

ARTICLE

실신가스 종류가 산란계의 도축 스트레스와 육질 특성에 미치는 영향

송동헌¹ · 고하윤^{1,2} · 이정아^{1,2} · 김동균¹ · 배인선¹ · 조수현¹ · 김혜린³
· 전중환⁴ · 김현욱^{1*}

¹농촌진흥청 국립축산과학원 축산물이용과, ²공주대학교 동물자원학과, ³농촌진흥청 국립축산과학원 동물영양생리과, ⁴농촌진흥청 국립축산과학원 동물복지연구팀

Impact of Different Gas-Stunning Conditions on Slaughter Stress and Quality Properties of Laying Hens Breast Meat

Dong-Heon Song¹, Ha-Yoon Go^{1,2}, Jeong-Ah Lee^{1,2}, Dong-Kyun Kim¹,
In-Sun Bae¹, Soohyun Cho¹, Hye Ran Kim³, Joong-Hwan Jeon⁴,
Hyoun Wook Kim^{1*}

Received: November 29, 2023
Revised: December 15, 2023
Accepted: December 20, 2023

*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

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 Nutrition and Physiology Division, National Institute of Animal Science, Rural Development Administration, Wanju 55365, Korea
⁴Animal Welfare Research Team, National Institute of Animal Science, Rural Development Administration, Wanju 55365, Korea

Copyright © 2023 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
Dong-Heon Song
<https://orcid.org/0000-0002-4670-3321>
Ha-Yoon Go
<https://orcid.org/0000-0002-0570-1995>
Jeong-Ah Lee
<https://orcid.org/0000-0003-3019-8321>
Dong-Kyun Kim
<https://orcid.org/0000-0002-8416-0436>
In-Sun Bae
<https://orcid.org/0000-0003-3543-8785>
Soohyun Cho
<https://orcid.org/0000-0002-8073-8771>
Hye Ran Kim
<https://orcid.org/0000-0003-2207-3668>
Joong-Hwan Jeon
<https://orcid.org/0000-0001-8725-547X>
Hyoun Wook Kim
<https://orcid.org/0000-0003-3947-4337>

Abstract

This study was conducted to investigate the impact of stunning using carbon dioxide (CO₂), argon (Ar) and nitrogen (N₂) in the slaughtering process on the slaughter stress and the quality characteristics of breast meat in laying hens. In the experiment, 70 laying hens at 30 weeks of age were used and subjected to various stunning conditions. These conditions included halal method, CO₂ (70%, 80%, 90%) gas, Ar (80%, 90%) gas, and 90% N₂. Blood was immediately collected after slaughter and serum was separated and rapidly frozen at -70°C, while breast meat was vacuum-packed and stored in a 4°C refrigerator for 4 days before being used in the experiment. The pH of breast meat was highest in the N₂ treatment, while the Ar treatments showed results similar to the Halal and CO₂ treatments. Lightness was higher in the CO₂ treatments compared to other gas treatments, and redness was highest in the N₂ treatment, with no significant difference between the Ar and CO₂ treatments. Furthermore, the drip loss was highest in the 90% Ar treatment and lowest in the N₂ treatment. Drip loss and cooking loss were influenced by water-holding capacity, and shear force was higher in the CO₂ treatments compared to the Halal and Ar treatments. These results suggest that in the slaughter process of laying hens, the use of Ar and N₂ for stunning can be an alternative to CO₂.

Keywords

Argon, Nitrogen, Cortisol, Chicken breast meat

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. 닭의 경우 일반적으로 전살법(electric stunning)

을 이용하여 실신시키며, 일부 국가에서는 기절시키지 않는 할랄(Halal) 방식으로 도계를 실시하고 있다. 이 두 실신방법 중 할랄 방식은 기절시키지 않고 도계를 실시하여 근육내 출혈과 뼈 부러짐 등의 문제점이 발생하며, 전살법은 현수 및 전기 충격 과정에서 닭이 스트레스를 받게 된다(Salwani *et al.*, 2016; Song *et al.*, 2022). 이러한 문제점을 개선하기 위해 동물복지차원에서 전살법을 대체하여 가스법(gas stunning)을 활용하는 도축장이 늘어나고 있다. 그러나, 실신 가스로 사용되는 이산화탄소(CO₂)는 동물에게 불쾌한 호흡적 감각, 비자발적인 근육 수축이나 경련을 일으켜 식육의 품질 저하를 발생시키는 원인이 되므로 가스실신에 활용할 수 있는 대체 가스의 필요성이 꾸준히 제기되고 있다(Terouw *et al.*, 2021; Xu *et al.*, 2018).

