

ARTICLE

CO₂ 가스 실신이 돼지의 이화학적 특성과 스트레스에 미치는 영향

김현욱^{1,*,#} · 송동헌^{1,#} · 이정아^{1,2} · 김동균¹ · 성필남¹ · 전중환³

¹농촌진흥청 국립축산과학원 축산물이용과, ²공주대학교 동물자원학과,
³농촌진흥청 국립축산과학원 동물복지연구팀

Effect of Electrical and Carbon Dioxide Stunning on Stress and Physicochemical Characteristics of Loin in LYD Pigs

Hyoun Wook Kim^{1,*,#}, Dong-Heon Song^{1,#}, Jeong-Ah Lee^{1,2},
Dong-Kyun Kim¹, Pil-Nam Sung¹, Joong-Hwan Jeon³

¹Animal Products Utilization Division, National Institute of Animal Science, Rural Development Administration, Wanju 55365, Korea

²Department of Animal Resources Science, Kongju National University, Chungnam 32439, Korea

³Animal Welfare Research Team, National Institute of Animal Science, Rural Development Administration, Wanju 55365, Korea

Received: May 19, 2024

Revised: June 20, 2024

Accepted: June 24, 2024

*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

#These authors contributed equally to this work.

Copyright © 2024 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>
Jeong-Ah Lee
<https://orcid.org/0000-0003-3019-8321>
Dong-Kyun Kim
<https://orcid.org/0000-0002-8416-0436>
Pil-Nam Seong
<https://orcid.org/0000-0003-2915-1059>
Joong-Hwan Jeon
<https://orcid.org/0000-0001-9725-547X>

Abstract

The carbon dioxide stunning method is known to induce less stress in slaughtered livestock compared to conventional methods. A reported disadvantage of the carbon dioxide stunning method compared to electrical stunning is that it is associated with softness of meat quality. However, research on the effects of carbon dioxide stunning on stress levels and meat quality in Korean LYD pigs is limited. Therefore, this study examined the effects of gas stunning methods on cortisol content and the physical characteristics of loins in LYD pigs. Ten LYD pigs were used for each treatment, divided into electrical stunning (Elec) and carbon dioxide stunning (CO₂) groups. Cortisol content was 3.38 to 4.47 ug/dL for Elec and 2.89 to 3.56 ug/dL for CO₂, both before and after stunning (p>0.05). There was no significant difference in pH and myoglobin content between the two methods. The meat color did not differ significantly, with lightness of 51.49 and 52.64, redness of 5.75 and 5.67, and yellowness of 5.59 and 6.18 for Elec and CO₂, respectively. TBARS was significantly higher in Elec (0.18 MDA mg/g) compared to CO₂ (0.14 MDA mg/g) on day 2, but no significant difference on day 7. Elec had higher moisture and protein, while CO₂ had higher fat and ash, due to individual variation. In conclusion, carbon dioxide stunning may induce less stress and has minimal impact on the stress, color, and lipid oxidation of LYD pork, with potential individual variations.

Keywords

Carbone dioxide, Cortisol, Pork loin

1. 서론

도축은 주로 고기, 모피, 가죽 등을 얻기 위해 행해지며, 도축과정 중 실신(stunning)은 작업의 효율성 증가와 식육의 품질 향상을 위한 중요한 공정이다. 유럽에서는 동물에게 불필요한 고통을 방지하기 위해 도축시 동물에게 기절을 실시하여 동물이 무의식과 무감각한 상태에서 도축해야 한다고 법률로 명시하고 있다(Gerritzen *et al.*, 2013). 우리나라에서 가죽의 도살은 ‘동물도축세부규정’(농림축산검역본부고시 제2019-28호)에 따라 행해지고 있다. 전세계적으로 돼지의 실신 시 대표적으로 전기실신법과 이산화탄소(CO₂) 실신법이 사용되고 있으며, 우리나라에서는 주로 전기실신법이 사용되고 있다.

