

ARTICLE

CO₂가스 실신이 돼지 소장의 색도와 이화학적 특성에 미치는 영향

김현욱^{1*} · 송동헌^{1†} · 김동균¹ · 성필남¹ · 전중환² · 김찬호² · 김수미²

¹농촌진흥청 국립축산과학원 축산푸드테크과, ²농촌진흥청 국립축산과학원 동물복지과

Effect of Carbon Dioxide Stunning on Color and Physicochemical Characteristics of Small Intestine of Pork

Hyoun Wook Kim^{1#}, Dong-Heon Song^{1#}, Dong-Kyun Kim¹, Pil-Nam Sung¹, Joong-Hwan Jeon², Chan-Ho Kim², Su-Mi Kim²

¹Animal Resources Food Tech Division, National Institute of Animal Science, Rural Development Administration, Wanju 55365, Korea

²Animal Welfare Division, National Institute of Animal Science, Rural Development Administration, Wanju 55365, Korea

Received: November 29, 2024

Revised: December 16, 2024

Accepted: December 18, 2024

† These authors contributed equally to this work.

*Corresponding author :

Hyoun Wook Kim

Animal Products Utilization Division,
National Institute of Animal Science,
Rural Development Administration,
Wanju 55365, Korea

Tel : 82-63-238-7354

E-mail : woogi78@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

Hyoun Wook Kim

<https://orcid.org/0000-0002-2979-345X>

Dong-Heon Song

<https://orcid.org/0000-0002-4670-3321>

Dong-Kyun Kim

<https://orcid.org/0000-0002-8416-0436>

Pil-Nam Sung

<https://orcid.org/0000-0003-2915-1059>

Joong-Hwan Jeon

<https://orcid.org/0000-0001-9725-547X>

Chan-Ho Kim

<https://orcid.org/0000-0003-2121-5249>

Su-Mi Kim

<https://orcid.org/0009-0007-0922-1263>

Abstract

Stunning methods in pig slaughter have evolved over time. Recently, carbon dioxide stunning, considering animal welfare, has been newly applied. In Korea, carbon dioxide stunning is increasingly replacing electrical stunning. Industrially, carbon dioxide stunning is known to darken the color and weaken the texture of pig viscera, leading to a decrease in marketability and resulting in product disposal. Therefore, the objective of this study was to assess the color and physicochemical attributes of the small intestine from pigs subjected to carbon dioxide stunning. The pigs raised on the same farm were divided into two groups: electrical stunning (ES) and carbon dioxide stunning (CS), with 10 pigs in each group. Slaughter and small intestine collection were performed on the same day at the slaughterhouse. The results of the study showed a significant difference in pH between ES and CS. In terms of color before cooking, ES showed significantly higher lightness, while CS exhibited higher redness ($p<0.05$). There was no significant difference in yellowness ($p>0.05$). After cooking, there was no difference in lightness, but significant differences were observed in redness and yellowness between the two groups. The thickness of the offal was thicker in ES (2.09→2.38 mm) than in CS (0.98→1.49 mm) before and after cooking ($p<0.05$). Consequently, the shear force was higher in ES (15.63→7.89 kgf) compared to CS (11.18→6.01 kgf). In conclusion, applying carbon dioxide stunning in pig slaughter affects the color and physicochemical characteristics of the small intestine, but their quality differences diminish after cooking.

Keywords

Carbone dioxide, Small intestine, Color, Stunning methods

I. 서론

최근 국내 소비자의 축산물 구매패턴은 맛과 안전성 등 고품질의 축산물을 선호하는 쪽으로 변하였으며, 수입산보다는 국내산을 더 선호하는 경향을 나타내고 있다. 국내에서 생산되는 축산 부산물은 저렴하고 활용성이 우수한 식품으로 인식되고 있다. 축산 부산물은 국밥, 순대 등의 식재료로 활용되어 국민 먹거리인 동시에 생산농가 소득의 일부분을 차지하고 있다(RAD, 2015). 최근, 축산 부산물의 생산에 있어서 가스실신 돼지의 소장은 검붉게 변색이 되어 품질 이상을 이유로 부산물 업체들의 수매 거부가 발생하는 문제가 발생되고 있다.

