

ANIMAL

Evaluation of preslaughter losses, meat quality, and physiological characteristics of broilers in response to crating density for the standard of animal welfare and to seasonal differences

Myunghwan Yu, Elijah Ogola Oketch, Jun Seon Hong, Shan Randima Nawarathne, Yuldashboy Vohobjonov, Jung Min Heo^{*}

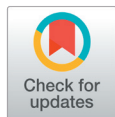
Department of Animal Science and Biotechnology, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea

*Corresponding author: jmheo@cnu.ac.kr

Abstract

The effects of seasonal differences and crating densities on the preslaughter losses, breast meat quality, and physiological indices of broilers were determined. A total of 600 broilers aged 35 days were divided into 10 treatment groups based on five crating densities (10.3, 11.5, 12.8, 14.1, 15.4 birds·m⁻²) with two seasons (i.e., summer and winter) to give six replicates and were placed at various locations in the truck. The birds were transported in crates having dimensions of 1.0 m × 0.78 m × 0.26 m. The transportation distance was 20 km for 40 minutes (average 30 - 50 km·h⁻¹) during the early morning. The results revealed that broilers transported at densities of 14.1 and 15.4 birds·m⁻² recorded lower ($p < 0.05$) pH, water-holding capacity (WHC), and muscle redness compared to those at densities of 11.5 birds·m⁻². Furthermore, higher ($p < 0.05$) cooking loss was found in birds stocked at more than 14.1 birds·m⁻² compared to the other treatments. However, no effect ($p > 0.05$) with different crating densities on body weight loss, carcass traits, glucose, lactate, or muscle yellowness was observed. Crating density of 14.1 birds·m⁻² showed lower ($p < 0.05$) cortisol contents compared with birds at 10.3 and 15.4 birds·m⁻². Winter transportation had higher ($p < 0.05$) relative breast meat weight, cooking loss, muscle redness, and cortisol contents whereas summer transportation had higher ($p < 0.05$) glucose and lactate contents in the blood plasma of broilers. In conclusion, the stocking of 12.8 birds·m⁻² is recommended to minimize stress responses and undesirable changes that could negatively affect muscle quality.

Key words: broiler, crating density, meat quality, seasonal animal welfare, transportation



OPEN ACCESS

Citation: Yu M, Oketch EO, Hong JS, Nawarathne SR, Vohobjonov Y, Heo JM. Evaluation of preslaughter losses, meat quality, and physiological characteristics of broilers in response to crating density for the standard of animal welfare and to seasonal differences. Korean Journal of Agricultural Science 49:927-936. <https://doi.org/10.7744/kjoas.2022084>

Received: October 26, 2022

Revised: November 08, 2022

Accepted: November 17, 2022

Copyright: © 2022 Korean Journal of Agricultural Science



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.

Introduction

닭고기의 소비량과 생산량이 지속적으로 증가함에 따라 육계 산업은 매년 급속하게 성장하고 있다(Yu et al., 2021a). 축산물 산업은 경제성과 효율성이 중요했지만, 축산물 시장이 성장하면서 동물복지 문제가 대두되고 있다. 또한, 건강지향적 트렌드에 따라 건강한 축산물을 위해 윤리적이고 안전한 축산물 생산이 더욱 중요해지고 있다(Lee, 2021). 국내 양계 동물복지는 정책 및 소비자들의 인식 등 다양한 방법으로 연구들이 추진되고 있지만(Hong et al., 2019; Chang et al., 2022) 운송 및 도축에 관련된 연구들은 상대적으로 적은 실정이다. 산란계와 달리 육계에서는 농장에서의 사육뿐만 아니라 운송과 도축과정은 닭고기의 품질을 손상시킬 수 있는 영향력이 있기에 중요한 동물복지 요소에 포함된다(Koknaroglu and Akunal, 2013). 국내의 경우 일반적인 적정 운송밀도에 관한 기준은 존재하지만, 동물복지 농장에서의 적정 운송밀도에 관한 기준은 없는 것으로 조사된다.

