

ANIMAL

Correlation of electrical conductivity and color with water loss and shear force of pork loin

Hayeon Jeon¹, Seul-Ki-Chan Jeong¹, Seonmin Lee¹, Dongjun Kim², Hyeun Bum Kim³, In-Seon Bae⁴, Yunseok Kim⁴, Pil Nam Seong⁴, Samooel Jung^{1*}, Kyung Jo^{1,*}

¹Division of Animal and Dairy Science, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea

²Korea Institute for Animal Products Quality Evaluation, Sejong 30100, Korea

³Department of Animal Biotechnology, Dankook University, Cheonan 31116, Korea

⁴National Institute of Animal Science, Rural Development Administration, Wanju 55365, Korea

*Corresponding authors: samooel@cnu.ac.kr, kyung6321@cnu.ac.kr

Abstract

This study investigated the relationship of electrical conductivity and color to water loss and shear force of pork loin. In addition, the differences in quality properties with the sex and carcass grades were investigated. There were no differences in drip loss, cooking loss, and total loss of pork loin between barrow and gilt ($p > 0.05$). The shear force of pork loin was lower in barrow than in gilt ($p < 0.05$). The quality properties of pork loin did not differ among the carcass grades (1⁺, 1, and 2). The electrical conductivity measured at 45 min, 3 h, and 12 h had no noticeable correlation coefficients with the quality properties of pork loin. The L*, a*, and b* values correlated significantly with cooking loss and total loss. The highest correlation coefficient was 0.45 between L* and total loss. From the results, we conclude that the electrical conductivity and color values are not suitable variables for predicting pork loin quality. Therefore, further study to develop ways for predicting the pork quality during the grading of pork carcasses is required.

Keywords: color, electrical conductivity, loin, pork carcass, water loss

Introduction

돈육은 양질의 단백질과 비타민 B12를 포함한 다양한 비타민 및 미네랄을 함유하고 있으며, 인간의 식단에서 매우 중요한 식품이다. 우리나라의 연간 일인당 돈육 소비량은 2022년 기준 30.1 kg으로 전체 식육 소비량 59.8 kg 중 50% 이상을 차지하고 있으며, 2012년 돈육 소비량 19.2 kg 대비 10년 동안 1.56배 증가하였다(MAFRA, 2024).

돈육에 대한 소비자들의 선호도 증가와 함께 고품질 돈육에 대한 소비자들의 요구가 증가하고 있다(Jeong et al., 2023b; Jo et al., 2023; Kim et al., 2023). 일반적으로 소비자들은 식육의 구매 시 주어진 정보를 통해 품질을 예측하고 식육의 섭취 후 품질을 경험하며, 예측 품질과 경험 품질이 일치할 경우 구매한 식육에 대한 만족도가 증가함에 따라 해당 식육에 대한 재구매로 이어진다(Grunert et al., 2004). 따라서 소비자에게 식육 품질에 대한 정확한 정보의 전달이 중요하며, 이를 위해 우리나라의 경우 축산물 품질 평가원에서 도체에 대한 등급을 판정하

OPEN ACCESS

Citation: Jeon H, Jeong SKC, Lee S, Kim D, Kim HB, Bae IS, Kim Y, Seong PN, Jung S, Jo K. 2024. Correlation of electrical conductivity and color with water loss and shear force of pork loin. Korean Journal of Agricultural Science 51:307-314. <https://doi.org/10.7744/kjoas.510306>

Received: April 23, 2024

Revised: June 19, 2024

Accepted: July 04, 2024

Copyright: © 2024 Korean Journal of Agricultural Science



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<https://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.

여 등급 정보를 제공하고 있다.