현재 우리나라는 도축 시 실신방법으로 전살법과 가스법을 주로 사용하고 있으며, 가스법에 활용할 수 있는 가스는 이산화탄소(CO₂)가 유일하게 허용되어 있다. 유럽에서는 동물에게 불필요한 고통을 방지하기 위해 도축시 동물에게 기절을 실시하여 동물이 무의식과 무감각한 상태에서 도축해야 한다고 법률로 명시하고 있으며(Gerritzen *et al.*, 2013), 유럽과 미국 등에서는 도축 시 가축의 실신을 위해 이산화탄소(CO₂), 질소(N₂) 및 아르곤(Ar)을 사용할 수 있도록 허용하고 있다(Gerritzen *et al.*, 2013). 특히 아르곤(Ar)과 질소(N₂)는 이산화탄소(CO₂)와 다르게 가축의 점막과 기도를 자극하지 않아 동물복지적으로 우수한 것으로 알려져 있으며, 특히 아르곤(Ar)의 경우 대기보다 밀도가 낮고 기체 특성이 이산화탄소(CO₂)와 비슷하여 이산화탄소(CO₂)를 사용하고 있는 기존 시설을 이용할 수 있는 장점이 있다(Sindhoj *et al.*, 2021).

따라서, 본 연구에서는 도계과정 중 가스실신법에서 이산화탄소(CO₂) 이외에 다양한 가스의 활용 가능성 평가를 위해 아르곤(Ar)과 질소(N₂)가스 실신에 따른 닭 가슴살의 품질특성을 평가하였다.

II. 재료 및 방법

본 연구는 동물 관리 및 실험 방법에 대하여 국립축산과학원 실험동물 관리 및 연구윤리위원회의 규정과 허가(승인번호 : NIAS-2023-631)에 따라 실시되었다.

공시축 및 도계

본 연구에 사용된 공시축은 국립축산과학원 동물영양생리과에서 사양실험에 사용한 32주령의 산란계(Hy-Line) 140수를 이관 받아 실험에 사용하였다. 공시축은 한국가축사양표준에서 제시한 산란계 영양소 요구량을 충족한 옥수수-대두박 위주의 시험사료를 급여하였으며, 41 cm × 36 cm × 40 cm(length × depth × height) 규모의 케이지에서 2수씩 사육되었다(사육밀도; m²=27.7kg). 공시축 140수 중 총 70수를 무작위로 선별하여 이산화탄소(CO₂), 아르곤(Ar), 질소(N₂)가스를 사용하여 가스실신하였으며, 실신 조건별로 각 10수씩 도계를 실시하였다. 가스실신 조건은 이산화탄소(CO₂)와 아르곤(Ar)은 각각 80%와 90% 농도로 설정하였으며, 질소(N₂)는 대기 중 농도보다 높은 90%로 설정하였다(처리구: CO7, CO8, CO9, Ar8, Ar9 및 N9). 이때 대조군으로 할랄방법과 현행 도계장 조건과 유사한 CO₂ 70% 조건으로 설정하였다. 할랄법에 따라서 공시축을 현수하고 경동맥을 칼로 절단하고, 2분간 방혈을 실시하였다(Fuseini *et al.*, 2016). 가스실신은 특수제작된 밀폐형 가스 실신기(STI-01, ㈜STI, 대구, 한국)를 이용하여 CO₂, Ar 및 N₂ 가스에 노출시켜 실신시켰으며, 육안관찰을 통해 충분한 실신이 이루어진 것을 확인한 후 도계를 실시하였다. 가스실신한 산란계는 할랄법과 동일하게 현수하여 경동맥 절단 후 2분간 방혈을 실시하였다. 방혈이 종료된 모든 공시축은 가슴살(*Pectoralis major*)을 발골하였다. 이후, 닭 가슴살은 온도체 pH를 측정하고 폴리에틸렌 포장지에 진공포장하여 4℃ 냉장고에서 4일간 냉각을 실시 후 육질 분석에 사용하였다.

혈중 코티솔(Cortisol)

실신방법에 따른 산란계의 혈중 코티솔(스트레스호르몬, cortisol) 농도 변화 확인을 위해 할랄 또는 가스실신 처리한 산란계의 경동맥에서 혈액을 채취 후 4,500 rpm, 4°C에서 10분 동안 원심분리를 실시하여 혈청을 분리하고 분석 전까지 -80°C에서 보관하였다. 혈중 코티솔 농도는 chicken cortisol ELISA kit(Cusabio, USA, TX)를 사용하여 분석하였다. 혈청 50 µL가 첨가된 각 well에 antibody 50 µL를 첨가하여 혼합 후 37°C에서 40분간 반응시켰다. 이후 각 well을 200 µL의 wash buffer로 3회 세척하여 결합하지 않은 antibody를 제거한 뒤 horseradish peroxidase(HRP)-conjugate를 100 µL 첨가하여 37°C에서 30분간 반응시켰다. Wash buffer 200 µL를 사용하여 각 well을 5회 세척 후 90 µL의 3,3',5,5'-tetramethylbenzidine substrate를 첨가하고 37°C에서 20분간 빛을 차단하여 반응시켰다. 최종적으로 50 µL의 stop solution을 각 well에 혼합하고 5분 이내에 multi-mode microplate reader(Infinite M200 PRO, Tecan, Switzerland)를 이용하여 450 nm에서 측정하였다. 표준곡선($r^2=0.8863$)은 표준물질용액(200 ng/mL)을 7단계에 걸쳐 증류수로 4배씩 반복희석하여 0 ng/mL (S0), 0.049 ng/mL(S1)~200 ng/mL(S7) 농도를 이용하여 계산하였다.

pH

pH는 우측 닭 가슴살 상단부를 심부측정 방식의 pH*K 21 meter(NWK-Technology GmbH, Kaufering, Germany)를 이용하여 측정하였다. 온도체 시료는 발골 15분 이내에 측정하고, 냉도체 시료는 진공포장하여 4°C 냉장실에 4일간 보관 후 측정하였다.