동물복지는 유럽에서부터 전 세계적으로 시행되고 있어 해외에서는 운송밀도에 관한 다양한 연구를 진행하고 있다(Benincasa et al., 2020). Hussnain 등(2020a)은 여름에 파키스탄에서 운송밀도와 운송 거리가 육계의 도살 전 무게 손실 그리고 생리학적 반응에 관한 연구를 진행했는데 여름철 이동거리가 길어지면 도체수율의 감소로 체중 수축이 증가했고, 운송 밀도가 높은 처리구가 무게 손실이 크고 스트레스의 영향이 더 많이 받은 연구 결과를 나타내었다. 하지만 Hussnain 등(2020b)은 고기 pH, drip loss에 관한 운송 밀도의 영향을 조사하였지만 유의적인 차이점은 관찰되지 않았다. 국외의 경우 농장과 도축장 간의 거리가 길기 때문에 운송 거리를 접목시킨 사례를 많이 발견할 수 있다(Yalçın and Güler, 2012; Khosravinia, 2015; Dos Santos et al., 2020). 반면 국내에서는 농장과 도축장 간의 거리가 서방국과 비교하여 비교적 가깝기 때문에 운송 거리보다는 운송 밀도에 초점을 맞출 필요가 있다고 판단된다. 그러나 아직까지 국내에서는 운송 밀도에 대한 연구가 진행된 바 없는 것으로 파악된다.

본 연구는 동물복지를 고려하였을 때 육계의 운송밀도와 계절에 따른 무게손실, 도체특성, 육질, 혈액 특성을 비교 분석하였다. 농장에서 섭외된 적재차량의 어리장의 크기(1.0 m × 0.78 m × 0.26 m) 내 출하 수수 조정을 통해 운송 밀도 및 처리구를 설정하여 운송밀도와 계절에 따른 생산성, 육질, 스트레스 변화를 분석하였다. 본 연구의 결과를 바탕으로 제시하는 기준에 따라 운송 밀도를 선택함으로써 고품질 닭고기 생산을 통한 농가 경제성 향상에 기여할 수 있고 안전한 축산물의 생산으로 지속가능한 축산업을 추구할 수 있을 것으로 사료된다.

Materials and Methods

본 실험은 충남대학교 동물윤리위원회 심의규정(202206A-CNU-082)에 의해 검토된 후 수행되었고 동물의 관리 및 취급은 본 대학 동물실험윤리위원회의 규정을 준수하고, 승인을 받았다.

Experimental procedure and birds

실험에서 사용된 공시동물은 35주령 Ross 308 600마리(평균 무게 1,750 g)이며, 섭외된 적재차량의 어리장의 크기(1.0 m × 0.78 m × 0.26 m) 내 동물복지를 고려한 육계의 사육밀도(30 kg·m⁻² 이하)를 토대로 운송밀도를 설정하였고 각각 처리구는 어리장 내 닭의 수수 기준으로 8수(10.3 birds·m⁻²), 9수(11.5 birds·m⁻²), 10수(12.8 birds·m⁻²), 11수(14.1 birds·m⁻²), 12수(15.4 birds·m⁻²)으로 설정하였다. 처리구당 6반복으로 진행하였으며 실험은 여름, 겨울 총 2번 진행하였다.

Climatic indices

본 실험은 한국의 대전 유성구에 위치한 충남대학교를 중심으로 수행되었다. 농장에서 수송거리는 총 20 km였으며 운송시간은 40분이었고 온도와 습도는 기상청의 데이터를 바탕으로 기록하였다. 측정된 외부의 온도와 습도는 각각 여름에는 27°C, 80% 겨울에는 영하 9°C, 60%이었다.

Transportation losses

운송 중 체중 감소(g)는 운송 전 농장의 닭들의 무게(g)와 운송 후 도착하자마자의 최종 체중(g)의 차이로 측정되었다.

Carcass traits

운송이 끝난 뒤 처리구에 따라 각각 1수씩 도축하여 도체수율, 가슴육 그리고 다리육 비율을 조사하였다. 도체수율은 머리, 발목, 내장을 제거하고 고기 그리고 뼈를 포함한 중량을 생체중량으로 나눈 값으로 하였다. 가슴육과 다리육의 비율은 도체된 닭에서 가슴육과 다리육을 분리하여 무게를 각각 측정하고, 도체중량에 대한 비율로 산출하였다(Yu et al., 2021b).

Physiological responses

혈액 샘플은 육계를 도축하기 전 익하정맥을 통해 채취하였으며, lithium heparin이 코팅된 vacutainer tube에 수집하였다. 채취한 혈액 샘플은 혈장 분리를 위해 실험실로 빠르게 이송하였다. 닭의 혈액을 원심분리한 후 plasma를 채취하여 Chicken cortisol (COR) ELISA kit (CUSABIO, Wuhan Huamei lotech Co., Ltd., Wuhan, China)로 absorbance (Byonoy GmbH, Hamburg, Germany) 측정하여 cortisol를 측정하였고, Lactate assay kit (Sigma Aldrich, Co., Burlington, USA)로 microplate reader (Tecan Group Ltd., Männedorf, Switzerland)를 이용하여 형광강도를 측정해서 Lactate를 측정하였고 혈액 생화학 분석을 통해 Glucose를 측정하였다.

