



사육 밀도가 육계 생산성, 면역 수준 및 계육 품질에 미치는 영향

김희진¹ · 전진주² · 김현수² · 손지선² · 김광열³ · 유아선² · 홍의철² · 강보석⁴ · 강환구^{2*}

¹국립축산과학원 가금연구소 전문연구원, ²국립축산과학원 가금연구소 농업연구사

³국립축산과학원 가금연구소 연구원, ⁴국립축산과학원 가금연구소 농업연구관

Effects of Stocking Density on the Growth Performance, Immune Status and Breast Meat Quality of Broiler

Hee-Jin Kim¹, Jin-Joo Jeon², Hyun-soo Kim², Jiseon Son², Kwang-Yeol Kim³, Are-Sun You²,
 Eui-Chul Hong², Bo-seok Kang⁴ and Hwan-Ku Kang^{2*}

¹Postdoctor Researcher, Poultry Research Institute, National Institute of Animal Science, Pyeongchang 25342, Republic of Korea

²Researcher, Poultry Research Institute, National Institute of Animal Science, Pyeongchang 25342, Republic of Korea

³Senior Researcher, Poultry Research Institute, National Institute of Animal Science, Pyeongchang 25342, Republic of Korea

⁴Senior Researcher, Poultry Research Institute, National Institute of Animal Science, Pyeongchang 25342, Republic of Korea

ABSTRACT The present experiment was conducted to evaluate the effect of stocking density on the growth performance, immune status, and meat quality of broilers. In total, 385 one-day-old Ross 308 broilers were randomly assigned to one of four distinct stocking densities: 26 birds/m², 22 birds/m², 19 birds/m², and 16 birds/m². They were fed the diet *ad libitum* for 5 weeks. Immunoglobulin (Ig) and corticosterone levels were evaluated, and growth performance, blood parameters, and breast meat quality were determined. It was observed that the weight gain and feed intake of growers (21~35 d) and broilers (0~35 d) were significantly reduced as the stocking density increased ($P<0.05$). However, the feed intake of starters (0~21 d) significantly increased as the stocking density increased ($P<0.05$). There were no significant differences in the biochemical profiles among the four different stock densities. Furthermore, no significant differences were observed in the stress parameters: (heterophils / lymphocytes ratio and corticosterone), IgA, and IgM; however, IgG significantly increased with stocking density ($P<0.05$). The pH, water holding capacity, and cooking loss of the muscle were all unaffected by the stocking density, but the shear force (tenderness) increased slightly as the density increased. The findings of this study suggest that a lower stocking density (16 birds/m²) significantly improved the shear force of breast meat and IgG in broilers.

(Key words: broiler, stock density, animal welfare, growth performance, immune status)

서 론

닭고기의 소비량과 생산량이 지속적으로 증가함에 따라 육계 산업은 매년 급속히 성장하고 있다. 지금까지의 축산물 산업은 경제성과 효율성이 가장 중요한 농장 경영의 목표였지만, 축산물 시장의 성장과 함께 동물복지 문제가 대두되면서 윤리적이고 안전한 축산물 생산이 시대적으로 더욱 중요해지고 있다. 이에 따라 닭의 사육환경, 운송 방법, 도계 과정에서의 동물복지의 관심이 매우 높아지고 있다 (Kim et al., 2018).

사육 밀도는 가금류 생산성, 동물복지와 밀접한 관련이 있기 때문에 육계 산업에서 중요한 요소이다(Goo et al., 2019). 높은 사육 밀도는 육계의 성장률을 감소시키지만, 면적당 사육 수수가 증가하여 경제적 이익이 높기 때문에 생산자들은 사육 밀도를 증가시키고 있다(Feddes et al., 2002). 하지만 단위 범위 당 육계의 수를 증가시키면 보행 능력, 다리 질병 및 발바닥 피부염 및 호크 화상의 발생률이 증가하며, 사료 섭취 및 체중을 감소시키고, 동물 복지에 악영향을 준다(Ravindran et al., 2006). 또한 가축의 사육 밀도는 가금류의 건강 및 행동과 관련이 높기 때문에 가금류 생산에 중

* To whom correspondence should be addressed : magic100@korea.kr

요한 스트레스 요인이다(Goo et al., 2019).