돼지의 도축과정 중 사람과의 밀접한 접촉과 통제, 기절방법 등이 돼지의 스트레스와 이상육 발생

에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(Velard et al., 2000; Velard et al., 2007). Gregory(1994)는 도축 시 기절방법의 영향으로 골절, 근출혈, 타박상, 부적절한 출혈, PSE육을 포함하여 도체나 고기의 품질 저하가 발생한다고 하였다. 따라서, 기절 중 도체 생산에 부정적인 영향을 개선하기 위한 연구가 이루어졌으며, 특히, 유럽 및 북미 지역을 중심으로 전기실신을 대체하여 CO₂가스법 도입에 관한 비교 연구가 진행되어 왔다.

일반적으로 전기실신법으로 생산된 고기는 CO₂가스법으로 생산된 고기에 비해 도축 직후 더 빠른 pH 감소 현상과 낮은 보수력을 나타내며(Casteels et al., 1995; Channon et al., 2000; Channon et al., 2002), 근출혈(혈관파열) 발생율은 CO₂가스법이 전기실신법에 비해 적게 발생한다고 알려져 있다(Bartone-Gade, 1997; Channon et al., 2002; Velarde et al., 2000; Velarde et al., 2001). 또한 기절한 돼지가 도축과정에서 방혈 중 의식을 회복하는 경우가 발생하는데, 가스실신법이 전기실신법에 비해 방혈과정에서 의식이 회복되는 경우가 적다고 보고되었다(농촌진흥청, 2017). 동물복지에 기초한 가축관리 개선 연구 보고서(농촌진흥청, 2017)에서는 돼지 도축장별로 의식회복 개체 발생율은 0.2~23.6%로 나타났고, 기절방법에 따른 의식회복 사례는 전기실신이 12.3%이고, 가스실신은 1.7%가 발생하는 것으로 조사되었다.

전기실신법에 비하여 여러 장점이 보고된 바, 전 세계적으로 이산화탄소 가스실신방법을 활용하는 도축장이 증가하는 추세이다. 현재 국내 돼지 도축장은 약 68개소로 이중 8개소가 이산화탄소 가스실신법을 도입한 것으로 알려져 있다. 그러나 국내 도축장에서 가스실신법으로 생산된 돈육의 육질 특성과 스트레스의 영향에 관한 연구는 미비한 실정으로, 국내 실정을 반영한 가스실신방법이 돼지의 스트레스 발생 정도와 육질에 미치는 영향을 조사할 필요가 있다.

따라서 본 연구에서는 실신방법이 돼지의 스트레스 발생과 돼지고기 품질에 미치는 영향을 평가하기 위해 전기실신과 CO₂실신방법적용에 따른 실신전후 스트레스 호르몬 농도와 돼지고기의 이화학적 특성을 분석하였다.

II. 재료 및 방법

1. 공시축 및 도축

본 연구에 사용된 공시축은 충남지역의 양돈농장에서 사육된 거세 돼지(생체중 106.0±4.1 kg)를 20수 구입하였으며, 충남지역 거세도축장에서 전살법과 이산화탄소(CO₂)법으로 각 10수씩 실신시킨 후 도축하였다(IRB/IACUC : NIAS-2022-174). 실신방법별로 실신시킨 돼지는 현수하여 경동맥 절단 후 2분간 방혈한 후 도축하였으며, 24시간 냉각한 도체를 국립축산과학원으로 운송한 후 정형 및 발골하였다. 이후, 실험에 사용할 돼지 등심육은 폴리에틸렌 포장지에 진공포장하여 4℃ 냉장고에서 4일간 냉각을 실시 후 육질 분석에 사용하였다.

2. 혈중 코티솔(Cortisol) 함량

실신방법에 따른 돼지의 혈중 코티솔(스트레스호르몬, cortisol) 농도 변화 확인을 위해 전살법(Elec)과 CO₂법(CO₂) 두 그룹으로 나누어 실신 전과 실신 후에 혈액을 채취하였다. 계류 중인 돼지와 전살법 또는 CO₂가스법으로 실신시킨 돼지의 경동맥에서 혈액을 채취 후, 4,500 rpm, 4℃에서 10분 동안 원심분리를 실시하여 혈청을 분리하고, 분석 전까지 -80℃에서 보관하였다. 혈중 코티솔 농도는 cortisol ELISA kit(Cusabio, USA, TX)를 사용하여 분석하였다(Song et al., 2023).

3. pH

pH는 등심육 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.