Physicochemical traits

pH and color

닭의 가슴육 1 g과 증류수 9 mL를 혼합한 후 균질기(T25 basic, IKA® -Werke GmbH & Co., KG, Germany)를 이용하여 13,000 rpm에서 30초간 균질하고, 균질액은 2,090 × g에서 10분간 원심분리(1580R, labogene ApS, Lillerød, Denmark)한 후 상층액을 No. 4 여과지(Whatman, Maidstone, England)를 통해 여과하고 그 여과액의 pH는 pH meter (SevenEasy, Mettler-Toledo Intl Inc., Schwerzenbach, Switzerland)를 이용하여 측정하였다.

닭의 가슴육의 육색은 색도계(CM-3500d, Minolta, Tyoko, Japan)의 30 mm plate를 이용하여 명도(L*), 적색도(a*), 황색도(b*)를 CIE (Commission Internationale de l'Eclairage) 값으로 표면의 다른 부분에서 2곳을 측정한 후 평균값을 사용하였다.

Cooking loss

닭의 가슴육의 무게를 기록 및 진공 포장한 후 80°C의 항온 수조(DS-250WS, Daewon Science, Bucheon, Korea)에서 심부 온도 70°C에 도달 시까지 가열 후 실온에서 냉각하였다. 최종적으로 가열 후 drip을 제거한 실의 무게 기록한 후 다음과 같은 식으로 측정하였다.

$$\text{가열감량(\%)} = \frac{\text{가열 전 시료 무게(g)} - \text{가열 후 무게(g)}}{\text{가열 전 시료 무게(g)}} \times 100 \quad (1)$$

Water holding capacity

유리수분 함량은 탈지면에 시료 약 2 g을 샘플링한 후 무게를 기록하고 2,090 × g에서 10분간 원심분리 후 (1580R, Labogene ApS, Lillerød, Denmark) 시료에서 탈지면과 숨을 분리한 시료의 무게 기록한 후 다음과 같은 식으로 측정하였다.

$$\text{유리수분 함량(\%)} = \frac{\text{원심분리 전 시료 무게(g)} - \text{원심분리 후 시료 무게(g)}}{\text{원심분리 전 시료 무게(g)}} \times 100 \quad (2)$$

수분 함량은 알루미늄 dish에 시료 약 2 g을 샘플링한 후 무게를 기록하고 110°C에서 3시간 건조 후 시료의 무게를 기록한 후 다음과 같은 식으로 측정하였다.

$$\text{수분 함량(\%)} = \frac{\text{건조 전 시료 무게(g)} - \text{건조 후 시료 무게(g)}}{\text{건조 전 시료 무게(g)}} \times 100 \quad (2)$$

보수력은 최종적으로 다음 공식을 이용하여 산출하였다.

$$\text{보수력(\%)} = \frac{\text{수분 함량(\%)} - \text{유리수분함량(\%)}}{\text{수분 함량(\%)}} \times 100 \quad (2)$$

Statistical analysis

실험에 이용된 모든 데이터는 SPSS 26.0 (SPSS Inc., Chicago, USA)의 GLM program (general linear model, two-way ANOVA procedure, SPSS Inc., Chicago, USA)을 이용하여 분석하였으며, 무게 손실의 경우 battery cage를 통계단위로 계산하였으며, 도체율, physiological responses, meat quality 항목은 개체 실험 단위로 계산하였다. 또한 사후 검정은 Tukey의 다중검정을 이용하였고, 95%의 신뢰수준에서의 유의성을 검정하였다.

Results and Discussion

Transportation losses and carcass traits

계절과 운송밀도에 따른 처리구들의 무게손실, 도체중 및 도체수율을 분석한 결과를 Table 1에 나타내었다. 무게손실의 경우 계절 및 운송밀도에 따른 처리구 사이에 유의적인 차이가 없었다($p > 0.05$). Hussnain 등(2020a)에 따르면 여름철에 처리구 중 운송밀도가 가장 높은 15 birds·crate⁻¹ (i.e., 0.033 m²·bird⁻¹)가 다른 처리구에 비해 높은 무게손실을 나타내었다. Hussnain 등(2020c)에 따르면 겨울철에 처리구 중 운송밀도가 높은 처리구인 15 birds·crate⁻¹ (i.e., 0.033 m²·bird⁻¹)가 다른 처리구에 비해 낮은 무게손실을 나타내었다. 본 실험은 이전 실험들과 달리 처리구들이 운송밀도에 따른 유의적인 차이가 나타나지 않았으나, 이는 운송 길이가 상대적으로 너무 긴 해외에 비해 비교적 짧은 거리인 20 km로 진행되었기 때문이라고 사료된다.