색도

닭 가슴살의 표면 색도는 시료를 30분간 발색시킨 후 뼈측의 표면을 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.

일반성분

닭 가슴살의 일반성분은 AOAC 방법을 응용하여 근적외선 분광기(Food Scan, Foss Tecator Co., Ltd., Hillerod, Denmark)를 이용하여 분쇄한 닭 가슴살 약 100 g을 사용하여 측정하였다.

보수력

보수력은 Hur 등(2001)의 방법을 응용하여 원심분리법으로 측정하였다. 과도한 결체조직 및 지방을 제거한 시료 0.5 g을 2 mL filter tube(0.2 µm, P25661, Millipore, Japan)에 칭량하였다. 시료가 담긴 filter tube는 원심분리기(Avanti(R) J-E, Beckman coulter, USA)를 이용하여 12,000 rpm의 속도로 15분 동안 원심분리를 실시하였다. 시료에서 유리된 수분함량을 측정하고, 전체 시료의 수분함량에 대한 잔류 수분함량의 비율을 계산하였다.

$$\text{보수력(\%)} = (\text{전체 수분함량(\%)} - \text{유리 수분함량(\%)}) / \text{전체 수분함량(\%)} \times 100$$

$$\text{유리 수분함량(\%)} = \text{유리 수분량(g)} / \text{시료량(g)} \times 100$$

육즙삼출 및 가열감량

닭 가슴살의 육즙삼출은 좌측 가슴살의 저장 전 무게를 측정하고 폴리에틸렌 포장지에 넣고 진공하여 4°C 냉장고에서 4일간 보관 후 표면의 수분을 제거하여 무게를 측정하고 무게 차이에 대한 비율을 산출하였다. 닭 가슴살의 가열감량은 시료의 가열 전과 후의 무게 차이에 대한 비율로 산출하였다.

가열 전 무게를 측정된 닭 가슴살은 폴리에틸렌 포장지에 넣고 80℃의 항온수조에서 심부온도가 75±1℃에 도달할 때까지 가열하였다. 이후, 시료를 얼음물에 15분간 담궈 심부온도를 24±1℃로 냉각시킨 후 표면의 수분을 제거하여 최종 무게를 측정하였다.

$$\text{육즙삼출(\%)} = (\text{저장 전 무게(g)} - \text{저장 후 무게(g)}) / \text{저장 전 무게(g)} \times 100$$

$$\text{가열감량(\%)} = (\text{가열 전 무게(g)} - \text{가열 후 무게(g)}) / \text{가열 전 무게(g)} \times 100$$

전단력

전단력은 Warner-Bratzler shear blade가 장착된 물성기(5543, Instron Corp., USA)를 이용하여 시료를 완전히 절단하는 값을 측정하였다. 시료는 가열된 닭 가슴살에서 직경 1.27 cm의 원형 코어를 이용하여 근섬유 방향의 수평으로 채취하였으며, 시료당 5회 측정하여 평균 수치를 결과값으로 사용하였다. 이때, 측정조건은 load cell이 50 kg, cross-head speed는 400 mm/min으로 설정하였다.

통계분석

본 연구의 결과는 각 처리구별로 산란계 10수에 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 검정($p < 0.05$)은 Duncan의 방법을 활용하였다.

III. 결과 및 고찰

실신가스 종류 및 농도에 따른 산란계 혈중 코티솔(cortisol) 농도 변화

할랄방법과 다양한 가스 종류와 농도로 실신시킨 산란계의 혈중 코티솔(cortisol) 농도는 Fig. 1에 나타내었다. 혈중 코티솔 농도는 경우 Ar9 처리구가 유의적으로 가장 높은 값을 나타내었으며 ($p < 0.05$), Ar9 처리구를 제외한 모든 처리구들과 유의적인 차이를 나타내지 않았다($p > 0.05$). 코티솔은 조류의 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 Ar 처리구들이 CO9에 비해 높은 값을 나타내었는데, 이는 산란계가 가스 노출 이후 실신에 도달하는 시간이 각각 Ar8은 560초, Ar9은 158초로 CO9 처리구의 35초에 비해 가스 노출 시간이 길었기 때문이라고 판단된다. Sindhøj 등(2021)은 아르곤(Ar) 및 질소(N₂)와 같은 불활성 기체는 이산화탄소(CO₂)에 비해 실신을 위한 가스 노출 시간이 증가하지만, 동물의 기도와 점막을 자극하지 않아 도축 스트레스를 감소시킬 수 있다고 하였다. 따라서 CO9에 비해 긴 시간이 소요됐지만 혈중 코티솔 농도의 유의적인 차이가 나타나지 않은 것은 불활성 기체인 Ar과 N₂의 비자극적 특성에 따른 것으로 추정된다. 결과적으로 Ar8과 N9 처리구는 동물복지적인 측면에서 기존 상업적 가스실신 조건(CO7)의 대체재로써 가능성이 있다고 판단된다.