4. 표면 육색

돼지 등심육의 표면 육색은 시료를 상온에서 30분간 발색(blooming)시킨 후 색차계(CR-400, Minolta, Japan)를 이용하여 L*(lightness, 명도), a*(redness, 적색도) 및 b*(yellowness, 황색도) 값을 측정하였다. 이때, 색차계 보정은 CIE L* 값이 +95.01, CIE a* 값이 -0.71, CIE b* 값이 +3.96인 백색 표준판을 사용하여 실시하였다.

5. 미오글로빈 함량

돼지 등심육의 미오글로빈 함량은 Sammel 등(2002)의 방법을 응용하여 측정하였다. 시료 4g에 5배(w/v)의 증류수를 가하고 균질기(T25 Digital Ultra-Turrax, Ika Werke GmbH & Co., Germany)를 이용하여 13,500 rpm으로 10 초간 균질하였다. 균질액은 4°C 냉장고에 1시간 동안 반응시킨 후 원심분리기(Avanti JXN-26 Centrifuge, Beckman Coulter, Inc., Fullerton, CA, USA)에서 30,000×g로 30분간 원심분리하였다. 이후 상등액을 0.45 μm syringe filter로 여과하고 UV-vis spectrophotometer(UV-1280, Shimadzu Corp., Kyoto, Kansai, Japan)로 525 nm에서 흡광도를 측정하였다. 마이글로빈의 분자량(Drabkin 1978; 16,110) 및 몰흡광계수(Bowen 1949; 7.6 mM⁻¹ cm⁻¹), 시료의 희석배수를 이용해 시료 1 g당 1 mg으로 산출하였다.

$$\text{Myoglobin (mg/g meat)} = (A_{\text{sample}} - A_{\text{blank}}) \times 16,110 \times (\text{dillution}) / (7.6 \times 1 \times 1000)$$

6. 일반성분과 콜라겐 함량

돼지 등심육의 일반성분과 콜라겐 함량은 AOAC 방법(Anderson, 2007)을 응용하여 근적외선 분광기(Food Scan, Foss Tecator Co., Ltd., Hillerod, Denmark)를 이용하여 분쇄한 등심육 약 100 g을 사용하여 측정하였다.

7. 지질산패도(Thiobarbituric acid Reactive Substances, TBARS)

돼지 등심육의 지질산패도는 Buege와 Aust(1978)의 방법을 응용하여 분석하였다. 유리시험관에 시료 2.5 g, 증류수 7.5 mL, 6%(w/v) BHT 시약 50 uL 와 20 mM TCA/15% TBA 시약 10 mL를 넣고, 균질기로 11,000 rpm으로 15초간 균질하였다. 이때, 공실험은 시료 대신 증류수 2.5 mL로 대체하였다. 20 mM TCA/15% TBA 시약을 7.5 mL을 추가하여 90°C의 항온수조에서 15분간 가열 후 얼음물에 담가 20분간 방냉을 실시하였다. 방냉된 시험액은 Voltex로 혼합 후 원심분리기를 이용하여 3,000×g로 25°C에서 10분간 원심분리를 실시하였다. 이후, 상등액을 Whatman No. 4로 여과하고, 여과액을 UV-vis spectrophotometer로 531 nm의 흡광도에서 측정하였다. 지질산패도는 시료를 측정된 값에서 공실험값을 제외하여 산출하였다.

$$\text{TBARS (mg MDA/kg meat)} = \text{Abs} \times 12 \times 72 / 156 = \text{Abs} \times 5.54$$

8. 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 일원배치 분산분석(one-way ANOVA)을 실시하였고, 처리구 평균간의 유의성 검증(p<0.05)은 Duncan의 방법을 활용하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 실신방법에 따른 돼지 혈중 코티솔(cortisol) 농도 변화