Table 1. Live bird losses and carcass traits as affected by crating density and season during transportation.

Item	Body weight loss (g)	Dressing ratio (%)	Relative breast meat weight (%)	Relative drumstick weight (%)
Crating density (bird·m ⁻²)				
10.3	41.13	89.37	28.61	10.65
11.5	39.20	88.96	29.23	10.52
12.8	47.00	89.69	30.27	10.36
14.1	39.59	89.93	28.71	10.33
15.4	44.04	89.37	30.33	10.46
Season (S)				
Summer	37.27	89.83	27.70	10.56
Winter	47.11	89.09	31.16	10.37
SEM	2.561	0.275	0.362	0.103
p-value				
CD	0.854	0.838	0.406	0.864
S	0.069	0.190	0.001	0.361
CD × S	0.986	0.606	0.023	0.222

Values are the mean of six replicates for five crating densities and two seasons.

CD, crating density; SEM, standard error of the mean.

도체수율의 경우 계절과 운송밀도에 따른 처리구 사이에서 유의적인 차이가 없었다($p > 0.05$). 부분육의 비율 중 가슴육의 비율은 운송밀도에 따른 처리구 사이에서 유의적인 차이는 없었지만($p > 0.05$), 겨울철 가슴육의 비율은 31.16%로 여름철 가슴육의 비율인 27.70%보다 높은($p < 0.05$) 수치를 나타내었다. 또한, 가슴육의 비율은 운송밀도와 계절간의 상호작용 효과가 나타났다($p < 0.05$). 다리육의 비율의 경우 계절과 운송밀도에 따른 처리구 사이에서 유의적인 차이가 없었다($p > 0.05$). Hussnain 등(2020a)는 여름철에 각각 운송밀도를 10, 12 그리고 15 birds·crate⁻¹로 설정하여 실험을 진행을 하였는데 본 연구와 같이 운송밀도에 따른 도체중의 유의적인 차이는 없었고, 가슴육 또한 유의적인 차이가 없었다. Hussnain 등(2020c)는 겨울철에 각각 운송밀도를 10, 12 그리고 15 birds·crate⁻¹로 설정하여 실험을 진행하였는데 본 실험과 같이 운송밀도에 따른 도체중에 대한 유의적인 차이는 없었으나, 본 실험과 달리 운송밀도가 높은 15 birds·crate⁻¹가 낮은 운송밀도인 10 birds·crate⁻¹보다 높은 가슴육의 비율을 나타내었다. 운송밀도에 따른 도체수율에 관한 연구가 드물기 때문에 이에 관해서는 추가적인 연구가 필요하다고 사료된다.

Physicochemical traits

계절과 운송밀도에 따른 처리구들의 고기의 품질을 분석한 결과는 Table 2에 나타내었다. pH는 육질의 특성과 직접적인 관련이 있는 중요한 지표이며, 닭고기의 pH는 도축 전 근육에서 glycogen의 양과 도축 후 glycogen이 젖산으로 전환되는 비율로 결정된다. pH가 낮은 경우 닭고기는 보수력이 낮아지며, 이는 높은 cooking loss, drip loss 그리고 tenderness의 감소를 초래한다(Mir et al., 2017). Hussnain 등(2020b)은 여름철에 서로 다른 운송밀도(10, 12 그리고 15 birds·crate⁻¹)에 따라 실험을 진행하였는데 운송밀도에 따른 pH의 유의적인 차이는 나타나지 않았다. Hussnain 등(2020d)의 연구도 마찬가지로 겨울철에 서로 다른 운송밀도(10, 12 그리고 15 birds·crate⁻¹)에 따른 pH의 유의적인 차이는 없었다. 하지만 본 실험에서는 비교적 운송밀도가 높은 11 birds·crate⁻¹ (14.1 bird·m⁻²)와 12 birds·crate⁻¹ (15.4 bird·m⁻²)가 8 birds·crate⁻¹ (10.3 bird·m⁻²)와 9 birds·crate⁻¹ (11.5 bird·m⁻²) 그리고 10 birds·crate⁻¹ (12.8 bird·m⁻²)보다 낮은($p < 0.05$) pH를 나타냈다. pH의 경우 계절에 따른 처리구들의 유의적인 차이는 없었으나($p > 0.05$), 운송밀도 및 계절 사이의 상호작용 효과는 나타내었다($p < 0.05$). 동물에게 있어 스트레스를 받게 되면 자율 교감 신경계는 catecholamines를 방출하게 되는데 이에 따른 많은 양의 칼슘을 방출하게 되고 sarcoplasm에서 Ca²⁺ 이온의 급격한