현재 우리나라의 돼지 도체의 등급판정은 돼지 도체의 육량 및 비육 정도를 판단할 수 있는 도체중 및 등지방 두께를 활용 1차 판정을 진행하고 도체의 외관, 육질 및 결합 항목을 평가하여 2차 판정을 진행하며, 최종적으로 1차 및 2차 판정 결과 중 낮은 등급을 도체 등급(1⁺, 1, 2, 등의)으로 부여하고 있다(KAPE, 2024). 하지만 현재 돼지 도체의 등급이 돈육의 품질을 대표하지 못함이 보고되고 있다(Hoa et al., 2019). 식육의 품질은 사후 근육 내 물리 화학적인 변화가 매우 중요한데, 현재 돼지 도체의 등급판정을 도축 직후 온도체에서 진행함에 따라 외관적으로 육질 관련 특성이 나타나지 않는 것이 주된 이유이며, 많은 돼지 도체 물량으로 인해 등급 판정사가 도체의 육질 특성을 평가할 수 있는 충분한 시간이 주어지지 않기 때문이다. 따라서 돈육의 품질에 대한 정확한 정보를 제공할 수 있으며, 도축장 현장에서 빠르게 등급을 판정할 수 있는 평가 방법이 요구되고 있는 실정이다(Park et al., 2023; Jo et al., 2023).

최근 많은 연구들에서 기기를 이용하여 도체의 등급을 판정하고자 하는 노력이 이어지고 있다(Leng et al., 2020). 식육의 육색은 도축 후 근육 내 발생하는 혐기적 해당작용에 따른 pH의 감소와 사후강직에 영향을 받을 수 있으며, 돈육 내 빠른 pH 저하로 인해 발생하는 PSE 돈육의 경우 명도가 높게 나타나는 특성이 있어 돈육의 품질 예측을 위한 방법으로 보고되고 있다(Hughes et al., 2014; Jo et al., 2022). 또한 최근 다양한 연구들에서 식육의 품질 예측을 위해 전기전도도 특성을 활용하고 있다(Bai et al., 2018; Leng et al., 2020; Jo et al., 2023). 근육은 전도체로서 특성을 갖고 있으며, 근세포 내액과 외액의 이온 조성이 다르고 근세포 막은 절연체의 특성을 갖고 있는데, 도축 후 근육 내 발생하는 물리 화학적인 변화로 인해 근세포막의 손상이 발생할 경우 전기전도도 특성이 변화하기 때문이다(Jo et al., 2023). 따라서 돈육의 품질과 관련이 있는 사후 근육 내 물리 화학적인 변화를 육색 및 전기전도도를 통해 간접적으로 평가가 가능하다면 돈육 품질 예측이 가능할 것으로 생각된다. 하지만 기존의 연구들의 경우 돈육의 품질과 전기전도도 및 육색과의 연관성 확인을 위해 도체로부터 돈육을 분리하여 실험실 환경에서 전기전도도 및 육색을 측정하였다(Lee et al., 2000; Jo et al., 2023). 따라서 본 기기 판정 기술이 도축장 환경에서 돼지 도체 등급판정을 위한 기기 판정 방법으로서 이용 가능성에 대한 정보가 부족한 실정이다.

따라서 본 연구는 돼지 도체의 육질 관련 기기판정 방법으로서 육색 및 전기전도도 측정이 돈육의 품질과 관련성이 있는지 확인하기 위해 수행되었다. 본 연구를 위해 도축장에서 돼지의 도축 후 도체의 등심 부위에서 전기전도도 및 육색을 측정하였으며, 등심의 수분 손실률 및 전단력을 측정하여 기기분석 결과와 품질 특성 결과 간에 연관성 분석을 진행하였다. 또한 성별(barrow and gilt) 및 도체 등급(1⁺, 1 및 2) 차이에 따른 등심의 품질 특성 차이를 함께 평가하였다.

Materials and Methods

돼지 도체의 준비

본 연구를 위해 충남 소재 도축장에서 도축된 물리적 거세 돼지 40두 및 암돼지 40두 총 80두 돼지(Landrace × Yorkshire × Duroc) 도체가 이용되었다. 본 연구에 이용된 도체의 온도체 중량 및 등지방 두께는 Table 1에 제시하였다. 도축 후 축산물 품질 평가사에 의해 돼지 도체의 등급판정이 진행되었으며, 80두 돼지 도체 중 1⁺, 1 및 2등급 도체는 각각 19, 36 및 25두였다.

돼지 도체 등심 부위 전기전도도 측정

본 연구를 위해 휴대용 전기전도도 측정기(LF-STAR, Matthäus GmbH & Co. KG, Germany)를 이용하였으며, 본 측정기의 측정 진동수 및 전압은 각각 1.2 kHz 및 1.0 V였다. 전기전도도 측정은 좌 도체의 4 - 5번 흉추 사이에 전기

전도도 측정기 프로브를 근섬유 방향에 수직이 되도록 삽입하여 등심의 전기전도도를 측정하였으며, 도축 후 45분, 3시간 및 12시간 시점에 측정하였다.