고밀도 사육과 같은 스트레스 자극이 동물의 복지, 면역, 생산성에 미치는 영향이 점점 중요해지고 있다(Quinteiro-Filho et al., 2010). 육계에 미치는 스트레스는 면역 활성을 억제하여 육계의 면역기능 감소와 회복 속도의 감소로 인하여 질병의 발생이 증가한다고 알려져 있다(Gomes et al., 2014).

국가적으로 축산물의 안전성과 경제성 향상을 동시에 추구하여 지속 가능한 축산업 유지를 위한 동물복지 인증제도가 실시되고 있다. 현재 축산법과 동물복지의 육계 사육 밀도가 무창 계사의 경우, 각각 39 kg/m² (26 birds/m²)와 30 kg/m² (19 birds/m²)으로 규정되어 있다. 따라서 본 연구는 사육 밀도 기준에 근거하여 육계 사육 밀도 수준을 다르게 하였을 때, 생산성, 혈액 성분, 스트레스 지표, 계육 품질에 미치는 영향을 구명하기 위해 실시하였다.

재료 및 방법

1. 실험 설계 및 사양 관리

공시계는 1일령 육계(Ross 308; 개시 체중 37.13±0.291 g) 수컷 385수를 선별하여 전기(0~21일) 및 후기(22~35일)로 나누어 총 5주간 사양시험을 실시하였다. 시험 설계는 사육 밀도 4처리(26, 22, 19, 16 birds/m²) 5반복을 20개의 floor pen(가로 1.0 m, 세로 1.0 m = 1 m²)에 두어 완전 임의 배치하였다. Pen의 사육 수수는 급이기의 면적을 고려하여 설정하였으며, 실험 시 폐사한 개체는 사육 밀도를 고려하여 폐사 체중과 유사한 개체를 선발하여 추가하였다. 시험 사료는 시판 동물복지 인증 기준에 적합하도록 동물성 원료가 포함되지 않은 상업용 배합사료(Table 1)를 사용하였고, 사료와 물은 자유롭게 섭취하게 하였다. 계사 내 적정 온도는 1일령에 33℃로 설정하였고, 주당 4℃씩 감온하여 이후에는

Table 1. Composition and nutrient content of experimental diets (as-fed basis)

Parameters	Starter diet (0 to 21 days)	Grower diet (22 to 35 days)
Ingredients, (%)		
Corn, US No. 3	51.92	54.67
Soybean meal-44% CP	28.10	23.00
Wheat meal	5.00	10.00
Corn gluten	3.84	2.01
Fish meal	4.00	3.50
Tallow	3.50	3.50
Dicalcium phosphate	1.86	1.59
Limestone	1.00	1.00
Sodium chloride	0.22	0.25
Choline-50%	0.06	0.04
Methionine-99%	0.11	0.11
Lysine-78%	0.14	0.11
Vitamin and mineral premix ¹	0.24	0.22
Total	100.00	100.00
Nutrient content		
MEn (kcal/kg)	3,100	3,150
CP (%)	22.00	19.00
Ca (%)	1.00	0.92
Available p (%)	0.51	0.45
Met + Cys (%)	0.87	0.75

¹ Provided per kilogram of the complete diet: vitamin A (from vitamin acetate), 12,500 IU; vitamin D₃, 2,500 IU; vitamin E (from DL- α -tocopheryl acetate), 20 IU; vitamin K₃, 2 mg; vitamin B₁, 2 mg; vitamin B₂, 5 mg; vitamin B₆, 3 mg; vitamin B₁₂, 18 μ g; calcium pantothenate, 8 mg; folic acid, 1 mg; biotin, 50 μ g; niacin, 24 mg; Fe (as FeSO₄·7H₂O), 40 mg; Cu (as CuSO₄·H₂O), 8 mg; Zn (as ZnSO₄·H₂O), 60 mg; Mn (as MnSO₄·H₂O) 90 mg; Mg (MgO) as 1,500 mg.