증가는 근육의 adenosin triphosphate (ATP)의 postmortem utilization와 glycogenolysis를 증가시켜 pH의 감소를 가속화시키기 때문에 최종 pH는 낮게 나타내는 것으로 조사되었다(Hussnain et al., 2020b). 따라서 본 실험의 결과는 높은 운송밀도로 인한 스트레스 발생으로 인해 다른 처리구들보다 pH의 감소가 가속화되어 높은 운송 밀도의 처리구들의 최종 pH 낮아졌다고 사료된다.

Table 2. Physicochemical traits of chicken breast meat under various crating densities and different seasons during transportation.

Item	pH	WHC (%)	Cooking loss (%)	L*	a*	b*
Crating density (bird·m ⁻²)						
10.3	5.93b	75.28abc	19.17a	52.92a	10.50b	21.52
11.5	5.93b	77.70c	18.98a	53.15ab	10.44b	21.61
12.8	5.94b	76.13bc	20.20a	53.05ab	10.15b	22.20
14.1	5.74a	70.53a	24.04b	54.35ab	8.94a	22.57
15.4	5.74a	72.01ab	23.63b	55.36b	8.98a	22.18
Season (S)						
Summer	5.85	73.22	20.54	54.11	8.65	21.90
Winter	5.87	75.44	21.87	53.42	10.96	22.13
SEM	0.011	0.603	0.246	0.267	0.130	0.161
p-value						
CD	0.001	0.002	0.001	0.022	0.001	0.214
S	0.285	0.071	0.009	0.200	0.001	0.487
CD × S	0.020	0.794	0.013	0.930	0.161	0.520

Values are the mean of six replicates per treatment.

CD, crating density; SEM, standard error of the mean; L*, lightness; a*, redness; b*, yellowness.

a - c: Values in a row with different superscripts differ significantly ($p < 0.05$).

보수력은 고기의 색과 연도에 직접적인 영향을 미치며 생고기의 가장 중요한 기능적 특성 중 하나이다(Mir et al., 2017). 본 실험에서는 8, 9 그리고 10 birds·crate⁻¹ 사이에서는 보수력에 대해 유의적인 차이가 없었고($p > 0.05$), 9 birds·crate⁻¹는 11 그리고 12 birds·crate⁻¹보다 높은($p < 0.05$) 보수력을 나타내었다. 또한, 본 실험에서 11 그리고 12 birds·crate⁻¹가 보수력 뿐만 아니라 pH도 낮았는데 이는 낮은 pH를 가진 닭고기는 낮은 보수력과 관련이 있다는 연구결과와 일치하였다(Zheng et al., 2020).

가열감량은 식육을 열로 가할 때 근섬유의 수축 그리고 근질의 단축으로 인해 식육의 보수력이 감소되고 이로 인해 가열 감량을 초래한다(Kim and Kang, 2020). 본 실험에서는 운송밀도가 비교적 높은 11 그리고 12 birds·crate⁻¹가 다른 처리구들보다 높은($p < 0.05$) 가열감량을 나타냈고, 계절에 따라서도 여름보다 겨울이 높은($p < 0.05$) 가열감량을 보였고, 계절 및 운송밀도 사이의 상호작용 효과도 나타내었다($p < 0.05$). 이전 연구에서 가열감량은 등전점에 따라 달라진다고 보고되었는데 등전점은 단백질에 전하를 띠지 않는 pH이며, 5.1 - 5.4 사이의 값을 갖는다(Alvarado and Mckee, 2007; Bowker, 2017). 등전점으로부터 근육 pH가 멀어질수록 단백질과 수분 결합능력에 대한 전하가 높아지며, 물을 위한 세포 내 공간이 더 많이 존재하게 된다(Huff-Lonergan and Lonergan, 2005). 따라서 본 실험에서는 등전점으로부터 고기의 pH가 먼 높은 운송밀도(9 birds·crate⁻¹)가 보수력이 높았으며, 낮은 pH를 가진 11 그리고 12 birds·crate⁻¹들의 가열감량이 높았다. 또한, 여름철보다 겨울철에 가열감량이 높은 것으로 보아 본 실험에서는 heat stress보다 cold stress가 조금 더 운송 중에 육계에게 스트레스의 정도가 높았기 때문이라고 사료된다.