실신방법에 따른 실신 전후의 혈중 코티솔(cortisol) 농도는 Fig. 1에 나타내었다. 실신전후의 혈중 코티솔 농도는 전살그룹은 실신전 3.38에서 실신후 4.47로 약 32% 증가하였으며, CO₂그룹은 실신전 2.89에서 실신후 3.56로 약 23% 증가하였다. 실신방법별 혈중 코티솔 농도는 전살그룹이 CO₂그룹 사이에 수치적 차이가 있으나, 유의적인 차이를 나타내지 않았다(p>0.05). 코티솔은 동물의 운송, 열 및 굶이 등으로 인한 스트레스 발생 시 뇌하수체 부신피질 자극 호르몬 방출에 의해 항상성을 조절하며, 혈액 스트레스 지표 호르몬으로 사용된다(Guijarro et al., 2020). 본 연구에서는 실신 전의 코티솔 농도가 전살그룹이 CO₂그룹보다 높게 나타났는데, 이는 개체 간의 차이와 계류장에서의 활동 정도에 의한 것으로 판단된다. 또한 실신 후에도 전살법으로 실신한 그룹이 CO₂가스법에 비해 높은 값을 나타내었는데, 이는 전기충격에 의해 스트레스가 더 많이 발생한 것으로 판단된다. 다만, 실신전과 실신후 모두 개체에 의한 코티솔 수치 차이가 나타나는 것으로 생각되며, 향후 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

2. 실신방법에 따른 등심육의 pH와 표면 육색

실신방법에 따른 돼지 등심육의 pH와 표면 육색은 Table 1과 같다. 실신방법에 따른 돼지 등심육의 pH는 전살그룹과 CO₂그룹 사이에 유의적인 차이를 나타내지 않았다. 돈육의 최종 pH는 식육화가 진행되는 동안 근육내 pH의 사후대사에 의해 영향을 받을 수 있기 때문에(Kim et al., 2016), 돼지고기의 품질을 나타내는데 활용될 수 있다(Pearce et al., 2011). Marcon 등(2019)은 돼지의 전기실신 시 CO₂보다 더 낮은 pH를 나타낸다고 보고하였으며, Rees 등(2003)은 전기실신에 의해 유도된 사후대사의 가속화의 영향으로 pH가 낮아진다고 하였다. 또한, Van de Perre 등(2010)은 이동의 어려움 증가, 실신장치의 구속장치, 가축의 이동을 위한 전기막대 사용 등과 같은 위험요인이 근육이 고기로 변형

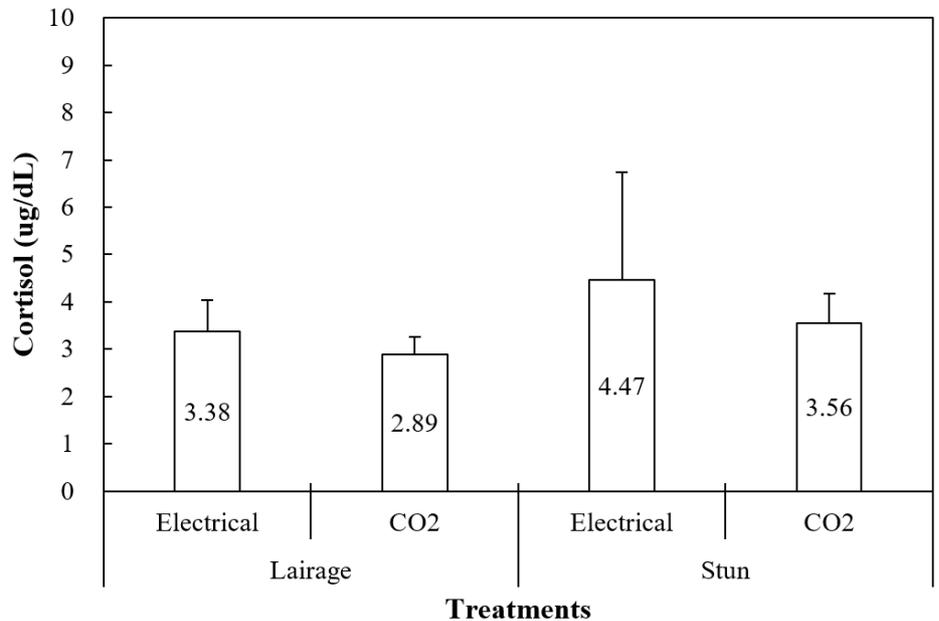


Fig. 1. Cortisol contents of LYD pig slaughtered by electrical or CO₂ gas stunning method. All values are mean±SD.