실신가스 종류 및 농도에 따른 산란계 닭 가슴살의 pH와 색도

실신가스 종류별·농도별 산란계 가슴살의 pH는 Fig. 2와 같다. 온도체 가슴살의 pH_{1.5min}에서는 Ar 처리구들(80% : 6.61, 90% : 6.59)이 N₂와 CO₂ 처리구에 비해 유의적으로 높은 값을 나타내었으며 ($p < 0.05$), N9 (6.17)는 CO₂(80% : 6.46, 90% : 6.48)와 대조구(Halal : 6.33, CO7 : 6.28)보다 낮은 값을 나타내었다. 냉도체의 pH는 N9 (5.96) 처리구가 가장 높은 값을 나타내었으며, Halal(5.84), CO₂(70% : 5.89, 80% : 5.90, 90% : 5.83) 및 Ar(80% : 5.82, 90% : 5.89) 처리구의 pH는 서로간에

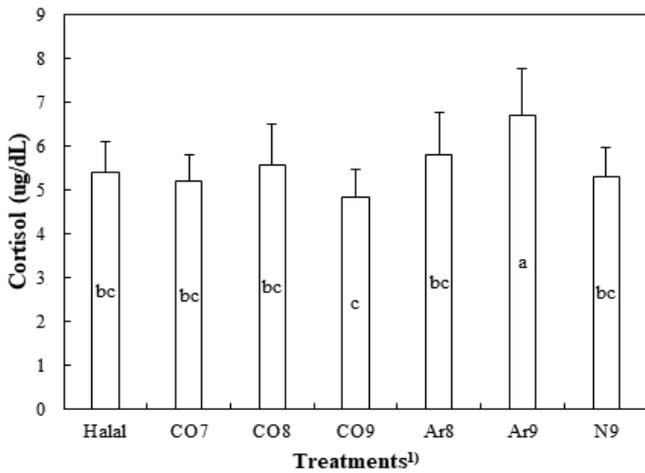


Fig. 1. Cortisol of laying hens breast slaughtered by halal and gas-stun method with CO₂, Ar and N₂. All values are mean±SD. ^{a-c} Means sharing the same letters are not significantly different at p<0.05 by Duncan’s multiple range test. ¹⁾Treatments: Halal, used knife; CO7, gas stun with 70% carbon dioxide; CO8, gas stun with 80% carbon dioxide; CO9, gas stun with 90% carbon dioxide; Ar8, gas stun with 80% argon; Ar9, gas stun with 90% argon; N9, gas stun with 90% nitrogen.

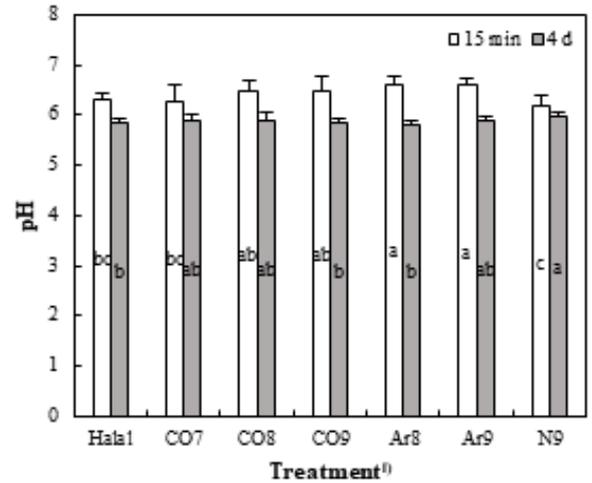


Fig. 2. pH of laying hens breast slaughtered by halal and gas-stun method with CO₂, Ar and N₂. All values are mean±SD. ^{a-c} Means sharing the same letters within a row are not significantly different at p<0.05 by Duncan’s multiple range test. ¹⁾Treatments: Halal, used knife; CO7, gas stun with 70% carbon dioxide; CO8, gas stun with 80% carbon dioxide; CO9, gas stun with 90% carbon dioxide; Ar8, gas stun with 80% argon; Ar9, gas stun with 90% argon; N9, gas stun with 90% nitrogen.

유의적인 차이를 나타내지 않았다. Nakyinsige 등(2014)은 토끼 근육의 사후 pH_{15min}은 이산화탄소 (CO₂) 실신에 비하여 할랄 방식이 유의적으로 낮았다고 보고하였으며, Poole와 Fletcher(1995)는 가스 실신한 닭의 사후 직후 pH는 가스종류에 따라 유의적 차이가 있었으며, 최종 pH는 5.69~5.72로 유사하게 나타났다고 보고하였다. 또한, Raj 등(1990)은 육계의 사후 pH는 실신가스에 따른 차이가 발생했다고 보고하였다. Foury 등(2005), Henckel 등(2002), Nakyinsige 등(2014)은 할랄 방법에 비하여 가스 실신 가축의 사후 pH가 높은 것은 혐기적 조건에서 발생하는 경련이 adenosine triphosphate(ATP)의 이용을 증가시켜 동물 체내의 글리코겐 농도가 감소하며, 스트레스 호르몬인 카테콜아민(catecholamines) 수치는 근육 pH24h와 양의 상관관계가 있어 카테콜아민이 글리코겐 분해를 증가시켜 사후 혐기적 해당작용에 의한 젖산 생산을 감소시킨 결과라고 설명하였다.