도축은 식육 등 축산물을 생산하기 위한 필수적인 공정이며, 실신(stunning)은 도축 작업의 효율성

향상과 식육의 품질 향상을 위한 중요한 공정이다. 유럽연합(EU)에서는 도축과정에서 동물에게 불필요한 고통을 줄이기 위해선 인도적인 방법으로 기절시켜 무의식과 무감각한 상태에서 도축이 실시되어야 한다고 법으로 명시하고 있다(Gerritzen et al., 2013). 세계적으로 동물복지에 대한 관심이 높아지면서 도축과정에서도 동물에게 불필요한 고통을 줄이기 위해 다양한 실신방법이 사용되고 있다. 특히, 이산화탄소(CO₂) 실신법은 동물 복지와 도축 공정의 효율성을 동시에 고려한 방법으로 돼지의 도축과정에서 전기실신을 대체하여 사용되고 있다.

가스실신법은 동물 복지와 육질을 유지하기 위한 도축 전 가축을 실신시키기 위한 방법으로 활용될 수 있으며(Berg and Raj, 2015), Raj 등(1990)은 가스를 이용한 새로운 동물 기절 방법이 점점 더 많은 도축장에서 사용되고 있다고 보고하였다. CO₂가스는 돼지(Verhoeven et al., 2016)와 닭(Sandilands et al., 2011)의 가스실신법에 주로 사용되는 가스로, 동물의 실신을 위해 70~95%의 CO₂ 농도 또는 CO₂와 N₂(질소) 및 Ar(아르곤)을 혼합하여 활용된다(Llonch et al., 2012; Verhoeven et al., 2016). 고농도의 CO₂에 노출되면 고탄산혈증 상태가 만들어져 혈액의 pH가 낮아지고 CO₂ 분압이 증가하며 산소 분압이 감소하여 가축의 의식 상실이 유도된다(Martoflet et al., 2022). 그러나 CO₂ 기절 방법은 육류와 내장의 변색을 초래하며, 소장 등 내장 부산물을 식용으로 사용하는 우리나라에서는 내장의 변색은 부산물의 상품가치가 낮아질 수 있다.

현재 국내에는 8개소의 돼지 도축장이 가스실신법을 도입한 것으로 알려져 있으며, 실신가스로는 이산화탄소(CO₂)를 사용하고 있다. 그러나 CO₂ 가스실신법이 돼지 내장의 품질에 미치는 영향에 관한 연구는 미비한 실정으로, CO₂ 가스실신법이 돼지 내장의 품질에 미치는 영향을 조사할 필요가 있다.

따라서 본 연구에서는 이산화탄소(CO₂) 실신방법이 돼지 소장의 품질에 미치는 영향을 평가하기 위해 돼지 실신 시 전기실신과 CO₂ 실신 적용에 따른 소장의 색상과 이화학적 특성을 분석하였다.

II. 재료 및 방법

1. 공시축 및 도축

본 연구에 사용된 공시축은 충남지역의 양돈농장에서 사육된 돼지를 20수 구입하였으며, 충남지역 거점도축장에서 전기실신(ES)과 CO₂ 실신(CS) 방법으로 각 10수씩 실신시킨 후 도축하였다. 실신방법별로 실신시킨 돼지는 현수하여 경동맥 절단 후 2분간 방혈한 후 도축하였으며, 적출된 소장은 약 100 cm씩 채취하여 세척후 냉장 보관 후 실험에 사용하였다. 소장의 색도, 두께 및 전단력 측정을 위해 신선한 소장과 가열한 소장을 실험에 사용하였다. 이때, 돼지 소장은 폴리에틸렌 포장지에 넣고 80℃의 항온수조에서 30분간 가열하고 식힌 후 실험에 사용하였다.

2. pH

pH는 신선한 소장 3 g에 증류수 27 mL를 가하여 균질기(PT-MR2100, Kinematica AG, Switzerland)를 이용하여 12,000 rpm에서 60초 동안 균질하였다. 이후, 균질액을 pH meter(FP 20, Mettler Toledo, Switzerland)를 이용하여 pH를 측정하였다.