20℃를 유지하였다. 습도는 50~60%를 유지하였으며, 잠등은 3일간 24시간 점등하였고, 이후 동물복지기준(8시간 암기, 16시간 명기)에 따라 실시하였다. 본 실험의 동물 관리 및 실험 방법은 국립축산과학원 가금연구소 실험동물 관리 및 연구윤리위원회의 규정과 허가(2019-364)에 따라 실시하였다.

2. 조사 항목 및 분석 항목

1) 생산성

사육 밀도에 따른 생산성을 조사하기 위해 시험 개시일과 전기(0~21일) 및 후기(22~35일) 종료일에 맞춰 pen별 체중과 사료 잔량을 측정하였다. 증체량은 pen별 측정된 체중을 사육 수수로 나누어 시험기간 내 증체된 1수의 평균 체중을 산출하였고, 사료섭취량은 시험기간 내 총사료급여량에서 사료잔량을 제한 후 pen 내 사육 수수로 나누어 1수의 평균 사료섭취량을 산출하였다. 사료요구율은 사료섭취량을 증체량으로 나누어 1 kg 증체에 필요한 사료량을 비율로 산출하였다.

2) 혈구 분석 및 혈청 생화학분석

사육 밀도에 따른 육계의 혈구 및 생화학 조성을 분석하기 위해 종료일(35일)에 반복 당 2수씩 총 처리당 10수씩 선 발하여 익하 정맥에서 혈액을 채취하여 분석에 이용하였다. 혈구 조성은 자동 혈구 분석기(HEMAVET[®] HV950FS, Drew Scientific, Inc., PA, USA)를 이용하여 혈구 구성 성분들의 수치를 조사하였다. 혈청 내 생화학 조성 분석을 위하여 자동 혈액 분석기(AU480 Chemistry Analyzer, Beckman Coulter Inc., CA, USA)를 이용하였다.

3) 혈액 내 면역 글로불린(Immunoglobulin, Ig) 함량 측정

사육 밀도의 차이에 따른 면역 활성을 분석하기 위하여 혈액 내 존재하는 IgA, M, G를 측정하였다. 종료일(35일)에 혈액을 채혈 후 혈청을 분리하여 분석 전까지 -70℃에 보관하였다. 분석은 Chicken IgA, M, G ELISA Kit(MyBio-Source, Inc, San Diego, CA, USA)를 사용하였다. 항원이 coating된 96-well plate에 시료 100 µL 첨가하여 37℃에서 90분 동안 반응시킨 뒤, 2차 항원을 첨가하여 37℃에서 1시간 처리하였다. 3번 세척한 뒤 HRP Conjugate working 용액을 넣어 37℃에서 30분 반응시켰다. 반응시킨 후 substrate reagent로 발색 시키고, Stop 용액을 넣은 뒤 분광 광도계(Epoch 2; BioTek Instruments, Inc., VT, USA)를 이용하여 450 nm에서 흡광도를 측정하였다.

4) 혈청 내 Corticosterone 함량 측정

사육 밀도의 차이에 따른 스트레스 차이를 분석하기 위하여 혈액 내 존재하는 스트레스 호르몬 중 corticosterone을 측정하였다. 혈액을 채혈 후 혈청을 분리하여 분석 전까지 -70℃에 보관하였다. 분석은 Chicken Corticosterone ELISA Kit(Wuhan Fine Biotech Co. Ltd., Wuhan, China)를 사용하였다. 항원이 coating된 96-well plate를 2번 세척한 뒤 시료 50 µL와 Biotin-labeled Antibody 50 µL를 첨가하여 37℃에서 45분 반응시켰다. 3번 세척한 뒤 HRP Conjugate working 용액을 넣어 37℃에서 30분 처리하였다. 처리 후 5번 세척 후 TMB Substrat로 발색시키고, Stop 용액을 넣어 분광 광도계(Epoch 2; BioTek Instruments, Inc., VT, USA)를 이용하여 450 nm에서 흡광도를 측정하였다.