실신가스 종류별 · 농도별 산란계 가슴살의 색도는 Table 1과 같다. 명도는 CO₂ 처리구들이 Ar 및 N₂ 처리구들보다 유의적으로 높은 값을 나타내었다. 적색도는 N₂-90%가 가장 높았으며, CO8와 CO9가 가장 낮은 값을 나타내었다(p<0.05). 적색도에서 Halal과 Ar 처리구들 사이에 유의적 차이는 없었다. 황색도는 Halal이 가장 높았으며 CO₂처리구들이 Ar과 N₂ 처리구들보다 유의적으로 높은 황

Table 1. Color of laying hens breast slaughtered by halal and gas-stun method with CO₂, Ar and N₂

Traits	Halal	CO7	CO8	CO9	Ar8	Ar9	N9
Lightness (L*)	51.12±1.81 ^{abc}	52.38±3.70 ^{ab}	52.78±3.45 ^a	53.57±1.57 ^a	49.61±1.70 ^c	49.85±1.16 ^c	50.08±2.29 ^{bc}
Redness (a*)	4.72±0.90 ^b	4.73±1.39 ^b	3.37±0.85 ^c	3.36±0.95 ^c	3.79±1.00 ^{bc}	4.08±0.67 ^{bc}	6.02±1.21 ^a
Yellowness (b*)	8.01±2.26 ^a	7.67±1.82 ^{ab}	6.50±1.41 ^{bc}	7.56±1.74 ^{ab}	6.08±0.85 ^c	5.84±1.11 ^c	5.73±1.18 ^c

All values are mean±SD.

^{a-c} Means sharing the same letters within a row are not significantly different at p<0.05 by Duncan’s multiple range test.

¹⁾Treatments: Halal, used knife; CO7, gas stun with 70% carbon dioxide; CO8, gas stun with 80% carbon dioxide; CO9, gas stun with 90% carbon dioxide; Ar8, gas stun with 80% argon; Ar9, gas stun with 90% argon; N9, gas stun with 90% nitrogen.

색도를 나타내었다. Ar과 N₂ 처리구들 사이에 유의적 차이는 없었다. Salwini 등(2016)은 육계의 가슴살은 할랄방법이 가스실신보다 적색도와 황색도가 높다고 보고하였다. Xu 등(2018)은 CO₂ 가스실신이 계육의 변색을 야기할 수 있으며, 이는 단백질 산화에 따른 미오글로빈 산화에 육색에 영향을 미칠 수도 있다고 설명하였다. Alam 등(2022)은 토끼 혈액, 근육 및 소장에서 CO₂ 실신이 Ar과 N₂ 실신보다 적색도가 높고 명도와 황색도가 낮아 어두운 색을 나타냈다고 보고하였다. 따라서, 가스실신은 식육의 육색에 영향을 미칠 수 있으며, 산란계 가슴살에서는 CO₂ 가스에 비하여 Ar과 N₂ 가스 실신에 의해 다소 어두운 육색을 낼 수 있는 것으로 판단된다.

실신가스 종류 및 농도에 따른 산란계 닭 가슴살의 일반성분

실신가스 종류별·농도별 산란계 가슴살의 일반성분은 Table 2에 나타내었다. 수분은 CO7가 Halal보다 유의적으로 높았으며, 다른 처리구들은 이 두 처리구와 유의적 차이가 없었다. 단백질 함량은 모든 처리구에서 유의적 차이가 인정되지 않았다. 지방 함량은 N9와 Ar9가 CO9와 Ar8 보다 높은 값을 나타내었다(p<0.05). 회분 함량은 Halal과 CO7가 가장 높았으며, N9 처리구가 가장 낮게 나타났다(p<0.05). Song 등(2022)은 할랄 및 가스실신을 실시한 닭 가슴살에서 일반성분의 차이는 나타나지 않았다고 보고하였으며, Alam 등(2023)은 실신방법과 가스종류에 따라서 닭 가슴살의 일반성분 차이가 있으나, 1% 내외로 나타난다고 보고하여 본 연구 결과와 유사하였다.