돼지 도체 등심 부위 육색 측정

돼지 도체 등심 부위의 육색 측정을 위해 휴대용 색차계(CR-410, Konica Minolta, Inc., Japan)를 이용하였으며, 본 색차계의 광원은 D65이고 측정경 및 조명경의 크기는 각각 ϕ 50 mm 및 ϕ 53 mm였다. 돼지 도체 등심의 육색 측정은 도축 다음 날 오전 냉도체에서 측정하였다. 돼지 도체 흉추 5 - 6번 사이를 절개하여 10분간 공기 중에 노출시킨 후 배최장근 표면의 육색을 색차계를 이용 3회 측정하여 평균값을 이용하였으며, CIE L* (명도), a* (적색도) 및 b* (황색도)로 나타내었다.

등심 수분 손실률 분석

등심의 품질 분석을 위해 좌 도체에서 등심을 정형하여 아이스 박스를 이용 실험실로 운반하였다. 등심의 수분 손실률은 등심의 드립 감량, 가열 감량 및 총 감량으로 측정되었다. 등심의 드립 감량 측정을 위해 흉추 6 - 7번 위치의 등심을 5 cm 두께로 슬라이스 하여 진공포장 후 $2 \pm 2^{\circ}\text{C}$ 냉장고에서 3일간 저장하였으며, 저장 후 포장지 및 등심 표면의 수분을 제거한 후 저장 전과 후의 무게 차이로 드립 감량을 산출하였다. 등심의 가열 감량 측정을 위해 드립 감량을 측정할 시료를 다시 진공 포장 후 80°C 항온 수조에서 30분간 가열하였으며, 실온에서 20분간 냉각 후 포장지 및 가열 등심 표면의 수분을 제거한 후 가열 전과 후의 무게 차이로 가열 감량을 산출하였다. 총 감량은 가열 감량과 드립 감량의 합으로 산출되었다.

등심 전단력 분석

가열 감량을 측정할 가열된 등심 시료를 이용 등심의 전단력을 분석하였다. Coring blade (1.5 cm diameter)를 이용 등심의 근섬유 방향으로 전단력 분석 시료를 채취하였으며, 등심 시료의 전단력을 조직감 분석기(TA-XT 2i, Stable Micro System Ltd., UK)에 Warner-Bratzler-blade를 장착하여 측정하였다.

통계 분석

본 연구에서 모든 데이터의 통계 분석은 SAS 9.4 프로그램(SAS Institute Inc., USA)을 이용하였다. 본 연구의 모든 데이터의 정규성 검정을 위해 univariate 절차를 이용하였으며, Shapiro-Wilk ($p > 0.05$) 검정을 통해 정규성을 판단하였다. 정규성 검정 결과 수분 손실률 데이터인 드립 감량, 가열 감량, 총 감량과 전단력 데이터 모두 정규성을 갖는 것으로 검정되었다. 따라서 성별 차이에 따른 등심의 품질 결과의 비교는 t-test 통해 수행되었으며, 등급 차이에 따른 등심의 품질 결과 비교를 위해 generalized linear model procedure를 이용 one-way ANOVA 분석을 진행하였으며, 유의적인 차이가 있을 시 Tukey의 다중 검정을 이용 사후 검정을 실시하였다. 전기전도도 및 육색의 정규성을 검정한 결과 도축 후 45분, 3시간 및 12시간의 전기전도도 데이터 모두 정규성을 갖지 않는 것으로 확인되었으며, 육색(L*, a* 및 b*) 데이터는 정규성을 갖는 것으로 확인되었다. 따라서 전기전도도 및 육색과 등심의 품질 결과와의 연관성 분석은 Spearman rank correlation 분석을 통해 확인하였다.

Table 1. Carcass properties with water loss and shear force of pork loin from barrow and gilt.

