

ARTICLE

도체 예냉방법이 돼지 등가장간근의 육질 특성에 미치는 영향

강선문* · 정숙한 · Van Ba Hoa · 김동균 · 성필남

농촌진흥청 국립축산과학원 축산푸드테크과

Effect of Carcass Chilling Method on the Meat Quality Characteristics of *M. Longissimus dorsi* from Pig

Sun Moon Kang*, Suk Han Jung, Van Ba Hoa,
Dong-Gyun Kim, Pil-Nam Seong

Animal Resources Food Tech Division, National Institute of Animal Science, RDA,
Wanju 55365, Republic of Korea

Received: October 23, 2025

Revised: November 08, 2025

Accepted: November 10, 2025

*Corresponding author :

Sun Moon Kang
Animal Resources Food Tech Division,
National Institute of Animal Science,
RDA, Wanju 55365, Republic of Korea
Tel : +82-63-238-7352
E-mail : smkang77@korea.kr

Copyright © 2025 Resources Science Research Institute, Kongju National University. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ORCID

Sun Moon Kang
<https://orcid.org/0000-0003-3947-4337>
Suk Han Jung
<https://orcid.org/0000-0003-3428-012X>
Van Ba Hoa
<https://orcid.org/0000-0001-8725-1504>
Dong-Gyun Kim
<https://orcid.org/0000-0002-8416-0436>
Pil-Nam Seong
<https://orcid.org/0000-0003-2915-1059>

Abstract

This research was conducted to investigate the effect of carcass chilling method on the meat quality characteristics of the porcine *longissimus dorsi* muscle. Thirty-five heads of castrated pigs were assigned to four groups according to different chilling methods (T1: -15°C for 40 min → -2°C for 15 h 50 min; T2: -25°C for 1 h 30 min → -2°C for 15 h; T3: 4°C for 16 h 30 min; T4: -2°C). After chilling, *M. longissimus dorsi* was collected from carcasses and utilized for quality measurement. At the end of chilling, the internal temperatures of loin and hind leg in T1, T2, and T4 were below 5°C. Total plate count, coliform, and *Staphylococcus* spp. of carcass did not differ significantly among chilling methods. Meat pH value and water-holding capacity were higher ($p<0.05$) in T4 than in T1 and T3. Cooking loss and Warner-Bratzler shear force value were not significantly different among all groups. Regarding meat color, T3 and T4 exhibited lower ($p<0.05$) b* and h° compared to T1. These findings suggest that chilling at -2°C could be the most suitable method for improving pork quality.

Keywords

Carcass chilling, Pork quality, Internal temperature, Water-holding capacity, Meat color

I. 서 론

우리나라 양돈산업의 생산액(2023년 기준)은 전체 축산업의 37.6%인 9조 1,127억 원으로 모든 축종들 중에서 가장 높은 비중을 차지하고 있으며, 2019년부터 2023년까지 최근 5년간 연평균 7.3%씩 지속적으로 증가하고 있다(MAFRA, 2024). 또한 돼지 도축 마릿수(2023년 기준)는 1,877만 두로 이 역시 매년 1.0%씩 지속적으로 증가하고 있는 실정이다(APQA, 2025). 이에 따라 연간 1인당 돼지고기 소비량도 2019년 26.8 kg에서 2023년 29.6 kg으로 연평균 2.0%씩 증가하고 있으며(MAFRA, 2024), 2034년 이후에는 32 kg 이상으로 증가할 것으로 전망하고 있다(KREI, 2025).

일반적으로 품질은 소비자들이 돼지고기 구매 시 고려하는 요인들 중 하나이다(KREI, 2025). 소비자들은 돼지고기의 품질이 우수하다면, 고액을 지불해서라도 구매할 정도로 품질을 매우 중요하게 생각한다(Murphy et al., 2015). 돼지고기의 품질은 크게 도축 전 요인과 도축 후 요인에 의해 영향을 받으며, 도축 전 요인에는 품종, 할로세인 유전자(halothane gene), 사양체계, 급여 사료, 도축 전 취급 방법, 기절방법 등, 도축 후 요인에는 도체 예냉, 숙성, 포장방법 등 다양한 요인들이 있다(Davis et al., 2004; Rosenvold and Andersen, 2003; Viana et al., 2005).