실신가스 종류 및 농도에 따른 닭 가슴살의 보수력, 육즙삼출 및 가열감량

실신가스 종류별·농도별 산란계 가슴살의 보수력, 육즙삼출 및 가열감량은 Table 3에 나타내었다. 보수력은 N9가 할랄, CO8, CO9 및 Ar9에 비해 유의적으로 높게 나타났으며(p<0.05), 이외의 처리구들 사이에 유의적 차이는 없었다. 육즙삼출은 N9가 가장 낮으며(p<0.05), Ar9의 수분 삼출이 높음

Table 2. Proximate composition of laying hens breast slaughtered by halal and gas-stun method with CO₂, Ar and N₂

Traits (%)	Halal	CO7	CO8	CO9	Ar8	Ar9	N9
Moisture	73.34±1.02 ^b	75.45±2.61 ^a	75.00±2.49 ^{ab}	74.91±2.47 ^{ab}	73.93±1.60 ^{ab}	73.74±1.14 ^{ab}	73.95±1.85 ^{ab}
Protein	23.95±1.77	22.24±2.44	21.83±2.10	22.02±2.46	23.74±2.22	22.89±1.88	23.27±2.04
Fat	0.71±0.27 ^{ab}	0.68±0.39 ^{ab}	0.91±0.45 ^{ab}	0.35±0.39 ^b	0.43±0.31 ^b	1.00±0.64 ^a	1.12±0.45 ^a
Ash	2.91±0.09 ^a	2.92±0.14 ^a	2.79±0.11 ^{bc}	2.85±0.17 ^{abc}	2.90±0.05 ^{abc}	2.87±0.09 ^{ab}	2.78±0.10 ^c

All values are mean±SD.

^{a-c} Means sharing the same letters within a row are not significantly different at p<0.05 by Duncan's multiple range test.

¹⁾Treatments: Halal, used knife; CO7, gas stun with 70% carbon dioxide; CO8, gas stun with 80% carbon dioxide; CO9, gas stun with 90% carbon dioxide; Ar8, gas stun with 80% argon; Ar9, gas stun with 90% argon; N9, gas stun with 90% nitrogen.

Table 3. Water-holding capacity (WHC), drip loss and cooking loss of laying hens breast slaughtered by halal and gas-stun method with CO₂, Ar and N₂

Traits (%)	Halal ¹⁾	CO7	CO8	CO9	Ar8	Ar9	N9
WHC	66.15±4.02 ^{bc}	68.89±2.80 ^a	66.18±3.83 ^{bc}	65.29±2.52 ^c	66.79±2.95 ^{abc}	66.30±2.33 ^{bc}	69.15±2.29 ^a
Drip loss	1.35±0.46 ^a	1.03±0.48 ^{ab}	1.05±0.48 ^{ab}	1.37±0.70 ^a	1.28±0.52 ^a	1.47±0.68 ^a	0.59±0.22 ^b
Cooking loss	5.67±1.79 ^{bc}	7.42±1.31 ^a	5.48±0.86 ^{bc}	6.52±1.50 ^{ab}	5.92±2.02 ^b	6.87±2.31 ^{ab}	4.44±0.81 ^c

All values are mean±SD.

^{a-c} Means sharing the same letters within a row are not significantly different at p<0.05 by Duncan's multiple range test.

¹⁾Treatments: Halal, used knife; CO7, gas stun with 70% carbon dioxide; CO8, gas stun with 80% carbon dioxide; CO9, gas stun with 90% carbon dioxide; Ar8, gas stun with 80% argon; Ar9, gas stun with 90% argon; N9, gas stun with 90% nitrogen.

경향을 보였으나, Halal과 CO₂ 처리구와 유의적 차이는 없었다($p>0.05$). 가열감량은 보수력과 유사한 경향을 보이며 N9가 가장 낮으며, CO7이 가장 높았다($p<0.05$). Ar8의 가열감량은 CO7 보다 유의적으로 낮은 것으로 나타났다. 식육은 pH가 등전점인 5.0~5.4에서 가까울수록 보수력이 낮아진다. Alam 등(2023)의 연구에서 할랄 방식에 비하여 CO₂와 N₂ 가스로 실신한 육계의 닭 가슴살은 pH와 보수력이 낮았다. Bórnéz 등(2009)은 양고기의 보수력은 높은 농도로 노출시간이 길어질수록 CO₂ 흡입으로 인해 양고기에 심각한 세포 파괴가 발생하여 근육 외부로 수분이 삼출된다고 보고하였으며, Hambrecht 등(2004)은 도살 직전 스트레스는 육즙삼출에 부정적인 영향을 미친다고 하였다. 본 연구에서도 산란계 가슴살의 보수력은 스트레스 호르몬인 코티솔(cortisol)과 pH에 따라 차이가 발생한 것으로 판단되며, 결과적으로 실신 가스 조건에 의한 도축 스트레스 발생이 식육의 보수성(보수력, 육즙삼출 및 가열감량)에 영향을 줄 수 있다고 생각된다.