Characteristics	Treatments	
	Barrow (n = 40)	Gilt (n = 40)
Carcass properties		
Hot carcass weight (Kg)	84.4 ± 4.4 ^z	83.3 ± 4.1
Back fat thickness (mm)	21.8 ± 4.3a	18.6 ± 4.5b
Loin quality		
Drip loss (%)	8.2 ± 2.6	8.1 ± 3.0
Cooking loss (%)	32.2 ± 3.0	31.2 ± 3.4
Total loss (%)	40.4 ± 4.6	39.3 ± 5.0
Shear force (N)	4.2 ± 1.0b	4.8 ± 1.6a

^z Mean ± Standard deviation.

a, b: Means in a row with different letters are significantly different ($p < 0.05$).

Results and Discussion

성별 차이(barrow and gilt)에 따른 도체 특성 및 등심 품질 특성

본 연구에 이용된 barrow 및 gilt 도체의 온도체중(HCW)을 측정된 결과 각각 84.4 kg 및 83.3 kg으로 나타났으며, 성별 차이에 따른 유의적인 차이는 없었다(Table 1, $p > 0.05$). 하지만 등지방 두께의 경우 barrow가 21.8 mm로 gilt의 18.6 mm 대비 유의적으로 높음이 나타났다($p < 0.05$). 기존 연구에 따르면 barrow의 지질 침착이 gilt와 비교하여 높음이 보고되고 있다(Overholt et al., 2016). Kellner 등(2014)에 따르면 총 63두의 도체(barrow 21 and gilt 42)를 대상으로 등지방 두께를 측정된 결과 barrow 및 gilt의 등지방 두께가 각각 22.3 mm 및 18.3 mm로 나타나 barrow에서 유의적으로 등지방 두께가 높음을 확인하였다. 또한 6,909 도체(barrow 2,989 and gilt 3,920)를 대상으로 등지방 두께를 조사한 결과에서도 barrow가 16.8 mm로 gilt의 14.6 mm와 비교하여 유의적으로 등지방 두께가 높았다(Overholt et al., 2016). 본 연구와 기존 연구와의 등지방 두께의 수치적인 차이는 측정 위치 차이에서 기인한 것으로 사료된다.

등심의 저장 및 가열 과정에서 발생하는 수분의 용출은 등심의 다즙성을 감소시킴에 따라 등심의 품질을 저하시키는 주요 요인이다(Jo et al., 2022; Aaslyng et al., 2003). 본 연구에서 등심의 수분 소실률을 측정된 결과 barrow와 gilt 사이에 드립 감량, 가열 감량 및 총 감량 모두 유의적인 차이가 없는 것으로 나타났다($p > 0.05$). Overholt 등(2016)에 따르면 성별(barrow and gilt)의 차이가 등심의 드립 감량 및 가열 감량에 유의적인 차이를 미치지 않는다고 보고하였다. 따라서 본 연구결과와 일치하는 결과였다.

식육의 연도는 소비자가 식육을 섭취할 때 품질을 판단하는 주요 요인이며, 주로 전단력 분석을 통해 식육의 연도를 평가하고 있다(Tuell et al., 2022). Barrow와 gilt 등심의 전단력을 측정된 결과 barrow에서 gilt와 비교하여 유의적으로 전단력이 낮음이 나타났다($p < 0.05$). Barrow는 gilt와 비교하여 근육 내 지질의 침착률이 더 높은 것으로 보고되고 있다(Overholt et al., 2016). Overholt 등(2016)에 따르면 근내지방도가 barrow에서 gilt보다 유의적으로 높으며, 이로 인해 barrow 등심의 전단력이 gilt 등심보다 낮다고 보고하였다. 돼지 도체의 등지방 두께는 돈육의 근내지방도와 정의 상관관계가 있음이 보고되고 있다(Overholt et al., 2016; Kim and Kim, 2017). 본 연구에서 등심의 근내지방도 함량은 평가되지 않았지만, barrow의 등지방 두께가 gilt보다 유의적으로 높은 결과를 보았을 때, barrow 등심의 근내지방도가 gilt 등심과 비교하여 높을 것으로 사료되며, 이로 인해 barrow 등심의 전단력이 gilt 등심보다 유의적으로 낮은 것으로 사료된다.