도체 예냉은 도축 후 요인들 중 돼지고기의 생산단계에서 가장 첫번째로 품질에 영향을 미치는 요인이다(Savell *et al.*, 2005). 만약 도체 예냉을 실시하지 않거나 부적절한 예냉방법을 적용할 경우, 사후 근육의 단축으로 보수력이 떨어지고, 조직감이 질겨지는 등 돼지고기의 품질이 현저하게 떨어지게 된다(Herring *et al.*, 1965). 따라서 본 연구는 도체 예냉 시 온도조건과 시간이 돼지 등가장긴근(*M. longissimus dorsi*)의 육질 특성에 미치는 영향을 구명하고자 실시하였다.

II. 재료 및 방법

1. 시험축 및 실험설계

본 연구는 국립축산과학원 동물실험윤리위원회에 의해 승인받아(동물실험 승인번호: NIAS 2020-0434) 실시하였다. 삼원교잡종(L × Y × D) 거세돼지 35두(출하체중: 111.1±6.8 kg)를 시험축으로 이용하였으며, 축산물 위생관리법 시행규칙(MFDS, 2021)의 제2조 별표 1(가축의 도살, 처리 및 집유의 기준)에 따라 도살하였다. 우선, 저전압(220V)으로 2~3초간 기절시키고, 뒷다리를 매달아 목동맥을 절단하여 방혈한 다음 스텀팅박(60°C), 탈모 및 화염 잔모 제거를 실시하였다. 이후 배를 정중앙으로 절개하여 내장을 적출하고, 온도체를 이분 및 세척한 다음, 도체 냉각실에 입고하여 총 16시간 30분 동안 예냉하였다. 돼지도체 예냉방법은 Table 1과 같이 4개 처리구로 나누어 실시하였으며, 2개 처리구(T1 및 T2)에는 예냉 초기 냉동온도(-15°C 및 -25°C)를 적용한 급속 예냉, 나머지 2개 처리구(T3 및 T4)에는 통상적인 냉장온도(4°C 및 -2°C)를 예냉 시작부터 종료 시까지 적용한 비급속 예냉을 처리하였다. 공시재료는 소·돼지 식육의 표시방법 및 부위 구분 기준(MFDS, 2019)의 제5조 별표 3(돼지고기의 부위별 분할정형 기준)에 따라 좌도체로부터 등가장긴근(*M. longissimus dorsi*)을 분할한 다음, 등지방, 혈액 및 결체조직을 제거하여 육질 특성 분석에 이용하였다.

2. 도체 심부온도

도체 중심온도는 예냉이 완료된 즉시 디지털 심부온도계(TR-71wf, T&D Corp., Japan)를 이용하여 등심 및 뒷다리 부위에서 측정하였다.

3. 도체 미생물수

도체 미생물수는 MFDS(2022)의 방법에 준하여 실시하였다. 예냉이 완료된 후에 뒷다리 및 목 부위에 멸균한 알루미늄 plate(5 × 5 cm)를 밀착시키고, swab 면봉(3M Co., USA)으로 수차례 문질러 미생물을 채취한 후, 멸균 생리식염수(3M Co., USA)로 10배씩 희석하였다. 희석액을 일반세균, 대장균 및 포도상구균 검사용 petri film(3M Co., USA)에 접종한 다음 37°C에서 48시간 배양한 후 colony수를 측정하였으며, 최종결과는 CFU/cm²로 산출하였다.

4. pH

pH 측정은 Seyfert 등(2007)의 방법에 따라 실시하였다. 시료 10 g과 증류수 90 mL를 초고속 균질

Table 1. Experimental treatments with carcass chilling methods

Treatments	Head	Carcass chilling method
T1	10	-15°C for 40 min → -2°C for 15 h 50 min
T2	10	-25°C for 1 h 30 min → -2°C for 15 h
T3	5	4°C for 16 h 30 min
T4	10	-2°C for 16 h 30 min

기(PT-MR2100, Kinematica AG, Switzerland)로 968×g에서 1분간 혼합한 후 pH meter(SevenEasy pH S20K, Mettler-Toledo AG, Switzerland)로 측정하였다.