Table 1. pH and color of loin slaughtered by electrical or CO₂ gas stunning method

Traits	Electrical stun	CO ₂ gas stun	Significantly of T-test
pH	5.75±0.16	5.67±0.12	0.269
Color			
L*-value	51.49±2.56	52.64±2.26	0.323
a*-value	5.59±0.72	6.18±0.95	0.157
b*-value	2.79±0.78	3.12±0.78	0.383

All values are mean± SD.

되는 과정에서 더 높은 pH 감소율을 나타내는 것과 관련 있다고 하였다. 반면에 Van de Wal 등(1999)은 스트레스 노출과 성별에 따라 돈육의 초기 pH에 차이가 발생할 수 있으나, 최종 pH는 유의적 차이가 없다고 보고하였으며, Marcon 등(2019)의 연구에서 전살방법과 이산화탄소 기절방법에 따라 초기 pH(45 min)는 유의적 차이가 있었으나, 최종 pH(24 h)에서는 유의적 차이가 나타나지 않았다고 보고하였다. 또한, Zyberty(2022)는 전기실신법과 이산화탄소 기절방법에 관해 메타분석을 실시한 결과에서 초기 pH는 유의한 차이가 있으나, 최종 pH에 관해 기절방식의 유의미한 효과는 없다고 하였다. 본 연구에서도 사후 24시간이 경과된 등심육의 pH에서 유의적 차이가 나타나지 않았으며, 우리나라에서 현재 수행되는 전살법 혹은 이산화탄소법 조건에서 도축된 LYD 돼지의 최종 pH가 정상적인 범위에서 형성되는 것으로 사료된다.

실신방법에 따른 등심육 색도는 명도(L*), 적색도(a*)와 황색도(b*) 모두 전살그룹과 CO₂그룹에 유의적 차이는 없었다. 이는 전기실신이 가스실신에 비해 더 높은 L*값을 나타낸다는 Warner 등(1997)의 보고와 전기실신이 돼지 등심의 L*값에 영향을 미친다는 Channone 등(2002)의 보고와 다소 차이를 나타내었다. 식육의 명도는 삼출된 수분함량이나 지방함량이 높을수록 명도가 높아질 수 있다(Hughes *et al.*, 2014). 본 연구에서도 기절방법과 관계없이 전살그룹보다 CO₂그룹의 지방함량이 높음에 따라서 명도가 높게 나타난 것으로 판단된다. 한편으로, Marcon 등(2019)은 전살방법과 이산화탄소 기절방법에 따라 적색도와 황색도에 유의적 차이가 없다고 보고하여 본 연구 결과와 유사하였다. Zyberty(2022)는 기절방법 외의 다른 요인이 돼지 등심육의 색도에 영향을 미칠 수 있으며, 특히, 전기실신 방식과 급속냉각 실시에 따라 CO₂ 기절방법과 전기실신법에 따른 색도 차이가 보정된다고 보고하였다. 본 연구에서 등심육의 색도는 기절방식에 따른 차이가 없었으며, LYD 돼지 등심육의 육색은 기절방법이 달라도 사후처리에 따른 차이가 적을 수 있음을 시사한다.

3. 실신방법에 따른 등심육의 미오글로빈과 지질산화도

실신방법에 따른 돼지 등심육의 미오글로빈 함량 및 지질산화도는 Table 2에 나타내었다. 전기실신법과 CO₂가스법으로 실신시킨 돈육의 미오글로빈 함량은 각각 0.92±0.12 mg/g과 0.85±0.10 mg/g으로 유의적인 차이를 나타내지 않았다. 식육의 적색도는 육색소인 미오글로빈에 의해 좌우되는데, 미오글

Table 2. Myoglobin and thiobarbituric acid reactive substances (TBARS) of loin slaughtered by electrical or CO₂ gas stunning method

Traits	Electrical stun	CO ₂ gas stun	Significantly of T-test
Myoglobin content (mg/g)	0.92±0.12	0.85±0.10	0.215
TBARS (mg MDA/kg meat)			
2 d	0.18±0.03*	0.14±0.05	0.048
7 d	0.19±0.02	0.20±0.03	0.610

All values are mean± SD.

An asterisk indicated a significant difference. *, p<0.05.