도체 등급 차이(1⁺, 1 및 2)에 따른 도체 특성 및 등심 품질 특성

등심의 드립 감량, 가열 감량 및 총 감량과 전단력을 비교한 결과 도체 등급 차이에 따른 육질 특성의 유의적인 차이가 없는 것으로 나타났다(Table 2, $p > 0.05$). 본 연구 결과는 기존의 연구 결과와 유사하였는데, 돈육 등심의 가열 감량과 보수력을 측정된 결과 도체 등급(1⁺, 1 및 2) 차이에 따른 유의적인 차이가 없음을 보고하였다(Hoa et al., 2019). 이러한 결과는 돼지 도체 등급 판정에서 육질 특성의 판정이 온도체 상태에서 진행됨에 따른 결과로 사료된다.

돼지의 도축 후 혈액순환이 중단됨에 따라 근육 내에서 혐기적 해당작용이 가속화되고 근육 내 젖산의 축적과 함께 pH가 점차적으로 하락하며, 돼지 도체의 경우 사후 24시간까지 pH 저하가 발생한다(Jeong et al., 2023a; Jo et al., 2022). 사후 근육 내 pH 저하가 빠를수록 그리고 최종 pH가 낮을수록 식육의 보수력이 불량 해지고 수분 손실률은 증가하게 된다(Huff-Lonerger and Lonergan, 2005). 또한 사후 근육은 ATP의 점차적인 고갈과 함께 근육의 신장성이 소실된다. 이러한 근육 내 물리 화학적인 변화는 근육의 표면으로 수분을 용출 시킬 뿐만 아니라 식육의 육색도 변화시킨다(Huff-Lonerger and Lonergan, 2005; Jeong et al., 2023a). 따라서 도축 후 사후 강직이 종료된 냉도체의 경우 근육 표면의 수분 용출 정도와 육색의 변화를 보고 간접적으로 식육의 품질을 예측하게 된다. 하지만 도축 직후 온도체의 경우 근육 내 물리 화학적인 변화가 시작되는 시점임에 따라 육질을 예측할 수 있는 요인들의 발현이 미비하다.

Table 2. Water loss and shear force of pork loin with the different carcass grades.

Quality properties	Treatments		
	1 ⁺ (n = 19)	1 (n = 36)	2 (n = 25)
Drip loss (%)	8.9 ± 2.5 ^z	7.6 ± 2.5	8.4 ± 3.3
Cooking loss (%)	32.7 ± 2.7	31.5 ± 3.7	31.4 ± 2.7
Total loss (%)	41.5 ± 4.4	39.1 ± 4.8	39.8 ± 4.9
Shear force (N)	4.3 ± 1.0	4.5 ± 1.3	4.7 ± 1.7

^z Mean ± Standard deviation.

전기전도도와 등심 품질 특성과의 연관성

도축 후 근육 내 다양한 물리 화학적인 변화가 발생한다. 우선적으로 도축 후 근육의 수축 및 이완이 발생함에 따라 지속적으로 ATP를 소모하며, ATP 농도의 항상성 유지를 위해 잔존 glucose 함량이 고갈될 때까지 혐기적 해당작용이 발생하고, 이로 인해 근육 내 젖산이 축적됨에 따라 근육의 pH가 감소와 함께 사후 강직이 발생하게 된다(Huff-Lonerger and Lonergan, 2005; Jeong et al., 2023b). 또한 미토콘드리아의 기능상실로 인한 cytochrome C와 근소포체의 기능상실로 인한 Ca²⁺의 근형질로의 용출은 내생 단백질 분해 효소인 caspase 및 calpain의 활성을 이끌어 근원섬유 단백질 및 세포막의 분해를 발생시킨다(Lana and Zolla, 2016). 이러한 물리 화학적인 변화는 식육에 품질에 큰 영향을 미치는데, 식육의 pH가 근원섬유 단백질의 등전점(pH 5.2 - 5.3)에 가까울수록 식육의 보수력이 저하됨에 따라 식육 외부로 수분이 용출되며, 다즙성이 저하된다. 또한 사후강직이 강하게 발생할수록 식육의 연도가 감소하며, 반대로 내생 단백질 분해 효소의 활성으로 인한 근원섬유 단백질의 분해는 식육의 연도를 증가시킨다(Lee et al., 2024). 기존 연구에 따르면 도축 후 근육 내 발생하는 물리 화학적인 변화로 인해 근세포 내액의 외액로의 이동이 발생하며, 이러한 변화는 근육의 전기전도도를 증가시킴에 따라 전기전도도의 변화는 식육의 품질과도 관련이 있음이 보고되고 있다(Jukna et al., 2012).