5. 보수력

보수력은 Fischer 등(1976)의 고속원심분리법에 의해 실시하였다. 잘게 다진 시료 1 g을 원심분리 용 tube에 정량한 후 10°C, 70,000×g(JYN-26, Beckman Coulter, Inc., USA)에서 30분간 원심분리하였다. Tube 하단에 유출된 육즙을 filter paper No. 2(Whatman PLC, UK)로 1시간 동안 흡수한 다음, 육즙의 무게를 paper의 육즙 흡수 전후 무게 차이로 산출하였다. 최종 결과는 원심분리 전 시료의 수분 함량에 대한 원심분리 후 시료가 보유하고 있는 수분 함량의 백분율(%)로 산출하였다.

6. 가열감량

가열감량은 Honikel(1998)의 방법에 의해 실시하였다. 시료를 약 3 cm 두께로 절단한 후 무게를 정량하고, 식품포장용 저밀도 폴리에틸렌 지퍼백(Cleanlab Co., Korea)에 넣었다. 포장한 시료를 80°C water bath(WSB-45, Daihan Scientific Co., Ltd., Korea)에 담가 시료의 중심온도가 75°C로 될 때까지 가열한 다음 얼음물에 담가 1시간 동안 냉각하고, 4°C 냉장고에 하루 동안 보관하였다. 시료의 중심온도는 디지털 심부온도계(307B, Tecpel Co., Ltd, Taiwan)를 이용하여 측정하였다. 이후 페이퍼 타월로 시료 표면에 유출된 육즙을 제거하고 시료의 무게를 측정하였다. 최종결과는 가열 전 시료 무게에 대한 가열 중 발생한 육즙 무게의 백분율(%)로 산출하였다.

7. 전단가

전단가는 Honikel(1998)의 방법에 의해 실시하였다. 가열감량 측정이 완료된 시료를 직경 약 1 cm의 원통으로 성형한 다음 Instron Universal Testing Machine(5543, Instron Corp., USA; load cell: 500 N)의 Warner-Bratzler shear force blade로 근섬유 방향의 직각으로 시료의 중간 부위를 절단하였으며, 이때 절단 속도는 1 mm/sec이었다. 최종결과는 시료를 절단 시 산출된 peak에서 최대 점에 해당되는 수치(kgf)로 나타내었다.

8. 육색

시료 표면을 식품포장용 선상 저밀도 폴리에틸렌 랩(Cleanlab Co., Korea)으로 덮고, 4°C 냉장고 (DS-95P, Dasol Co., Ltd., Korea)에서 30분간 방치한 후 chroma meter(CR-400, Konica Minolta Sensing Inc., Japan)를 이용하여 명도(L^*), 적색도(a^*), 황색도(b^*), 채도(C^*) 및 갈색도(h^o)를 측정하였다. Chroma meter는 사용 직전에 calibrate plate($L^*=94.48$, $a^*=0.16$, $b^*=2.29$; light source: illuminant C; CRA43, Konica Minolta Sensing Inc., Japan)로 보정하였다.

9. 통계분석

본 실험을 통해 얻은 모든 자료들은 SPSS(2019) program(PASW 26)을 이용하여 통계분석하였다. 도체 예냉방법에 따른 도체의 심부온도, 미생물수와 등가장긴근의 pH, 보수력, 가열감량, 전단가 및 육색은 one-way ANOVA로 분석하였으며, Duncan's multiple range test로 각 평균들간 유의성 차이를 95% 수준에서 검증하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 도체 심부온도

도체 예냉방법이 돼지 도체 심부온도에 미치는 영향은 Table 2와 같다. 등심의 경우, T1(-15°C 급

Table 2. Effect of carcass chilling method on the internal temperature of carcass from pig

Trait	Carcass chilling method ²⁾				SEM ¹⁾
	T1	T2	T3	T4	
Loin (°C)	1.45 ^c	1.98 ^{bc}	8.12 ^a	2.24 ^b	0.39
Hind leg (°C)	2.33 ^c	3.50 ^b	9.28 ^a	2.90 ^{bc}	0.41

^{a-c} Means in the same row with different superscripts differ significantly ($p<0.05$).

¹⁾ SEM: standard error of the means.

²⁾ T1: -15°C, 40 min → -2°C, 15 h 50 min; T2: -25°C, 1 h 30 min → -2°C, 15 h; T3: 4°C, 16 h 30 min; T4: -2°C, 16 h 30 min.