로빈은 산소를 저장하고 헤모단백질을 수송하는 역할을 하며, 육이 적색을 나타내게 한다(Lijjington et al., 1983). 포장되어 있던 식육을 공기 중에 방치하면 미오글로빈에 산소가 결합하는 발색 현상(홍색화, blooming)에 의해 표면 육색이 갈색에서 선홍색으로 변화한다(Kang et al., 2018). 본 연구에서도 30분간 발색을 실시 후 표면 육색을 측정하여 전살그룹과 CO₂그룹에서 적색도와 황색도에 차이가 크지 않은 것으로 생각된다. 따라서, 식육의 판매시 CO₂ 실신 돈육을 공기 중에서 발색(blooming)시키면 육표면이 선홍색으로 변하여 전기실신 돈육과 표면 색도 차이를 크지 않게 할 수 있을 것이다.

지질산화도는 도축 2일 후 전살그룹(0.18 mg MDA/kg meat)이 CO₂그룹(0.14 mg MDA/kg meat)에 비해 유의적으로 높았으며, 7일 후에는 각각 0.19와 0.20로 유의적인 차이를 나타내지 않았다. 식육 내에 포함된 지방은 저장 중 산화에 의해 식육의 품질을 저하시킬 수 있다. 전기자극, 격렬한 움직임이나 높은 신진대사율이 나타나는 기타 스트레스 등이 활성산소종(reactive oxygen species, ROS)생산에 영향을 미치고, 결과적으로 지질산화에 영향을 일으킬 수 있다(Xu et al., 2011). 이전의 연구에서 전기자극보다 가스실신에 따라 지질산화가 느리게 발생될 수 있다고 보고된 바 있다(Linares et al., 2007; Xu et al., 2011). 지방의 산화는 불포화지방산의 산화에서 비롯되며, 불포화지방산의 산화는 육색소의 산화를 촉진시켜 저장기간동안 육색소의 변화를 야기시킨다(Kim et al., 2004). 따라서 본 실험에서 CO₂가스실신이 전기실신에 비해 높은 적색도를 나타낸 것은 돼지 개체적 차이와 근육 내 수분함량, 미오글로빈 함량과 지질산화도에 영향을 받은 것으로 판단된다.

4. 실신방법에 따른 등심육의 이화학적 특성

실신방법에 따른 등심육의 일반성분은 Table 3에 나타내었다. 수분, 단백질, 콜라겐은 전살그룹이 CO₂그룹보다 유의적으로 높았으며, 지방과 회분은 CO₂그룹이 유의적으로 높았다. 돼지고기 품질에 미치는 영향 등 일반적으로 실신방법별 돼지고기의 품질은 전기실신보다 CO₂실신이 좋은 것으로 알려져 있다 (Marcon et al., 2019). 그러나 실신방법에 따른 돼지 도체의 일반성분에 관한 연구는 전무한 실정이다. 돼지고기의 품질에 영향을 미치는 요인은 유전적 요인과 사료를 포함한 사양관리, 출하 전 절식, 출하 시 취급방법 및 도축방법 등으로 알려져 있으며(Rosenvold와 Andersen, 2003), 김 등 (2011)은 계절과 출하 시 취급방법이 도체품질과 육질에 영향을 미치는 중요한 요인으로 작용한다고 보고하였다. 또한, 돼지의 체중은 도체의 일반성분 조성에 영향을 미칠 수 있다(Zomeño et al., 2023). 본 연구 결과에서 기절방식보다 돼지의 유전적 요인과 사육상태 등 환경적인 요인에 따라 일반성분의 차이가 나타난 것으로 생각된다. 향후 실신방법에 따른 돼지 도체의 이화학적 특성에 대한 추가적인 연구가 수행되어야 할 것이다.

IV. 요약

본 연구는 전기실신법과 CO₂실신법이 돼지의 스트레스와 돈육(등심육)의 이화학적 특성에 미치는

Table 3. Proximate and collagen content of loin slaughtered by electrical or CO₂ gas stunning method

Traits	Electrical stun	CO ₂ gas stun	Significantly of T-test
Moisture (%)	73.46±0.87**	71.97±1.00	0.003
Protein (%)	22.58±0.29*	22.14±0.51	0.040
Fat (%)	3.30±0.96	5.13±1.43**	0.006
Ash (%)	1.24±0.07	1.40±0.07***	<0.001
Collagen (%)	1.33±0.23*	1.11±0.18	0.037

All values are mean± SD.