3. 표면 색도

돼지 소장의 표면 색도는 시료를 상온에서 30분간 자연적으로 발색(blooming)시킨 후 색차계(CR-400, Minolta, Japan)를 이용하여 L^{*}(lightness, 명도), a^{*}(redness, 적색도), b^{*}(yellowness, 황색도), C^{*}(채도, $C^* = [a^{*2} + b^{*2}]^{1/2}$) 및 hue-angle(색상각, $h^\circ = \tan^{-1}[b^*/a^*]$)을 측정하였다. 색차계 보정에 사용된 백색 표준판의 값은 CIE L^{*} + 95.01, CIE a^{*} - 0.71, CIE b^{*} + 3.96이다.

4. 내장 두께

돼지 소장의 두께는 디지털 캘리퍼스(IP54 plus, Terma, China)를 이용하여 측정하였다. 시료는 흰색 플라스틱판에 펼친 후 소장의 시작 지점부터 5 cm를 첫지점으로 하여 이후 5~7 cm 간격으로 9군데를 선정하여 두께를 측정한 후 평균값을 사용하였다.

5. 전단력

전단력은 Warner-Bratzler shear blade가 장착된 물성기(5543, Instron Corp., USA)를 이용하여 시료를 완전히 절단하는 값을 측정하였다. 시료는 가열 전후의 소장을 길이 5 cm로 자르고 그 중심부를 수직으로 절단하는 힘을 측정하였다. 시료당 9회 측정하여 평균 수치를 결과값(kgf)으로 사용하였다. 이때, 측정조건은 load cell이 50 kg, cross-head speed는 400 mm/min으로 설정하였다.

6. 통계분석

본 연구의 결과는 각 처리구별로 돼지 10두에 대한 측정 평균값과 표준편차로 나타내었다. 통계분석은 SAS Enterprise 7.1(Statistics Analytical System Institute Inc., USA)를 이용하여 Student's t-test로 분석하였으며, 처리구 평균간의 유의수준은 95%($p < 0.05$) 수준 이하에서 인정되었다.

III. 결과 및 고찰

1. 실신방법에 따른 돼지 소장의 시각적 외관, pH 및 색도

실신방법에 따른 돼지 소장의 형태를 시각적으로 관찰한 결과 가열전 소장은 CO₂실신(CS) 돼지 소장의 색상이 검붉은 색을 띄었으며 전기실신(ES)보다 어두운 것으로 관찰되었다(Fig. 1). 가열한 소장에서는 붉은색은 비슷하게 보이지만, CS 처리구가 ES 처리구보다 다소 어두운 표면색을 나타내었다.

실신방법에 따른 돼지 소장의 pH와 표면 색도는 Table 1과 같다. 실신방법에 따른 돼지 소장의

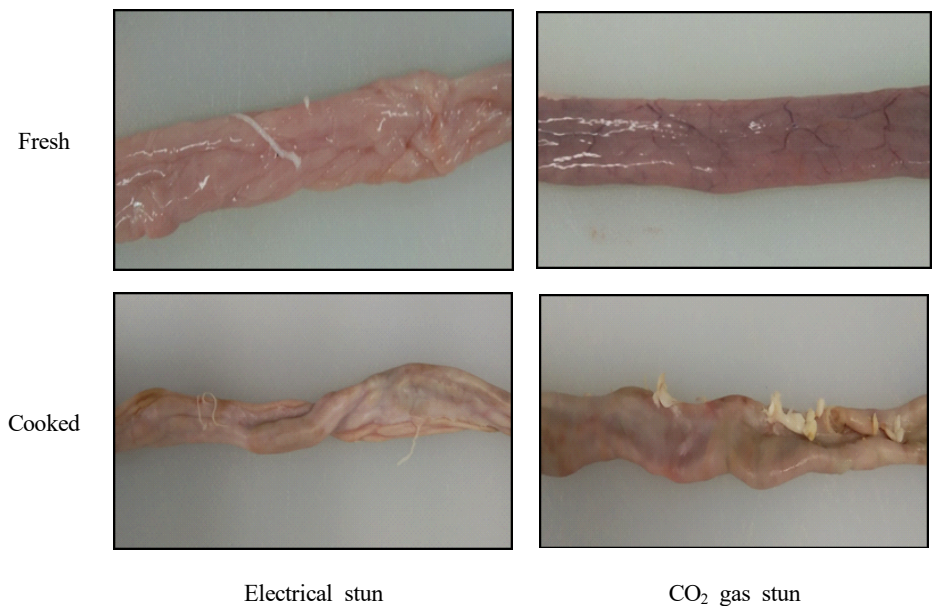


Fig. 1. Appearance of electrical or carbon dioxide (CO₂) stunning on small intestines from pork.