속 예냉 → -2°C 비급속 예냉), T2(-25°C 급속 예냉 → -2°C 비급속 예냉) 및 T4(-2°C 비급속 예냉) 처리구들이 각각 1.45°C, 1.98°C 및 2.24°C로 T3(4°C 비급속 예냉) 처리구의 8.12°C보다 유의적으로 낮게 나타났다($p<0.05$). 뒷다리의 심부온도도 등심과 동일하게 T1, T2 및 T4 처리구들이 2.33°C, 3.5 0°C 및 2.90°C로 T3 처리구의 9.28°C보다 유의적으로 낮은 수치를 보였다($p<0.05$). 이러한 결과는 급속 예냉한(-24°C) 돼지 도체의 심부온도가 비급속으로 예냉한(1°C) 도체보다 빨리 떨어지고 낮은 수치를 보였다는 Rybarczyk 등(2015)의 보고와 동일하였다. 한편, 축산법 시행규칙(MAFRA, 2021) 제38 조제4항 관련 별표 4(등급판정의 방법, 기준 및 적용조건)에 따르면, 돼지 도체 등급 판정 전까지 등심 부위의 심부온도가 5°C 이하가 되어야 한다. 본 실험결과에서 -2°C 예냉을 적용한 처리구인 T1, T2 및 T4 모두 등심과 뒷다리의 심부온도가 5°C 이하였으나, 4°C 예냉을 적용한 T4에서는 등심과 뒷다리의 심부온도가 5°C를 초과하였다. 따라서 급속 예냉 여부와 관계없이 -2°C 예냉 적용 시 도체 심부온도가 등급 판정 전까지 5°C 이하로 떨어져 도체 예냉 상태가 가장 약호한 것으로 나타났다.

2. 도체 미생물수

도체 예냉방법이 돼지 도체 미생물수에 미치는 영향은 Table 3과 같다. 본 연구에서 측정한 미생물 중 일반세균수는 도체 예냉방법에 따른 유의적인 차이를 보이지 않았다($p>0.05$). 또한 대장균군 (coliform) 및 포도상구균(*Staphylococcus* spp.) 역시 도체 예냉방법에 따른 유의적인 차이를 나타내지 않았다($p>0.05$). 본 연구결과는 예냉방법이 식육 도체의 미생물수에 영향을 미치지 않았다는 여러 선행 연구결과들과 동일하였다(Brown et al., 1993; Hamby et al., 1987; Strydom and Buys, 1995). 식육 중 미생물 검사에 관한 규정(MAFRA, 2020) 제11조 미생물 검사 결과의 권장 기준에 따르면, 도축장에서 돼지고기의 일반세균수는 1×10^5 CFU/cm² 이하, 대장균수는 1×10^4 CFU/cm² 이하이어

Table 3. Effect of carcass chilling method on the microbial counts of carcass from pig

Trait ³⁾	Carcass chilling method ²⁾				SEM ¹⁾
	T1	T2	T3	T4	
TPC (CFU/cm ²)	23.41	10.04	122.48	62.41	13.43
Coliform (CFU/cm ²)	0.50	0.01	1.93	0.91	0.24
<i>Staph.</i> (CFU/cm ²)	0.39	0.09	0.31	0.29	0.05

These data are presented as means.

¹⁾ SEM: standard error of the means.

²⁾ T1: -15°C, 40 min → -2°C, 15 h 50 min; T2: -25°C, 1 h 30 min → -2°C, 15 h; T3: 4°C, 16 h 30 min; T4: -2°C, 16 h 30 min.

³⁾ TPC: total plate count; *Staph.*: *Staphylococcus* spp.

야 하며, 모든 예냉방법이 미생물 권장 기준치 미만을 보여 미생물학적으로 양호한 것으로 나타났다.

3. pH 및 보수력

도체 예냉방법이 돼지 등가장긴근(*M. longissimus dorsi*)의 pH 및 보수력(water-holding capacity)에 미치는 영향은 Table 4와 같다. pH는 T4가 5.70으로 T1 및 T3의 5.53 및 5.46보다 유의적으로 높게 나타났다($p<0.05$). 보수력 역시 T4가 70.90%로 T1 및 T3의 64.11% 및 60.31%보다 유의적으로 높은 수치를 보였다($p<0.05$). 일반적으로 가축 사후에 도체 근육의 pH는 최초 7.0에서 5.3~5.8으로 떨어지며, 이러한 현상은 돼지 도체에서 6~12시간 동안 발생한다(Smulders et al., 1992). 근육의 pH가 감소함에 따라 등전점(isoelectric point)에 이르게 된다. 이때 아미노산 결사슬의 음전하와 양전하가 균형을 이루게 되어 서로가 최대 힘으로 당기게 되고, 이로 인해 근섬유 필라멘트가 밀착돼 수분이 있을 공간이 줄어들게 되면서 보수력이 감소하게 된다(Smulders et al., 1992). 즉, 근육의 pH가 낮을수록 보수력은 낮아지며(Huff-Lonergan and Lonergan, 2005), 본 연구결과에서 T4의 보수력이 T1 및 T3보다 높았던 이유는 pH가 높았기 때문이다.