An asterisk indicated a significant difference. *, p<0.05; **, p<0.01; ***, p<0.001.

영향을 평가하기 위해 충남지역 농장에서 사육된 돼지 20두를 공시하여 스트레스 및 도체 이화학적 특성을 분석하였다. 스트레스 지표인 코티솔(cortisol) 농도는 두 방법 모두 실신후가 실신폮전에 비해 높은 농도를 나타내었으며, 실신폮방법에 따른 농도 차이가 있었다. 등심육의 pH와 색도는 CO₂실신폮법과 전기실신폮법에 따른 유의적 차이는 나타나지 않았다. 일반 성분 분석에서는 수분, 단백질, 콜라겐은 전기실신폮법이, 지방과 회분은 CO₂실신폮법이 높았다. 지질산화는 도축 2일차까지는 CO₂실신폮법이 전기실신폮법에 비해 유의적으로 낮은 TBA 값을 나타내었으나, 도축 7일차에는 유의적인 차이를 나타내지 않았다. 이상의 결과를 요약하면 우수한 품질의 돈육 생산을 위해 CO₂실신폮법을 사용하는 것이 적절할 것으로 판단된다. 다만 돼지의 유전적 요인, 출하과정 중 스트레스 발생여부 등을 고려한 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. 연구 윤리 승인

본 연구는 국립축산과학원 실험동물 관리 및 연구윤리위원회의 허가를 받아 수행하였다(승인번호 : NIAS-2022-174).

VII. 참고문헌

1. Marcon AV, Caldara FR, de Oliveira GF, Gonçalves LM, Garcia RG, Paz IC, Crone C, Marcon A. 2019. Pork quality after electrical or carbon dioxide stunning at slaughter. *Meat Sci* 156:93-97.
2. Alam MS, Song DH, Lee JA, Hoa VB, Kim HW, Kang SM, Cho SH, Hwang IH, Seol KH. 2022. Effect of different gas-stunning conditions on heme pigment solutions and on the color of blood, meat, and small intestine of rabbits. *Animals* 12:3155.
3. Anderson S. 2007. Determination of fat, moisture, and protein in meat and meat products by using the FOSS FoodScan near-infrared spectrophotometer with FOSS artificial neural network calibration model and associated database: Collaborative study. *J AOAC int* 90:1073-1083.
4. Barton-Gade P. 1997. The effect of pre-slaughter handling on meat quality of pigs. In: Cranwell P.D, Editor, 1997. *Manipulating pig production VI*, S.R. Frankland, Melbourne, Australia. 100-123.
5. Buege JA, Aust SD. 1978. Microsomal lipid peroxidation. *Methods Enzymol* 52:302-310.
6. Casteels M, van Oeckel M, Boschaerts L, Spincemille G, Boucque CV. 1995. The relationship between carcass, meat and eating quality of three pig genotypes. *Meat Sci* 40:253-269.
7. Channon HA, Payne AM, Warner RD. 2000. Halothane genotype, pre-slaughter handling and stunning method all influence pork quality. *Meat Sci* 56:291-299.
8. Channon HA, 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.