Table 1. pH and color of electrical or carbon dioxide (CO₂) stunning on small intestines from pork

Traits	Electrical stun	CO ₂ gas stun	Significantly of T-test
pH	6.98±0.22***	6.55±0.15	<0.001
Color ¹⁾			
Fresh			
L*	61.29±1.23***	57.37±2.04	<0.001
a*	9.82±0.98	11.87±1.56**	0.004
b*	5.97±1.71	7.85±2.60	0.089
C*	11.60±1.17	14.47±1.55***	<0.001
Hue-angle(°)	31.01±7.82	33.05±10.76	0.652
Cooked			
L*	67.87±2.06	65.17±3.61	0.071
a*	7.55±1.59	9.25±1.47*	0.030
b*	9.22±0.79	10.80±1.88*	0.032
C*	12.01±0.97	14.37±1.07***	<0.001
Hue-angle(°)	51.08±7.45	49.17±8.56	0.620

All values are mean±SD.

Asterisks indicate the significance of student t-test between stunning condition.

*p<0.05; **p<0.01; ***p<0.001.

¹⁾Color: L* refers to lightness, a* to redness, b* to yellowness, C* to chroma, and Hue-angle to the color angle.

pH는 ES 처리구(6.98)가 CS 처리구(6.55)에 비해 유의적으로 높은 값을 나타내었다($p<0.001$). Marcon 등(2019)은 돼지 등심육은 pH가 전기실신 시 CO₂보다 더 낮게 나타난다고 하였으며, Rees 등(2003)은 전기실신에 의해 유도된 사후대사의 가속화의 영향으로 pH가 낮아진다고 하였다. 한편으로 Zybert(2022)는 기절방법에 관한 육질 분석 결과에 대한 메타분석 결과에서 기절방법은 최종 pH에 영향을 미치지 않는다고 보고하였다. 그러나 Velarde 등(2023)은 CO₂의 높은 용해성으로 인해 실신과정 중 소장 조직에 산성화와 혈관 손상이 발생할 수 있다고 하였다. 국립축산과학원(2012)의 연구에서 소장의 pH는 6.45 정도로 나타내어 본 연구에서 CS 처리구와 유사한 수치를 보였다. 따라서 본 연구에서 CO₂ 가스로 실신된 소장의 pH는 CO₂의 영향으로 전기실신보다 낮은 pH를 보였지만, CO₂ 실신을 적용하여도 일반적인 pH 수치를 크게 벗어나지는 않는 것으로 생각된다.

실신방법에 따른 돼지 소장의 색도는 가열 전에는 ES 처리구가 CS 처리구보다 명도(L*)가 높고($p<0.001$), 적색도(a*)는 유의적으로 낮지만($p<0.01$), 황색도(b*)는 유의적 차이가 없었다. 채도는 CS 처리구가 ES 처리구보다 유의적으로 높았으며($p<0.001$), 색상각에 유의적 차이는 없었다. 가열 후에는 명도와 색상각에 유의적 차이가 없었으며, 적색도($p<0.05$), 황색도($p<0.05$), 채도($p<0.001$)에서 CS 처리구가 ES 처리구보다 유의적으로 높았다. Channone 등(2002)은 전기실신이 돼지 등심의 L*값에 영향을 미친다고 보고하였으며, Warner 등(1997)은 전기실신법이 가스실신법에 비해 더 높은 L*값을 나타낸다고 보고하였다. Claudia Terlouw 등(2021)과 Zybert(2022)는 CO₂ 실신은 초기 pH 감소 속도를 증가시키고, 이는 근육대사에 영향을 미쳐 육색과 물성에 변화를 줄 수 있으며, 특히 초기 근육 대사 속도가 빠르면 어두운 적색을 띠는 경향을 보인다고 하였다. Zybert(2022)는 CO₂ 실신과정에서 근육의 수분 유지 능력(Drip loss)이 높아지고, 명도(L*)는 낮아진다고 보고하였다. Alam 등(2022)은

CO₂ 농도가 높을수록 헤모글로빈과 미오글로빈의 적색도를 높이고 황색도를 낮추며 CO₂ 실신법으로 도축할 경우 육류와 내장의 변색(특히 어두운 적색)을 초래한다고 보고하였으며, Velarde 등(2023)은 CO₂에 의해 소장 색상의 변색을 유발하여 품질에 영향을 미칠 수 있다고 하였다.