5) 가슴육 품질

사양 시험 시험 종료 후 반복 당 2수씩 총 처리당 10수씩 도계한 뒤, 가슴육을 발골하여 분석에 사용하였다. 육계의 가슴육 pH는 pH meter(pH-K21, NWK-Binar GmbH, Celiustr, Germany)를 이용하여 측정하였다.

보수력은 Kim et al.(2018)의 방법에 따라, 시험관에 근막을 제거한 가슴육을 약 0.5 g을 측정하여 20분간 80℃의 항온 수조에서 가열하였다. 가열 후 실온에서 10분간 방냉한 뒤, 2,000 × g에서 20분간 원심분리하여 시료의 무게를 측정하였다. 보수력은 다음 식을 이용하여 산출하였다.

$$\text{지방계수} = 1 - \text{지방함량}/100$$

$$\text{유리수분} = [(\text{원심분리 전 무게} - \text{원심분리 후 무게}) / (\text{시료} \times \text{지방계수})] \times 100$$

$$\text{보수력}(\%) = [(\text{총 수분} - \text{유리수분}) / \text{총 수분}] \times 100$$

Kim et al.(2018)의 방법에 따라 가열 감량을 분석하였다. 육계 가슴육을 polyethylene bag에 넣고 심부온도가 75±2℃에 도달할 때까지 항온수조에서 45분간 가열하였다. 가열 감량은 가열 전과 후의 중량 차이를 백분율로 하여 산출하였다.

전단력은 가열 감량방법과 동일하게 가슴육을 가열한 뒤, 직경 1.27 cm의 코어를 이용하여 근섬유 방향으로 시료를 준비하였다. 준비한 시료를 전단력 측정기(Warner-Bratzler shear force meter, USA)를 이용하여 V blade로 측정하였다.

3. 통계분석

통계처리는 Statistics Analytical System(SAS) 9.4의 General Linear Model(GLM) 방법을 이용하여 one-way ANOVA 분석

을 하였다. 생산성 분석의 실험 단위는 펜으로 하였으며, 그 외 분석의 실험 단위는 개체로 하였다. 처리구간에 따른 차이 분석을 위해 Tukey's 방법을 이용하여 $P < 0.05$ 수준에서 평균 값 간의 유의성을 검정하였다. Orthogonal polynomial contrast를 이용하여 육계의 사육 밀도의 효과를 선형 혹은 이차함수 형태로 비교 분석하였다.

결과 및 고찰

1. 체중, 증체량, 사료 섭취량 및 사료 요구율

사육 밀도에 따른 육계의 증체량, 사료 섭취량 및 사료 요구율에 대한 결과는 Table 2와 같다. 초기에서 증체량과 사료 요구율에서 유의적인 차이는 나타나지 않았다. 하지만, 초기 사료 섭취량에서 사육 밀도가 26 birds/m² 처리구에서 유의적으로 높은 것으로 나타났으며 ($P < 0.05$), 사육 밀도에 따라 직선적(Linear; $P < 0.05$)이고 곡선적인(Quadratic; $P < 0.05$) 변화를 나타내었다. 후기와 전체기간에서 증체량과 사료 섭취량이 16 birds/m² 처리구에서 유의적으로 높은 것으로 나타났으며 ($P < 0.05$), 사육 밀도에 따라 직선적(Linear; $P < 0.05$) 변화를 나타내었다. 하지만 사료 요구율에서는 처리구간 유의적인 차이는 나타나지 않았다.