9. Gerritzen MA, Reimert HGM, Hindle VA, Verhoeven MTW, Veerkamp WB. 2013. Multistage carbon dioxide gas stunning of broilers. *Poult Sci* 92:41-50.
10. Gregory NG. 1994. Preslaughter handling, stunning and slaughter. *Meat Sci* 36:45-56.
11. Guijarro A, Mauri S, Aviles C, Peña F. 2020. Effects of two CO₂ stunning methods on the efficacy of stunning and blood stress indicators of turkeys under commercial processing conditions. *J Appl Anim Welf Sci* 23:231-243.
12. Hughes JM, Oiseth SK, Purslow PP, Warner RD. 2014. A structural approach to understanding the interactions between colour, water-holding capacity and tenderness. *Meat Sci* 98:520-532.
13. Hur SJ, Park GB, Joo ST. 2004. Effect of fatty acid on meat qualities. *Korean J Int Agri* 17:53-59.
14. Kang SN, Kim IS, Kim HY, Kim HW, Nam KC et al. 2018. Meat science. Sunjin advanced progress in culture, Il-san, Gyeonggi-do, Korea. 158-167.
15. Kim DH, Song JI, Jeon JH. 2011. Effects of season and split-sex feeding on performance, stress and carcass quality of finishing pigs. *J Lives Hous Env* 17:107-114.
16. Kim TW, Kim CW, Yang MR, No GR, Kim SW, Kim I. 2016. Pork quality traits according to postmortem pH and temperature in Berkshire. *Food Sci Anim Resour* 36:29-36.
17. Linares MB, Berruga MI, Bórnez R, Vergara H. 2007. Lipid oxidation in lamb meat: Effect of the weight, handling previous slaughter and modified atmospheres. *Meat Sci* 76:715-720.
18. Livingston DJ, La Mar GN, Brown WD. 1983. Myoglobin diffusion in bovine heart muscle. *Science* 220:71-73.
19. 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.
20. Pearce KL, Rosenvold K, Andersen HJ, Hopkins DL. 2011. Water distribution and mobility in meat during the conversion of muscle to meat and ageing and the impacts on fresh meat quality attributes: A review. *Meat Sci* 89:111-124.
21. RDA. Improved management and development of education program for animal welfare. Available from: <https://scienceon.kisti.re.kr/commons/util/originalView.do?dbt=TRKO&cn=TRKO201700006284>. Accessed at FEB. 17. 2017.
22. 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.
23. Rosenvold K, Anderson HJ. 2003. Factors of significance for pork quality: A review. *Meat Sci* 64:219.
24. Sammel LM, Hunt MC, Kropf DH, Hachmeister KA, Johnson DE. 2002. Comparison of assays for metmyoglobin reducing ability in beef inside and outside *Semimembranosus* muscle. *J Food Sci* 67:978-984.
25. Song DH, Go HY, Lee JA, Kim DK, Bae IS, Cho SH, Kim HR, Jeon JH, Kim HW. 2023. Impact of different gas-stunning conditions on slaughter stress and quality properties of laying hens breast meat. *Resour Sci Res* 5:142-150.
26. Van de Perre V, Permentier L, De Bie S, Verbeke G, Geers R. 2010. Effect of unloading, lairage, pig handling, stunning and season on pH of pork. *Meat Sci* 86:931-937.

27. Van der Wal PG, Engel B, Reimert HGM. 1999. The effect of stress, applied immediately before stunning, on pork quality. *Meat Sci* 53:101-106.
28. Velarde A, Cruz J, Gispert M, Carrión D, Ruiz de la Torre JL, Diestre A, Manteca X. 2007. Aversion to carbon dioxide stunning in pigs: Effect of carbon dioxide concentration and halothane genotype. *Anim Welf* 16:513-522.
29. Velarde A, Gispert M, Faucitano L, Alonso P, Manteca X, Diestre A. 2001. Effects of the stunning procedure and the halothane genotype on meat quality and incidence of haemorrhages in pigs. *Meat Sci* 58:313-319.
30. Velarde A, Gispert M, Faucitano L, Manteca X and Diestre A. 2000. The effect of stunning method on the incidence of PSE meat and haemorrhages in pork carcasses. *Meat Sci* 55:309-314.
31. Warner RD, Kauffman RG, Greaser ML. 1997. Muscle protein changes post mortem in relation to pork quality traits. *Meat Sci* 45:339-352.
32. Xu L, Wu SG, Zhang HJ, Yue HY, Ji F, Qi GH. 2011. Comparison of lipid oxidation, messenger ribonucleic acid levels of avian uncoupling protein, avian adenine nucleotide translocator, and avian peroxisome proliferator-activated receptor- γ coactivator-1 α in skeletal muscles from electrical- and gas-stunned broilers. *Poultry Sci* 90:2069-2075.
33. Zomeño C, Gispert M, Čandek-Potokar M, Mörlein D, Font-i-Furnols M. 2023. A matter of body weight and sex type: Pig carcass chemical composition and pork quality. *Meat Sci* 197:109077.
34. Zybert A. 2020. Quantification of the effects of electrical and CO₂ stunning on selected quality attributes of fresh pork: A meta-analysis. *Animals* 12:1811.