돼지 도체의 등심부위에서 도축 후 45분, 3시간 및 12시간 시점에 측정된 전기전도도와 돈육 등심의 수분손실률 및 전단력의 상관관계 분석결과 도축 후 45분에 측정된 전기전도도와 등심의 가열 감량 및 총 감량과 유의적인 상관

관계가 있는 것으로 나타났다(Table 3). 또한 도축 후 3시간에 측정된 전기전도도와 등심의 총 감량 및 전단력과 유의적인 상관관계가 확인되었다. 하지만 상관계수가 모두 0.24 - 0.26으로 나타났으며, 도축 후 12시간에 측정된 전기전도도는 등심의 품질과 상관관계가 없는 것으로 확인되었다. 본 결과는 전기전도도를 이용 등심의 품질 예측이 불가함을 의미함에 따라 기존의 연구 결과와 다른 결과였다. 본 연구의 결과가 기존의 연구 결과들과 다른 이유 중 하나는 전기전도도 측정 시점 차이로 생각된다. 앞서 설명한 것과 같이 근육의 전기전도도는 사후 물리 화학적인 변화에 영향을 받는데, 기존 연구의 경우 등심의 전기전도도를 사후 24시간 시점에 측정함에 따라 등심 근육 내 발생한 물리 화학적인 변화의 차이가 있었을 것으로 생각된다(Lee et al., 2000; Jo et al., 2023). 하지만 본 연구와 기존 연구들의 전기전도도 측정값과 등심의 품질 특성 사이에 연관성 결과 차이의 주원인은 전기전도도 측정 장비의 차이로 생각된다. Lee 등(2000)에 따르면 돈육의 보수력 예측을 위해 전기전도도를 4 kHz 및 1 kHz에서 측정한 결과 보수력 예측 결정 계수가 1 kHz에서 측정된 전기전도도 결과에서 더 높다고 보고하였다. 또한 Jo 등(2023)의 연구 결과 돈육 등심의 가열 감량을 예측하기 위해 도축 후 24시간에 측정된 전기전도도를 이용한 결과 40 Hz에서 측정된 전기전도도는 등심의 가열 감량과의 상관계수가 0.48이었던 반면, 본 연구와 동일 장비(1.2 kHz)를 이용한 전기전도도의 경우 등심의 가열 감량과 유의적인 상관관계가 없음을 확인하였다.

Table 3. Correlation coefficients (r_s) of electrical conductivity and color with water loss and shear force of pork loin.

Characteristics	Water loss			Texture
	Drip loss	Cooking loss	Total loss	Shear force
Electrical conductivity				
EC at 45 min	^z	0.24	0.25	-
EC at 3 h	-	-	0.26	0.24
EC at 12 h	-	-	-	-
Color				
L* value	0.30	0.38	0.45	-
a* value	-	0.27	0.28	-
b* value	0.25	0.29	0.37	-

^z No significant correlation ($p > 0.05$).

기존 연구에 따르면 전류의 세기가 작을수록 세포막을 통과하지 못함에 따라 세포 외액의 조성 변화에 민감하게 반응함이 보고되고 있다(Castro-Giráldez et al., 2010). 본 연구에서 이용한 장비의 경우 전기전도도 측정 진동수가 1.2 kHz에 고정되어 있는데, 해당 진동수가 식육의 품질 예측에 적합하지 않은 범위로 생각된다.