따라서 본 연구에서도 가스실신법에 사용한 CO₂의 영향으로 전기실신보다 낮은 pH와 높은 적색도(a*)와 황색도(b*)를 나타낸 것으로 판단된다. 가열 전·후의 색도 변화는 명도와 황색도가 높아지고, 적색도가 낮아지며 색상각은 가열 전보다 가열 후에 CS가 보다 ES 낮아졌다. 결과적으로 실신방법에 따른 가열전 소장의 색도 차이는 가열에 의해 줄어드는 결과를 보였다.

2. 실신방법에 따른 돼지 소장의 두께와 전단력

실신방법에 따른 돼지 소장의 두께는 Fig. 2에 나타내었다. 돼지 소장의 두께는 전기실신의 경우 가열 전 2.09 mm에서 가열 후 2.38 mm로 나타났으며, CO₂ 실신은 가열 전 0.98 mm에서 가열 후 1.49 mm로, 가열전·후 모두 전기실신이 두꺼운 것으로 나타났다($p < 0.001$). Dransfeld(1994)는 전기실신이 동물의 칼파인 활성을 낮춘다고 보고하였다. Alam 등(2022)과 Zybert(2022)는 CO₂의 높은 용해성과 조직 산성화가 소장벽의 구조적 약화를 유발시킬 수 있다고 보고하였다. 닭의 실신에서 CO₂ 적용은 전기실신보다 소장의 두께를 얇게 하였다(Alam *et al.*, 2024). 따라서 실신방법에 따른 소장 두께 차이는 CO₂ 가스로 실신 시 돼지 체내로 흡수되는 CO₂에 의한 영향으로 판단된다. 가열 전후를 비교하였을 때 신선 소장에 비해 가열소장의 두께가 두꺼웠는데 이는 열에 의한 단백질 변성에 의한 것으로 판단된다.

실신방법별 돼지 소장의 전단력(Fig. 3)은 전기실신이 CO₂ 실신보다 높은 값을 나타내었는데($p < 0.001$), 각각 전기실신이 신선 15.63 kgf, 가열 7.89 kgf, CO₂ 실신은 신선 11.18 kgf, 가열 6.01 kgf로 나타났다. 이는 소장 두께에 따른 차이와 동일한 결과이다. 실신과정 중 흡입된 CO₂ 가스는 체내에 높은 수준으로 머무르며 콜라겐의 삼중 나선 중 결합이 약한 곳에 균열을 만들어 최종적으로 전단력을 낮추는데 영향을 미친다고 알려졌다(Bruce *et al.*, 1996; Offer *et al.*, 1984). 결과적으로 실신

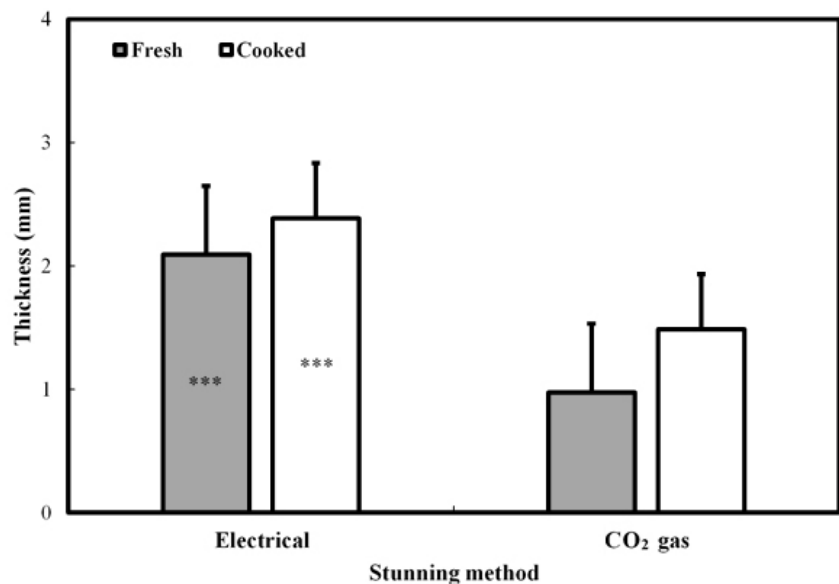


Fig. 2. Effect of electrical or carbon dioxide (CO₂) stunning on thickness of small intestines from pork. Asterisks indicate the significance of student t-test between stunning condition. *** $p < 0.001$.