4. 가열감량 및 전단가

도체 예냉방법이 돼지 등가장긴근(*M. longissimus dorsi*)의 가열감량 및 전단가(Warner-Bratzler shear force value)에 미치는 영향은 Table 5와 같다. 가열감량은 도체 예냉방법에 따른 유의적인 차이가 나타나지 않았으며, 전단가 역시 도체 예냉방법에 따른 큰 차이를 보이지 않았다. van der Wal 등(1995)은 도체 예냉온도(4°C, -5°C 및 -30°C)에 따른 돼지 등심의 품질을 비교 분석한 결과, 가열감

Table 4. Effect of carcass chilling method on the pH value and water-holding capacity of *M. longissimus dorsi* from pig

Trait	Carcass chilling method ²⁾				SEM ¹⁾
	T1	T2	T3	T4	
pH	5.53 ^{bc}	5.62 ^{ab}	5.46 ^c	5.70 ^a	0.02
WHC ³⁾ (%)	64.11 ^{bc}	68.13 ^{ab}	60.31 ^c	70.90 ^a	1.14

^{a-c} Means in the same row with different superscripts differ significantly ($p<0.05$).

¹⁾ SEM: standard error of the means.

²⁾ T1: -15°C, 40 min → -2°C, 15 h 50 min; T2: -25°C, 1 h 30 min → -2°C, 15 h; T3: 4°C, 16 h 30 min; T4: -2°C, 16 h 30 min.

³⁾ WHC: water-holding capacity.

Table 5. Effect of carcass chilling method on the cooking loss and Warner-Bratzler shear force value of *M. longissimus dorsi* from pig

Trait	Carcass chilling method ²⁾				SEM ¹⁾
	T1	T2	T3	T4	
Cooking loss (%)	24.22	26.25	23.70	24.92	0.40
WBSF ³⁾ (kgf)	4.35	4.53	3.66	4.47	0.20

These data are presented as means.

¹⁾ SEM: standard error of the means.

²⁾ T1: -15°C, 40 min → -2°C, 15 h 50 min; T2: -25°C, 1 h 30 min → -2°C, 15 h; T3: 4°C, 16 h 30 min; T4: -2°C, 16 h 30 min.

³⁾ WBSF: Warner-Bratzler shear force value.

량 및 전단가가 예냉온도 간에 큰 차이가 없었다고 보고하였으며, 이는 본 연구결과와 동일하였다. 본 연구에서 보수력은 도체 예냉방법에 따른 유의적인 차이가 나타났으나, 가열감량은 차이를 보이지 않았던 이유는 돼지 시험축 개체마다 등심의 수분 함량이 다를 뿐만 아니라, 가열감량과 보수력의 측정방식이 다르기 때문으로 판단된다. 즉, 가열감량은 고기의 전체 무게와 대비하여 가열 시 유출된 수분 무게의 백분율로 측정하는 반면, 보수력은 고기의 전체 무게와 대비하여 고속원심분리 시 유출된 수분 무게의 백분율로 측정하기 때문이다. 또한 본 연구결과에서 도체 예냉방법 간에 전단가의 차이가 나타나지 않았던 이유는 van der Wal 등(1995)의 보고와 같이 근절길이(sarcomere length)의 차이가 없었기 때문으로 판단된다.