실신가스 종류 및 농도에 따른 닭 가슴살의 전단력

실신가스 종류별·농도별 산란계 가슴살의 전단력은 Fig. 3에 나타내었다. 본 연구에서는 CO₂, N₂, Ar, Halal 순으로 낮은 전단력을 나타내었으며, CO9가 가장 높았고 Halal이 가장 낮은 전단력을 나타내었다. 이전의 연구에서 할랄방식으로 도계된 육계의 전단력은 약 1.95 kgf 정도라고 보고된바 있다 (Alam et al., 2023). Northcutt 등(1998)의 연구에서 칠면조 가슴살의 전단력은 전기실신, 이산화탄소(CO₂) 실신 및 비실신 방법에 따른 유의적 차이가 없음을 보여주었다. Linares 등(2007)은 어린 양에 가스실신은 전단력을 낮추는 결과가 나타나지만 나이가 든 양에서는 가스실신, 전기실신, 비실신에 따른 전단력의 차이는 나타나지 않았다고 보고하였다. 본 연구의 결과가 이전 연구와의 결과와 다른 경향을 나타내는 것은 본 실험에 사용된 산란계의 품종과 성장단계의 차이에 의한 물리화학적 특성 차이에서 기인된 것으로 추측된다.

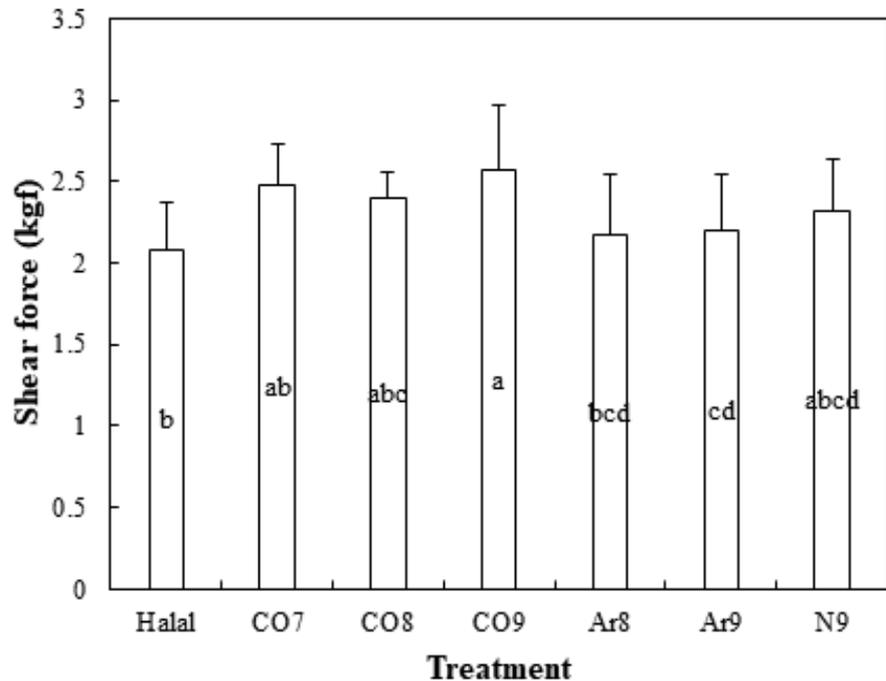


Fig. 3. Shear force of laying hens breast slaughtered by halal and gas-stun method with CO₂, Ar and N₂. All values are mean±SD. ^{a-d} Means sharing the same letters within a row are not significantly different at $p<0.05$ by Duncan’s multiple range test. ¹⁾Treatments: Halal, used knife; CO7, gas stun with 70% carbon dioxide; CO8, gas stun with 80% carbon dioxide; CO9, gas stun with 90% carbon dioxide; Ar8, gas stun with 80% argon; Ar9, gas stun with 90% argon; N9, gas stun with 90% nitrogen.

IV. 요약

본 연구는 도계과정 중 가스실신 시 CO₂외의 불활성가스인 Ar과 N₂의 산업적 활용 가능성을 평가하기 위해 닭의 혈중 스트레스 호르몬과 가슴살의 이화학적 특성 변화를 분석하였다. 이를 위해 산란계를 70, 80, 90% 농도에서 가스실신을 실시하였으며, 혈중 cortisol 농도, 가슴살의 pH, 일반성분, 색도, 보수력, 가열감량 및 전단력을 평가하였다. 이때, N₂는 대기환경을 고려하여 90% 이상의 농도로만 가스실신을 실시하였고, 대조구로서 할랄법을 사용하였다.

산란계의 가슴살 pH는 도축 직후에 Ar 실신에서 가장 높았지만, 냉장 보관 4일차에는 N₂ 실신에서 pH가 가장 높게 나타났다($p < 0.05$). 가슴살의 명도와 황색도는 다른 가스실신 방법에 비해 CO₂ 실신에서 높게 나타났지만, 적색도는 N₂ 실신에서 높게 나타났다($p < 0.05$). 일반 성분 분석에서는 실신가스 및 농도에 따라 수분, 지방 및 회분에서 다소 차이가 있었지만, 단백질 함량에서는 유의적인 차이가 없었다. 보수력은 N₂ 실신에서 가장 높았으며, CO₂와 Ar 실신 사이에 큰 차이가 없었다. 보수력에 영향을 주는 육즙 삼출량과 가열감량은 N₂ 가스가 가장 낮았으며, CO₂ 실신과 비교하여 Ar 실신에서는 유의적인 차이가 없었다. 전단력은 할랄(Halal) 및 Ar 실신보다 CO₂ 실신에서 높게 나타났다. 결과적으로, 도축 과정에서 사용되는 실신가스가 산란계의 스트레스 호르몬(cortisol) 농도와 가슴살의 품질 특성에 영향을 미치며, Ar과 N₂ 가스를 활용할 경우 CO₂와 유사하거나 우수한 품질특성을 나타내어 향후 산업적으로 활용될 가능성이 높을 것으로 판단된다. 향후 산업적 활용을 위한 고농도 가스 적용이 식육에 미치는 독성 및 안정성에 관련하여 추가적인 연구가 필요할 것이다.