육색은 고기의 신선도를 보여주고 소비자에게 대해 구매에 직결되는 중요한 감각적 특성 중 하나이다(Fletcher, 2002; Mir et al., 2017). 고기의 색의 변화는 최종 pH와 pH의 하락율로 인한 근육 단백질 변성에 의존하게 된다(Matarneh et al., 2023). 본 실험의 경우 12 birds·crate⁻¹가 8 birds·crate⁻¹보다 높은(p < 0.05) 명도를 나타냈고 11 그리고 12 birds·crate⁻¹가 다른 처리구들보다 낮은(p < 0.05) 적색도를 나타냈다. 이는 높은 운송 밀도로 인한 스트레스의 발생으로 낮은 pH 상태에서 근육의 이완 그리고 단백질의 변성 때문에 높은 명도를 증가시켰다(Mir et al., 2017; Wang et al., 2017).

Physiological response

계절과 운송밀도에 따른 처리구들의 혈액 생화학 분석 결과는 Table 3에 나타내었다. Glucose는 필수적인 세포의 연료 공급원이자 대사 기질이다. 지난 연구에 따르면 스트레스는 혈장 포도당 농도의 상승을 야기시키는 것으로 보고되어왔으며 이는 주로 간의 글리코젠 분해로 인해 발생한 것이다(Zhang et al., 2009; Choe, 2018a). 본 실험에서는 운송밀도 간에는 유의적인 차이를 보이지 않았으나(p > 0.05), 여름철 운송이 겨울철 운송보다 높은(p < 0.05) glucose 수치를 나타내었다. 이는 여름철 heat stress로 인해 겨울철보다 스트레스의 정도를 더 받았기 때문이라고 사료된다. Hussnain 등(2020a)은 여름철에 실험을 진행하였고 운송밀도는 각각 10, 12 그리고 15 birds·crate⁻¹로 설정하였는데 본 연구와 같이 운송밀도 간에 유의적인 차이는 나타나지 않았다. Hussnain 등(2020c)은 겨울철에 실험을 진행하였고 운송밀도는 각각 10, 12 그리고 15 birds·crate⁻¹로 설정하였는데 닭들의 운송밀도가 높을수록 유의적으로 glucose 수치가 높았다.

Table 3. Blood metabolites of transported broilers under various crating densities and different seasons during transportation.

Item	Cortisol (ng·mL ⁻¹)	Glucose (mg·dL ⁻¹)	Lactate (ng·μL ⁻¹)
Crating density (bird·m ⁻²)			
10.3	23.38b	265.86	11.00
11.5	16.01ab	255.72	10.87
12.8	15.91ab	262.14	11.40
14.1	12.25a	259.33	12.16
15.4	23.36b	262.09	12.23
Season (S)			
Summer	10.79	266.62	14.73
Winter	25.57	255.43	8.33
SEM	1.029	1.371	0.213
p-value			
CD	0.002	0.213	0.134
S	0.001	0.001	0.001
CD × S	0.014	0.796	0.767

Values are the mean of six replicates per treatment.

CD, crating density; SEM, standard error of the mean.

a, b: Values in a row with different superscripts differ significantly (p < 0.05).

동물들이 스트레스를 받을 때 glycogen과 glucose 그리고 glucose-6-phosphate과 같은 기질은 젖산으로 전환된다. 이는 젖산의 축적으로 인해 최종 pH가 낮아져서 더 나아가 육색과 보수력에도 영향을 미친다(Zhang et al., 2009; Choe, 2018b). 본 실험의 경우 lactate의 수치는 glucose와 비슷한 경향을 나타내었는데 운송밀도 간에는 유의적인 차이를 보이지 않았으나(p > 0.05), 여름철 운송이 겨울철 운송보다 높은(p < 0.05) lactate 수치를 나타내었다. 하지만 예상과 달리 본 실험에서는 계절 간의 육색과 pH 그리고 보수력에서의 유의성은 나타나지 않았다. 이에 대해서는 추가적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

Cortisol과 corticosterone은 동물의 스트레스 반응을 대표하는 측정 지표 중 하나로서 널리 쓰이고 있다(Virden and Kidd, 2009; Son et al., 2021). 본 실험에서는 11 birds·crate⁻¹가 8 그리고 12 birds·crate⁻¹보다 낮은($p < 0.05$) 수치를 나타내었고, 여름보다 겨울에 높은($p < 0.05$) cortisol을 나타내었다. 또한, 계절과 운송밀도 간의 상호작용 효과도 나타내었다($p < 0.05$). 본 실험과 달리 Delezie 등(2007)은 사료의 절식의 유무 및 운송밀도(0.0350, 0.0575 m²·broiler⁻¹)에 따른 실험을 진행하였는데 운송밀도가 높은 처리구가 운송밀도 낮은 처리구보다 높은 corticosterone의 결과를 보여주었다. 본 실험에서는 상대적으로 모든 처리구가 운송밀도가 낮다보니 이런 결과가 나온 것으로 사료된다.

