)

264 Lee S, Jo K, Park MK, Choi YS, Jung S. 2025. Role of lipids in beef flavor: A review of research
 265 from the past 20 years. *Food Chem* 475: 143310.

266 Liu X, Song Y, Hwang IH. 2025. Characterization of Hanwoo beef flavor across cooking
 267 doneness levels using solid-phase microextraction gas chromatography-mass spectrometry
 268 and chemometric analysis. *Food and Life* 2025(2): 65-72.

269 Mokhtari R, Farhangi MA. 2025. Dietary and plasma atherogenic and thrombogenic indices
 270 and cardiometabolic risk factors among overweight and individuals with obesity. *BMC*
 271 *Endocr Disord* 7: 25-33.

272 Ren Y, Zhou L, Tang C, Li J, Shi Y, Zhao Q, Zhang J, Bai Y. 2025. Characterization of lipid
 273 distribution and volatile profile in high-marbling beef of Jiaxian Red cattle. *J Food Compo*
 274 *Anal* 141: 107374.

275 Sales-Campos H, de Souza PR, Peghini BC, da Silva JS, Cardos CR. 2013. An overview of the
 276 modulatory effects of oleic acid in health and disease. *Mini-Rev Med Chem* 13(2): 201-210.

Thies AJ, Almann BA, Countryman AM, Smith C, Nair MN. 2024. Consumer willingness to pay (WTP) for beef based on color and price discounts. Meat Sci 217: 109597.

Zhang X, Liu C, Kong Y, Li F, Yue X. 2022. Effects of intramuscular fat on meat quality and its regulation mechanisms in Tan sheep. Front Nutr 9: 908355.

Figure legend.

Figure 1. Representative images of Hanwoo *Longissimus thoracis* muscle across different marbling scores

(7) Beef loin with a marbling score of 7; (8) Beef loin with a marbling score of 8; (9) Beef loin with a marbling score of 9.

Figure 2. Atherogenic index (AI) and Thrombogenic index (TI) of Hanwoo *Longissimus thoracis* muscle according to different marbling scores.

(7) Beef loin with a marbling score of 7; (8) Beef loin with a marbling score of 8; (9) Beef loin with a marbling score of 9.



Figure 1.

Accepted

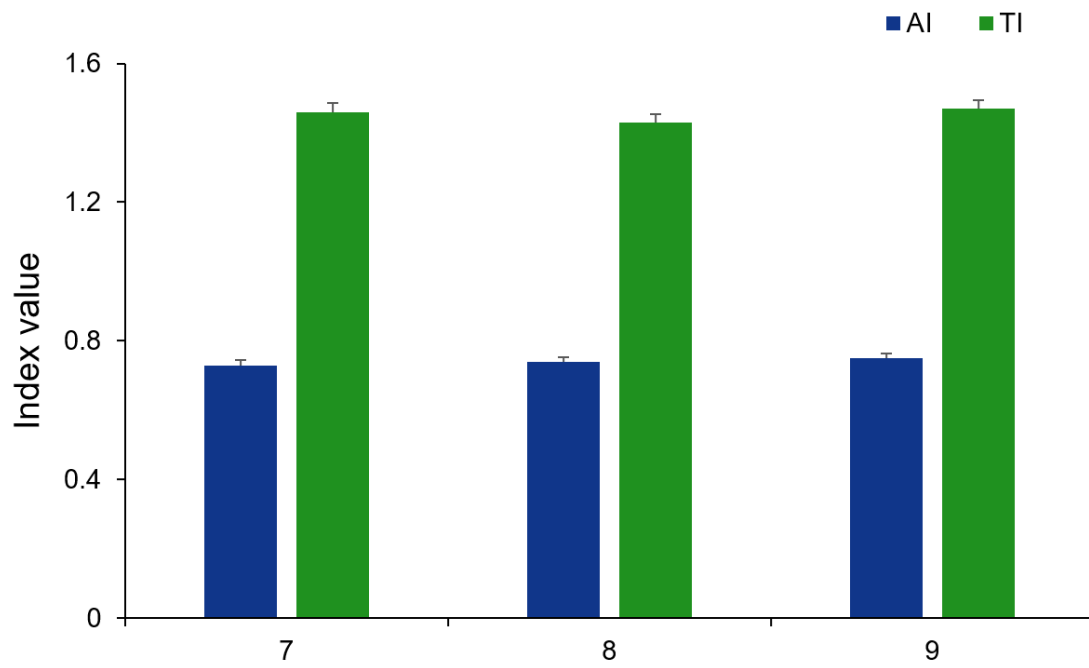


Figure 2.

Table 1. Color properties (CIE L*, a*, b*) of Hanwoo *Longissimus thoracis* muscle according to different marbling scores.

	<i>L</i> *	<i>a</i> *	<i>b</i> *
MS 7	36.31 ^B	19.10	16.46
MS 8	38.32 ^A	18.91	16.90
MS 9	38.47 ^A	18.54	17.07
SEM ¹	0.560	0.272	0.259

¹ Standard error of the least square mean

^{A-B} Different letters indicate significant differences between means of marbling scores ($P<0.05$).

Table 2. Fatty acid composition (%) of Hanwoo *Longissimus thoracis* muscle according to different marbling scores.

	MS 7	MS 8	MS 9	SEM ¹
C12:0	0.10	0.10	0.11	0.008
C14:0	3.47 ^B	3.68 ^{AB}	3.79 ^A	0.085
C14:1	0.99 ^B	1.20 ^A	1.12 ^{AB}	0.056
C15:0	0.31	0.28	0.30	0.012
C16:0	27.52	27.38	27.28	0.289
C16:1	4.97	5.41	5.29	0.133
C17:0	0.71 ^{AB}	0.64 ^B	0.71 ^A	0.020
C17:1	0.66	0.64	0.65	0.018
C18:0	10.75	10.28	10.79	0.209
C18:1 trans ⁹	1.74	1.68	1.88	0.138
C18:1 cis ⁹	45.32	45.47	45.00	0.360
C18:2 trans	0.20	0.22	0.27	0.045
C18:2 n-6	2.26 ^A	2.02 ^{AB}	1.93 ^B	0.081
C20:0	0.09	0.09	0.10	0.006
C18:3 n-6	0.04	0.05	0.04	0.004
C20:1	0.30	0.31	0.27	0.017
C18:3 n-3	0.11 ^{AB}	0.15 ^A	0.09 ^B	0.015
C20:2	0.04 ^{AB}	0.05 ^A	0.03 ^B	0.004
C20:3 n-6	0.17 ^A	0.16 ^{AB}	0.15 ^B	0.006
C20:4 n-6	0.25 ^A	0.22 ^A	0.18 ^B	0.010
SFA	42.73	42.22	43.09	0.410
MUFA	54.17	54.88	54.22	0.401
PUFA	3.10 ^A	2.89 ^{AB}	2.69 ^B	0.093

¹ Standard error of the least square mean

^{A-B} Different letters indicate significant differences between means of marbling scores ($P < 0.05$).