V. 사 사

본 연구는 농촌진흥청 국립축산과학원 연구사업(PJ 01621403)의 지원 및 2023년도 농촌진흥청 국립축산과학원 전문연구원 연수과정 지원사업에 의해 이루어졌습니다.

VI. 참고문헌

1. 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.
2. Alam MS, Song D H, Hwang I, Seol KH, Cho SH, Jeon JH, Kim HW. 2023. Evaluation of the quality characteristics of nitrogen gas-stunned chicken meat and small intestine. *J Anim Sci Technol* In press.
3. Bórnez R, Linares MB, Vergara H. 2009. Effects of stunning with different carbon dioxide concentrations and exposure times on suckling lamb meat quality. *Meat Sci* 81:493-498.
4. Fuseini A, Knowles TG, Hadley PJ, Wootton SB. 2016. Halal stunning and slaughter: criteria for the assessment of dead animals. *Mest Sci* 119:132-137.
5. Gerritzen MA, Reimert HGM, Hindle VA, Verhoeven MTW, Veerkamp WB. 2013. Multistage carbon dioxide gas stunning of broilers. *Poult Sci* 92:41-50.
6. 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.

7. Hambrecht E, Eissen JJ, Nooijen RIJ, Ducro BJ, Smits CHM, den Hartog LA, Verstegen MWA. 2004. Preslaughter stress and muscle energy largely determine pork quality at two commercial processing plants. *J Ani Sci* 82:1401-1409.
8. Henckel P, Karlsson A, Jensen MT, Oksjerg N, Petersen JS. 2002. Metabolic conditions in porcine *longissimus* muscle immediately pre-slaughter and its influence on peri and post mortem energy metabolism. *Meat Sci* 62:145-155.
9. Hur SJ, Joo ST, Oh SH, Kim YJ, Kim YH, Lee JI, Park GB. 2001. Effects of packaging method and storage condition on meat shelf-life and water-holding capacity of pork loin. *Korean J Animal Sci* 43:121-130.
10. Linares MB, Bórnez R, Vergara H. 2007. Effect of different stunning systems on meat quality of light lamb. *Meat Sci* 76:675-681.
11. Nakyinsige K, Sazili AQ, Zulkifli I, Goh YM, Bakar FA, Sabow AB. 2014. Influence of gas stunning and halal slaughter (no stunning) on rabbits welfare indicators and meat quality. *Meat Sci* 98:701-708.
12. Northcutt JK, Buhr RJ, Young LL. 1998. Influence of preslaughter stunning on turkey breast muscle quality. *Poult Sci* 77:487-492.
13. Poole GH, Fletcher DL. 1995. A comparison of argon, carbon dioxide, and nitrogen in a broiler killing system. *Poult Sci* 74:1218-1223.
14. Raj ABM, Grey TC, Audsely AR, Gregory NG. 1990. Effect of electrical and gaseous stunning on the carcass and meat quality of broilers. *Bri Poult Sci* 31:725-733.
15. Salwani MS, Adeyemi KD, Sarah SA, Vejayan J, Zulkifli I, Sazili AQ. 2016. Skeletal muscle proteome and meat quality of broiler chickens subjected to gas stunning prior slaughter or slaughtered without stunning. *CyTA-Journal of Food* 14:375-381.
16. Sindhoj E, Lindahl C, Bark L, "Review: Potential alternatives to high-concentration carbon dioxide stunning of pigs at slaughter", *Animal* 15, 100164, 2021.
17. Sindhoj E, Lindahl C, Bark L. 2021. Potential alternatives to high-concentration carbon dioxide stunning of pigs at slaughter. *Animal* 15:100164.
18. Song DH, Alam MS, Lee JA, Hoa VB, Kang SM, Kim HW, Jeon JJ, Kang HK, Cho SH, Seol KH. 2022. Effect of halal and conventional slaughtering method with CO₂ and N₂ gas stunning on physicochemical traits of chicken breast muscle and small intestine, *Korean J Poult Sci* 49:1-8.
19. Terouw EM, Deiss V, Astruc T, "Stunning of pigs with different gas mixtures: Behavioural and physiological reactions", *Meat Sci* 175, 108452, 2021.
20. Xu L, Zhang H, Yue H, Wu S, Yang H, Wang Z, Qi G. 2018. Gas stunning with CO₂ affected meat color, lipid peroxidation, oxidative stress, and gene expression of mitogen-activated protein kinases, glutathione S-transferases, and Cu/Zn-superoxide dismutase in the skeletal muscles of broilers. *J Anim Sci* 9:1-12.