5. 육색

도체 예냉방법이 돼지 등가장긴근(*M. longissimus dorsi*)의 육색에 미치는 영향은 Table 6과 같다. 명도(lightness, L^{*}), 적색도(redness, a^{*}) 및 채도(chroma, C^{*})는 도체 예냉방법에 따른 유의적인 차이를 보이지 않았다. 황색도(yellowness, b^{*})는 T3 및 T4가 각각 2.24 및 3.22로 T1 및 T2의 4.93 및 4.68보다 유의적으로 낮게 나타났다($p<0.05$). 갈색도(hue-angle, h^o)의 경우 T3가 19.91로 가장 낮은 수치를 보여 주었으며($p<0.05$), 그 다음으로 T4가 30.19로 T1의 41.67보다 유의적으로 낮게 나타났다 ($p<0.05$). Juárez 등(2009)은 비급속 예냉한(2°C) 돼지 등심의 명도와 채도는 급속 예냉한(-25°C) 돼지 등심과 큰 차이가 없었으나 갈색도는 높았다고 보고하였으며, Hambrecht 등(2004)은 비급속 예냉(4°C) 및 급속 예냉한(-15°C) 돼지 등심간에 명도, 적색도 및 황색도의 차이가 나타나지 않았다고 보고하였다. 이러한 선행 연구결과들은 본 연구결과와 일부 동일하였다.

IV. 요 약

본 연구는 도체 예냉방법이 돼지 등가장긴근의 육질 특성에 미치는 영향을 구명하고자 실시하였다. 거세돼지 35두를 도체 예냉방법에 따라 4개 처리구(T1: -15°C/40분 → -2°C/15시간 50분; T2: -25°C/1시간 30분 → -2°C/15시간; T3: 4°C/16시간 30분; T4: -2°C/16시간 30분)로 나누어 처리한 후, 등가장긴근(*M. longissimus dorsi*)을 채취하여 이화학적 품질 분석에 이용하였다. 도체 예냉 종료 시점에 등심 및 뒷다리의 중심온도는 T1, T2 및 T4가 5°C 이하를 나타내었다. 도체의 일반세균수, 대장균수 및 포도상구균수는 예냉방법에 따른 큰 차이를 보이지 않았다. pH 및 보수력은 T4가 T1 및 T3보다 높았다

Table 6. Effect of carcass chilling method on the meat color value of *M. longissimus dorsi* from pig

Trait	Carcass chilling method ²⁾				SEM ¹⁾
	T1	T2	T3	T4	
Lightness (L [*])	50.82	50.06	52.12	51.28	0.54
Redness (a [*])	5.49	5.66	6.14	5.50	0.17
Yellowness (b [*])	4.93 ^a	4.68 ^a	2.24 ^b	3.22 ^b	0.29
Chroma (C [*])	7.42	7.36	6.56	6.59	0.20
Hue-angle (h ^o)	41.67 ^a	39.51 ^{ab}	19.91 ^c	30.19 ^b	2.26

^{a-c} Means in the same row with different superscripts differ significantly ($p<0.05$).

¹⁾ SEM: standard error of the means.

²⁾ T1: -15°C, 40 min → -2°C, 15 h 50 min; T2: -25°C, 1 h 30 min → -2°C, 15 h; T3: 4°C, 16 h 30 min; T4: -2°C, 16 h 30 min.

($p<0.05$). 가열감량 및 전단강(*Warner-Bratzler shear force value*)는 도체 예냉방법에 따른 유의적인 차이를 나타내지 않았다. 육색은 T3 및 T4가 T1보다 낮은 황색도(b^*)와 낮은 갈색도(h°)를 보였다 ($p<0.05$). 따라서 -2°C 예냉이 돼지고기의 품질 개선에 가장 적합할 것으로 판단된다.