Conclusion

본 실험은 섭외된 적재차량의 어리장의 크기(1.0 m × 0.78 m × 0.26 m) 내 출하수수 조정을 통해 동물복지를 고려한 육계의 사육밀도(30 kg·m⁻² 이하)를 토대로 운송밀도를 설정하여 운송밀도에 따른 생산성, 육질 그리고 스트레스 변화를 비교 분석하였다. 본 실험에서는 서로 다른 운송밀도 그리고 계절에 따른 무게손실 및 도체중의 유의미한 차이는 나타나지 않았지만 어리장 안에 11마리 이상을 넣게 되면 낮은 보수력, 높은 가열감량, 높은 명도 그리고 낮은 적색도를 나타내기 때문에 고기의 품질에 부정적인 영향을 미칠 수 있다. 하지만 본 실험에서의 스트레스 지표를 보면 어리장 안에 11마리를 넣게 될 경우가 가장 낮은 cortisol의 수치를 나타내었다. 또한 겨울철 육계 운송은 여름철 운송보다 가슴육 비율, 가열감량, 적색도 그리고 cortisol은 높았고 glucose와 lactate는 낮았다. 본 연구는 계절간 동물복지를 고려한 육계의 사육밀도를 토대로 설정한 운송밀도에 따라 생산성, 육질 그리고 스트레스 변화를 비교하였을 때 어리장 안에 10마리를 넣는 것을 추천하며, 계절은 복합적으로 보았을 때 겨울보다 여름에 운송하는 것을 추천한다. 또한, 계절과 운송 밀도에 따른 육계의 경제성 및 행동학적 분석에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

Conflict of Interests

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

Acknowledgments

This work was carried out with the support of “The Cooperative Research Program for Agriculture Science and Technology Development (Project No. PJ016214)” Rural Development Administration, Republic of Korea.