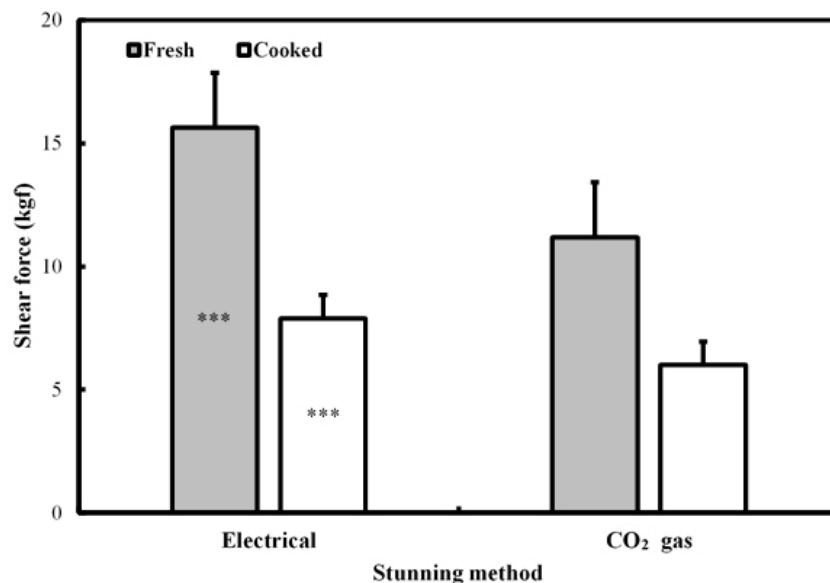


Fig. 3. Effect of electrical or carbon dioxide (CO₂) stunning on shear force of small intestines from pork. Asterisks indicate the significance of student t-test between stunning condition. ***p<0.001.

방법별 전단력 또한 CO₂의 영향에 의한 소장벽의 구조적 약화에 영향을 받으며, 가열 전후의 전단력은 소장 내 단백질의 열변성과 구조변화에 기인한 것으로 판단된다.

IV. 요약

본 연구는 전기실신법과 CO₂실 신법이 돼지 소장의 색도와 이화학적 특성에 미치는 영향을 평가하기 위해 충남지역 농장에서 사육된 돼지 20두를 공시하여 소장의 색상과 이화학적 특성을 분석하였다. 실신방법별 돼지 소장의 pH는 전기실신이 6.98, CO₂ 실신이 6.55로 상당한 차이를 나타내었다. 가열전 소장의 색상은 전기실신의 명도가 유의적으로 높았으며, CO₂는 적색도가 높게 나타났다. 가열 후 명도와 색상각에는 차이가 없었으나, 적색도, 황색도 및 채도에서는 두 그룹 간에 유의한 차이가 관찰되었다. 내장의 두께는 조리 전후 ES(2.09→2.38 mm)가 CS(0.98→1.49 mm)보다 두꺼웠다 (p<0.05). 결과적으로 전단력은 CS(11.18→6.01 kgf)가 ES(15.63→7.89 kgf)보다 더 낮게 나타났다. 결론적으로, 돼지 도축 시 이산화탄소 기질을 적용하면 소장의 색과 이화학적 특성에 영향을 끼치며, 특히 소장의 색상 변화(검붉은색)는 시각적 품질에 나쁜 영향을 끼칠 수 있을 것으로 판단된다. 다만, 가열 후에는 두 그룹간의 품질 차이가 줄어드는 것으로 나타났다. 추후, CO₂가스실신법으로 생산되는 돼지 내장의 품질 향상을 위해 CO₂ 가스 농도 및 노출시간에 따른 내장의 품질 특성에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

V. 감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 국립축산과학원 연구사업(PJ 01621403)의 지원 및 2024년도 농촌진흥청 국립축산과학원 전문연구원 과정 지원사업에 의해 이루어졌습니다.