V. 감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 국립축산과학원 고유연구사업(과제번호: PJ01490101)의 지원에 의해 이루어졌으며, 이에 감사드립니다.

VI. 참고문헌

1. APQA. 2025. Livestock slaughter statistics. Animal and Plant Quarantine Agency, Gimcheon, Korea.
2. Brown T, Chourouzidis N, Gigiel AJ. 1993. Spray chilling of lamb carcasses. Meat Sci 34:311-325.
3. Davis KJ, Sebranek JG, Huff-Lonergan E, Lonergan SM. 2004. The effects of aging on moisture-enhanced pork loins. Meat Sci 66:519-524.
4. Fischer C, Hofmann K, Hamm R. 1976. Erfahrungen mit der Kapillarvolumeter-Methode nach Hofmann zur Bestimmung des Wassebindungsvermögens von Fleisch. Fleischwirt 56:91-95.
5. Hamby PL, Savell JW, Acuff GR, Vanderzant C, Cross HR. 1987. Spray-chilling and carcass decontamination systems using lactic and acetic acid. Meat Sci 21:1-14.
6. Hambrecht E, Eissen JJ, de Klein WJH, Ducro BJ, Smits CHM, Verstegen MWA, den Hartog LA. 2004. Rapid chilling can not prevent inferior pork quality caused by high preslaughter stress. J Anim Sci 82:551-556.
7. Hannula T, Puolanne E. 2004. The effect of cooling rate on beef tenderness: The significance of pH at 7°C . Meat Sci 67:403-408.
8. Herring HK, Cassens RG, Briskey EJ. 1965. Further studies on bovine muscle tenderness as influences by carcass position, sarcomere length, and fiber diameter. J. Food Sci 30:1049-1054.
9. Holmer SF, McKeith FK, Killefer JK. 2008. The influence of early post-mortem enhancement and accelerated chilling on pork quality. Meat Sci 79:211-216.
10. Honikel KO. 1998. Reference methods for assessment of physical characteristics of meat. Meat Sci 49:447-457.
11. Huff-Lonergan E, Lonergan SM. 2005. Mechanisms of water-holding capacity of meat: The role of postmortem biochemical and structural changes. Meat Sci 71:194-204.
12. Juárez M, Caine WR, Larsen IL, Robertson WM, Dugan MER, Aalhus JL. 2009. Enhancing pork loin quality attributes through genotype, chilling method and ageing time. Meat Sci 83:447-453.
13. KREI. 2025. Agricultural outlook 2025. Korea Rural Economic Institute, Naju, Korea. pp 116-131.
14. MAFRA. 2020. Regulation on microbial examination of meat. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, Sejong, Korea. Notification No. 2020-42.

15. MAFRA. 2021. Enforcement rule of the livestock industry control act. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, Sejong, Korea. Ordinance of the Minister of Agriculture, Food and Rural Affairs No. 495.
16. MAFRA. 2024. Agriculture, food, and rural statistics 2024. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, Sejong, Korea. pp 74-84, 372-379.
17. MDFS. 2019. Standards for labelling and classification of beef and pork cuts. Ministry of Food and Drug Safety, Cheongju, Korea. Notification No. 2019-113.
18. MFDS. 2021. Enforcement rule of the livestock products sanity control act. Ministry of Food and Drug Safety, Cheongju, Korea. Ordinance of the Prime Minister No. 1728.
19. MFDS. 2022. Korean food code. Ministry of Food and Drug Safety, Cheongju, Korea. Notification No. 2022-16.
20. Murphy RGL, Howard ST, Woerner DR, Pendell DL, Dixon CL, Desimone TL, Green MD, Igo JL, Tatum JD, Belk KE. 2015. Definition, willingness-to-pay, and ranking of quality attributes of U.S. pork as defined by importers in Asia and Mexico. *J Anim Sci* 93:433-441.
21. Rosenvold K, Andersen HJ. 2003. Factors of significance for pork quality: A review. *Meat Sci* 64:219-237.
22. Rybarczyk A, Karamucki T, Pietruszka A, Rybak K, Matysiak B. 2015. The effects of blast chilling on pork quality. *Meat Sci* 101: 78-82.
23. Savell JW, Mueller SL, Baird BE. 2005. The chilling of carcasses: Review. *Meat Sci* 70:449-459.
24. Seyfert M, Mancini RA, Hunt MC, Tang J, Faustman C. 2007. Influence of carbon monoxide in package atmospheres containing oxygen on colour, reducing activity, and oxygen consumption of five bovine muscles. *Meat Sci* 75:432-442.
25. Smulders FJM, Toldrá F, Flores J, Prieto M. 1992. New technologies for meat and meat products. *Audet Tijdschriften*, Utrecht, The Netherlands. pp 182-188.
26. Strydom PE, Buys EM. 1995. The effects of spray-chilling on carcass mass loss and surface associated bacteriology. *Meat Sci* 39:265-276.
27. SPSS. 2019. PASW statistics 26. IBM Corp., Armonk, NY, USA.
28. van der Wal PG, Engel B, van Beek G, Veerkamp CH. 1995. Chilling pig carcasses: Effect on temperature, weight loss and ultimate meat quality. *Meat Sci* 40:193-202.
29. Viana ES, Gomide LAM, Vanetti MCD. 2005. Effect of modified atmospheres on microbiological, color and sensory properties of refrigerated pork. *Meat Sci* 71:696-705.