Authors Information

Myunghwan Yu, <https://orcid.org/0000-0003-4479-4677>

Elijah Ogola Oketch, <https://orcid.org/0000-0003-4364-460X>

Jun Seon Hong, <https://orcid.org/0000-0003-2142-9888>

Shan Randima Nawarathne, <https://orcid.org/0000-0001-9055-9155>

Yuldashboy Vohobjonov, <https://orcid.org/0000-0001-6424-9997>

Jung Min Heo, <https://orcid.org/0000-0002-3693-1320>

References

- Alvarado C, McKee S. 2007. Marination to improve functional properties and safety of poultry meat. *Journal of Applied Poultry Research* 16:113-120.
- Benincasa NC, Sakamoto KS, Silva IJOD, Lobos CMV. 2020. Animal welfare: Impacts of pre-slaughter operations on the current poultry industry. *Journal of Animal Behaviour and Biometeorology* 8:104-110.
- Bowker B. 2017. Developments in our understanding of water-holding capacity. In *Poultry quality evaluation*. pp. 77-113. Woodhead Publishing, Cambridge, England.
- Chang JB, Lee Y, Jeong M. 2022. Consumer preferences for animal welfare certified eggs. *The Korean Journal of Agricultural Economics* 63:83-102. [in Korean]
- Choe J. 2018a. Pre-slaughter stress, animal welfare, and its implication on meat quality. *Korean Journal of Agricultural Science* 45:58-65.
- Choe J. 2018b. Overview of muscle metabolism, muscle fiber characteristics, and meat quality. *Korean Journal of Agricultural Science* 45:50-57.
- Delezie E, Swennen Q, Buyse J, Decuypere E. 2007. The effect of feed withdrawal and crating density in transit on metabolism and meat quality of broilers at slaughter weight. *Poultry Science* 86:1414-1423.
- Dos Santos VM, Dallago BS, Racanicci AM, Santana ÂP, Cue RI, Bernal FE. 2020. Effect of transportation distances, seasons and crate microclimate on broiler chicken production losses. *PLoS One* 15:e0232004.
- Fletcher DL. 2002. Poultry meat quality. *World's Poultry Science Journal* 58:131-145.
- Hong EC, Kang HK, Park KT, Jeon JJ, Kim HS, Kim CH, Kim SH. 2019. A survey on egg laying performance and distribution status of animal welfare certified farms for laying hens. *Korean Journal of Poultry Science* 46:52-63. [in Korean]
- 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.
- Hussnain F, Mahmud A, Mehmood S, Jaspal MH. 2020a. Effect of transportation distance and crating density on preslaughter losses and blood biochemical profile in broilers during hot and humid weather. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences* 44:418-426.
- Hussnain F, Mahmud A, Mehmood S, Jaspal MH. 2020b. Influence of long-distance transportation under various crating densities on broiler meat quality during hot and humid weather. *The Journal of Poultry Science* 57:246-252.
- Hussnain F, Mahmud A, Mehmood S, Jaspal MH. 2020c. Effect of broiler crating density and transportation distance on preslaughter losses and physiological response during the winter season in Punjab, Pakistan. *Brazilian Journal of Poultry Science* 22:1-10.
- Hussnain F, Mahmud A, Mehmood S, Jaspal MH. 2020d. Meat quality and cooking characteristics in broilers influenced by winter transportation distance and crate density. *The Journal of Poultry Science* 57:175-182.
- Khosravinia H. 2015. Physiological responses of newly hatched broiler chicks to increasing journey distance during road transportation. *Italian Journal of Animal Science* 14:3964.
- Kim CH, Kang HK. 2020. Effects of stock density on the growth performance, and meat quality of Korean native chickens. *Korean Journal of Poultry Science* 47:1-8. [in Korean]
- Koknaroglu H, Akunal T. 2013. Animal welfare: An animal science approach. *Meat Science* 95:821-827.
- Lee MN. 2021. A study on eco-friendly food consumption value and purchasing behavior-comparative analysis according to the level of involvement-. *Foodservice industry Journal* 17:305-319. [in Korean]
- Matarneh SK, England EM, Scheffler TL, Gerrard DE. 2023. The conversion of muscle to meat. In *Lawrie's meat science*. pp. 159-194. Woodhead Publishing, Cambridge, England.
- Mir NA, Rafiq A, Kumar F, Singh V, Shukla V. 2017. Determinants of broiler chicken meat quality and factors affecting them: A review. *Journal of Food Science and Technology* 54:2997-3009.

- Son J, Kim HJ, Hong EC, Kim HS, Jeon JJ, Kang BS, Kang HK. 2021. Effect of single-sex or mixed rearing on growth and laying performance, blood parameters, egg quality, and feather scores of laying hens in an aviary system. *Korean Journal of Agricultural Science* 49:19-29. [in Korean]
- Viriden WS, Kidd MT. 2009. Physiological stress in broilers: Ramifications on nutrient digestibility and responses. *Journal of Applied Poultry Research* 18:338-347.
- Wang RH, Liang RR, Lin H, Zhu LX, Zhang YM, Mao YW, Luo X. 2017. Effect of acute heat stress and slaughter processing on poultry meat quality and postmortem carbohydrate metabolism. *Poultry Science* 96:738-746.
- Yalçın S, Güler HC. 2012. Interaction of transport distance and body weight on preslaughter stress and breast meat quality of broilers. *British Poultry Science* 53:175-182.
- Yu M, Hong JS, Kim YB, Nawarathne SR, Ogola OE, Heo JM, Yi YJ. 2021a. Determination of mixed or gender-separated feeding on the growth performance of Korean native chickens when compared with white semi-broilers and commercial broilers at 35 days after hatching. *Korean Journal of Agricultural Science* 48:719-727. [in Korean]
- Yu M, Jeon JO, Cho HM, Hong JS, Kim YB, Nawarathne SR, Wickramasuriya SS, Yi YJ, Lee H, Wan V, et al. 2021b. Broiler responses to dietary 3, 4, 5-trihydroxybenzoic acid and oregano extracts under *Eimeria* challenge conditions. *Journal of Animal Science and Technology* 63:1362-1375.
- Zhang L, Yue HY, Zhang HJ, Xu L, Wu SG, Yan HJ, Qi GH. 2009. Transport stress in broilers: I. Blood metabolism, glycolytic potential, and meat quality. *Poultry Science* 88:2033-2041.
- Zheng A, Lin S, Pirzado SA, Chen Z, Chang W, Cai H, Liu G. 2020. Stress associated with simulated transport, changes serum biochemistry, postmortem muscle metabolism, and meat quality of broilers. *Animals* 10:1442.