육색(L*, a* 및 b*) 수치와 등심 품질 특성과의 연관성

도축 후 24시간 시점 냉도체 등심에서 측정된 명도(L*), 적색도(a*) 및 황색도(b*)의 수치와 등심의 수분 손실률과의 상관관계를 분석한 결과 명도(L*), 적색도(a*) 및 황색도(b*)가 총 감량과 각각 0.45, 0.28 및 0.37의 상관계수를 갖음이 나타났다(Table 3). 식육의 육색은 육색소인 myoglobin의 함량 및 변성 정도와 식육의 근원섬유 및 근섬유의 사이공간 차이에 따른 빛의 산란에 영향을 받는 것으로 알려져 있다(Huff-Lonergan and Lonergan, 2005; Hughes et al., 2019). 도축 후 강직열의 발생과 냉각 온도 차이에 따른 도체 온도가 높은 상태에서 해당작용의 가속화로 인한 근육의 pH의 급격한 저하는 myoglobin의 변성과 함께 근원섬유 사이공간의 감소 및 근섬유 사이공간의 증가를 초래하며, 이로 인해 근세포 내액이 외부로 용출되고 빛을 반사시켜 식육의 명도를 증가시킨다(Hughes et al., 2019).

따라서 식육의 보수력이 낮을수록 식육의 명도가 증가하며 이와 함께 적색도와 황색도 모두 영향을 받게 된다(Jo et al., 2022). 따라서 본 연구에서 명도, 적색도 및 황색도가 등심의 가열 감량 및 총 감량과 유의적인 상관관계를 보인 것으로 생각된다. 하지만 명도, 적색도 및 황색도 모두 등심의 전단력과는 유의적인 상관관계가 나타나지 않았다.

Conclusion

본 연구는 돼지 도체에서 측정된 전기전도도 및 육색이 등심의 수분 손실률과 전단력과의 연관성 여부를 확인하기 위해 수행되었다. 본 연구의 결과 전기전도도의 경우 측정 시점과 관련없이 등심의 품질 특성과 연관성이 매우 낮은 것으로 나타났으며, 육색의 경우 명도값이 등심의 수분 손실률과 가장 높은 상관계수(0.45)를 갖음이 확인되었다. 본 연구의 결과를 고려하였을 때 결론적으로 전기전도도 및 육색 모두 등심의 품질 예측을 위한 지표로 이용되기에는 적절치 않다고 판단된다. 따라서 추후 연구를 통해 돈육의 품질 예측이 가능한 지표의 개발이 요구된다.

Conflict of Interests

No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

Acknowledgements

본 연구는 농촌진흥청(Rural Development Administration)의 농업과학기술협력사업(Project No. RS-2021-RD01 0001)의 지원으로 수행되었습니다.

Authors Information

Hayeon Jeon, <https://orcid.org/0009-0006-3741-7696>

Seul-Ki-Chan Jeong, <https://orcid.org/0000-0002-2163-8340>

Seonmin Lee, <https://orcid.org/0000-0002-5713-1795>

Hyeun Bum Kim, <https://orcid.org/0000-0003-1366-6090>

In-Seon Bae, <https://orcid.org/0000-0003-3543-8785>

Samooel Jung, <https://orcid.org/0000-0002-8116-188X>

Kyung Jo, <https://orcid.org/0000-0002-3006-5396>

References

- Aaslyng MD, Bejerholm C, Ertbjerg P, Bertram HC, Andersen HJ. 2003. Cooking loss and juiciness of pork in relation to raw meat quality and cooking procedure. *Food Quality and Preference* 14:277-288.
- Bai X, Hou J, Wang K, Wang M, Wang X, Wu C, Yu L, Yang J, Leng Y, Sun Y. 2018. Electrical impedance analysis of pork tissues during storage. *Journal of Food Measurement and Characterization* 12:164-172.
- Castro-Giráldez M, Aristoy MC, Toldrá F, Fito P. 2010. Microwave dielectric spectroscopy for the determination of pork meat quality. *Food Research International* 43:2369-2377.
- Grunert KG, Bredahl L, Brunso K. 2004. Consumer perception of meat quality and implications for product develop-