VI. 참고문헌

1. Alam MS, Song DH, Kang SM, Hwang IH, Seol KH, Cho SH, Jeon JH, Kim HW. 2024. Evaluation of the quality characteristics of nitrogen gas-stunned chicken meat and small intestine. *J Anim Sci Technol* 66:792-806.
2. Alam MS, Song DH, Lee JA, Hoa VB, Hwang IH, Kim HW, Kang SM, Cho SH, Seol KH. 2022. Effect of high concentration nitrogen gas stunning of pigs on the quality traits of meat and small intestine. *Animals* 12:2249.
3. Berg C, Raj M. 2015. A review of different stunning methods for poultry-animal welfare aspects (stunning methods for poultry). *Animals* 5:1207-1219.
4. Bruce HL, Wolfe FH, Jones SDM, Price MA. 1996. Porosity in cooked beef from controlled atmosphere packaging is caused by rapid CO₂ gas ebolution. *Food Res Int* 29:189-193.
5. Channon HAP, Payne AM, Warner RD. 2002. Comparison of CO₂ stunning with manual electrical stunning (50 Hz) of pigs on carcass and meat quality. *Meat Sci* 60:63-68.
6. Claudia Terlouw EM, Deiss V, Astruc T. 2021. Comparing gas and electrical stunning: Effects on meat quality of pig when pre-stunning physical activity is minimal. *Foods* 10:319.
7. Dransfeld E. 1994. Modelling post-mortem tenderization-V: Inactivation of calpains. *Meat Sci* 37:391-409.
8. Gerritzen MA, Reimert HGM, Hindle VA, Verhoeven MTW, Veerkamp WB. 2013. Multistage carbon dioxide gas stunning of broilers. *Poult Sci* 92:41-50.
9. Llonch P, Dalmau A, Rodríguez P, Manteca X, Velarde A. 2012. Aversion to nitrogen and carbon dioxide mixtures for stunning pigs. *Anim Welf* 21:33-39.
10. Marcon AV, Caldara FR, De Oliveira GF, Gonçalves LMP, Garcia RG, Paz ICLA, Crone C, Marcon A. 2019. Pork quality after electrical or carbon dioxide stunning at slaughter. *Meat Sci* 156:93-97.
11. Martoft L, Lomholt L, Kolthoff C, Rodriguez BE, Jensen EW, Jorgensen PF, Pedersen HD, Forslid A. 2002. Effects of CO₂ anaesthesia on central nervous system activity in swine. *Lab Anim* 36:115-126.
12. Offer G, Restall D, Trinick J. 1984. Water- holding in meat. *Res Adv Chem meat* 5:71-86.
13. Raj ABM, Grey TC, Audsely, Gregory NG. 1990. Effect of electrical and gaseous stunning on the carcass and meat quality of broilers. *Br Poult Sci* 31:725-733.
14. Rees MP, Trout GR, Warner RD. 2003. The influence of the rate of pH decline on the rate of ageing for pork. I: Interaction with method of suspension. *Meat Sci*. 65:791-804.
15. Rural Development Administration (RDA). Studies on edible meat co-product processing and utilization. Available from: dl.nanet.go.kr/detail/NONB1201526128. Accessed at Mar. 2015.
16. Sandilands V, Raj A, Baker L, Sparks N. 2011. Aversion of chickens to various lethal gas mixtures. *Anim Welf UFAW J* 20:253.

17. Velarde A, Cruz J, Gispert M, Carrion D, Ruiz de la Torre JL, Diestre A, Manteca X. 2023. Aversion to carbone dioxide stunning in pig: Effect of carbon dioxide concentration and Halothane genotype. *Anim Welf* 16:513-522.
18. Verhoeven M, Gerritzen M, Velarde A, Hellebrekers L, Kemp B. 2016. Time to loss of consciousness and its relation to behavior in slaughter pigs during stunning with 80 or 95% carbon dioxide. *Front Veter Sci* 3:38.
19. Warner RD, Kauffman RG, Greaser ML. 1997. Muscle protein changes post mortem in relation to pork quality traits. *Meat Sci* 45:339-352.
20. Zybert A. 2022. Quantification of the effects of electrical and CO₂ stunning on selected quality attributes of fresh pork: A meta-analysis. *Animals*. 12:1811.