- ment in the meat sector—A review. *Meat Science* 66:259-272.
- Hoa VB, Seong PN, Cho SH, Kang SM, Kim YS, Moon SS, Choi YM, Kim JH, Seol KH. 2019. Quality characteristics and flavor compounds of pork meat as a function of carcass quality grade. *Animal Bioscience* 32:1448-1457.
- Huff-Lonergan E, Lonergan SM. 2005. Mechanisms of water-holding capacity of meat: The role of postmortem biochemical and structural changes. *Meat Science* 71:194-204.
- Hughes J, Clarke F, Li Y, Purslow P, Warner R. 2019. Differences in light scattering between pale and dark beef *longissimus thoracis* muscles are primarily caused by differences in the myofibril lattice, myofibril and muscle fibre transverse spacings. *Meat Science* 149:96-106.
- Hughes JM, Oiseth SK, Purslow PP, Warner RD. 2014. A structural approach to understanding the interactions between colour, water-holding capacity and tenderness. *Meat Science* 98:520-532.
- Jeong HG, Jo K, Lee S, Yong HI, Choi YS, Jung S. 2023a. Characteristics of pork emulsion gel manufactured with hot-boned pork and winter mushroom powder without phosphate. *Meat Science* 197:109070.
- Jeong SKC, Lee S, Jo K, Choi YS, Jung S. 2023b. Quality properties of pork gel manufactured by the pork treated with high hydrostatic pressure without phosphate. *Food and Life* 1:29-38.
- Jo K, Lee S, Jeong HG, Lee DH, Kim HB, Seol KH, Kang S, Jung S. 2022. Prediction of cooking loss of pork belly using quality properties of pork loin. *Meat Science* 194:108957.
- Jo K, Lee S, Jeong HG, Lee DH, Yoon S, Chung Y, Jung S. 2023. Utilization of electrical conductivity to improve prediction accuracy of cooking loss of pork loin. *Food Science of Animal Resources* 43:113-123.
- Jukna V, Jukna C, Peculaitiene N. 2012. Electrical conductivity of pig meat and its relation with quality. *Veterinarija ir Zootechnika* 57:18-21.
- KAPE (Korea Institute for Animal Products Quality Evaluation). 2024. Criteria for grading pork carcass. Accessed in <https://ekape.or.kr/contents/list.do> on 5 April 2024. [in Korean]
- Kellner TA, Prusa KJ, Patience JF. 2014. Impact of dietary fat source and concentration and daily fatty acid intake on the composition of carcass fat and iodine value sampled in three regions of the pork carcass. *Journal of Animal Science* 92:5485-5495.
- Kim GW, Kim HY. 2017. Effects of carcass weight and back-fat thickness on carcass properties of Korean native pigs. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources* 37:385-391.
- Kim S, Choi J, Kim ES, Keum GB, Doo H, Kwak J, Ryu S, Choi Y, Pandey S, Lee NR, et al. 2023. Evaluation of the correlation between the muscle fat ratio of pork belly and pork shoulder butt using computed tomography scan. *Korean Journal of Agricultural Science* 50:809-815.
- Lana A, Zolla L. 2016. Proteolysis in meat tenderization from the point of view of each single protein: A proteomic perspective. *Journal of Proteomics* 147:85-97.
- Lee S, Jo K, Jeong SKC, Jeon H, Choi YS, Jung S. 2024. Characterization of peptides released from frozen-then-aged beef after digestion in an *in vitro* infant gastrointestinal model. *Meat Science* 212:109468.
- Lee S, Norman JM, Gunasekaran S, van Laack RLJM, Kim BC, Kauffman RG. 2000. Use of electrical conductivity to predict water-holding capacity in post-rigor pork. *Meat Science* 55:385-389.
- Leng Y, Sun Y, Wang X, Hou J, Zhao X, Zhang Y. 2020. Electrical impedance estimation for pork tissues during chilled storage. *Meat Science* 161:108014.
- MAFRA (Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs). 2024. Major statistics on agricultural, livestock, and food Products 2023. Accessed in <https://www.mafra.go.kr/home/5104/subview.do> on 5 April 2024. [in Korean]
- Overholt MF, Arfeld EK, Mohrhauser DA, King DA, Wheeler TL, Dilger AC, Shackelford SD, Boler DD. 2016. Comparison of variability in pork carcass composition and quality between barrows and gilts. *Journal of Animal Science* 94:4415-4426.
- Park Y, Kim K, Kim J, Seo J, Choi J. 2023. Verification of reproducibility of VCS2000 equipment for mechanical measurement of Korean Landrace×Yorkshire (F1), F1×Duroc (LYD) pig carcasses. *Food Science of Animal Resources* 43:553-562.
- Tuell JR, Nondorf MJ, Kim YHB. 2022. Post-harvest strategies to improve tenderness of underutilized mature beef: A review. *Food Science of Animal Resources* 42:723-743.