Goo et al.(2019)의 연구에서 사육 밀도(15.2, 20.2, 25.3, 30.4 birds/m²)에 따라 28일 동안 실험한 결과, 사육 밀도가 증가할수록 증체량(1,383, 1,302, 1,373, 1,219 g)과 사료 섭취량(2,013, 1,911, 1,986, 1,805 g)이 약 5~10% 감소되었다. 이는 본 연구결과와 유사하였으며, 그 외 많은 실험에서도 유사한 결과가 보고되었다(Feddes et al., 2002; Meluzzi et al., 2008; Dozier et al., 2005). 사료 요구율의 경우 Astaneh et al.(2018)의 연구에서 사육 밀도(12 birds/m² vs. 18 birds/m²)가 낮아질수록 사료 요구율이 개선된다고 보고하였으나, Goo et al.(2019)의 연구에서는 유의적인 차이는 나타나지 않았다고 보고하였다. 이러한 차이는 본 연구와도 같으며, 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다. 초기의 사료 섭취량의 경우 사육 밀도가 높은 26 birds/m² 처리구에서 유의적으로 높게 나타났는데, Guardia et al.(2011)의 연구에 따르면 사료 섭취에 대한 적응이 되지 않은 시기에 사육 밀도가 높을수록 사료를 더 쉽게 찾을 수 있어 사료섭취량이 높다고 보고하였으며, 본 연구결과도 유사한 것으로 판단된다. 고밀도 사육으로 인하여 사료의 접근성 어려워져 육계의 사료의 섭취량이 감소하여 생산성에 영향을 미친 것으로 사료된다(Azzam et al., 2015). 따라서, 육계의 사육 밀도가 낮을수록 증체량 및 사료 섭취량이 개선되었다.

Table 2. Effect of stocking density on growth performance in broiler

Parameters	Stock density (birds/m ²)				SEM ¹	<i>P</i> -values ²	
	26	22	19	16		Linear	Quadratic
Starter (0~21 d)							
Weight gain (g/bird)	775	720	791	820	33.378	0.174	0.316
Feed intake (g/bird)	1,259 ^a	1,142 ^b	1,155 ^b	1,147 ^b	18.379	0.002	0.008
FCR (feed/gain)	1.50	1.51	1.35	1.30	0.085	0.059	0.908
Grower (22~35 d)							
Weight gain (g/bird)	677 ^c	812 ^{bc}	898 ^{ab}	1,070 ^a	51.355	<.0001	0.985
Feed intake (g/bird)	1,307 ^d	1,531 ^c	1,687 ^b	1,999 ^a	25.814	<.0001	0.624
FCR (feed/gain)	1.93	1.96	1.90	1.89	0.129	0.754	0.918
Overall (0~35 d)							
Weight gain (g/bird)	1,452 ^c	1,533 ^{bc}	1,690 ^b	1,891 ^a	42.335	<.0001	0.414
Feed intake (g/bird)	2,566 ^c	2,673 ^c	2,842 ^b	3,146 ^a	30.082	<.0001	0.035
FCR (feed/gain)	1.77	1.75	1.69	1.67	0.045	0.102	0.874

¹ SEM, standard error of means.

² Orthogonal contrasts: linear and quadratic effect of supplemental yeast culture.

^{a~d} Means in same rows with different superscripts are significantly different ($P < 0.05$).

2. 혈구 조성

사육 밀도에 따른 육계의 5주차 혈액 내 백혈구, 적혈구, 혈소판 결과는 Table 3에 나타내었다. 혈구 조성은 건강 상태를 파악하는데 중요한 지표로 사용되고 있으며, 스트레스 요인을 분석하는 지표로 사용되고 있다(Tabeekh, 2016). 본 연구 결과, 백혈구 조성, 적혈구 조성, 혈소판 조성 모두 사육 밀도간의 유의적인 차이를 보이지 않았다. Tabeekh (2016)의 연구에서는 36일령의 육계를 다른 사육 밀도로 사육하였을 때 적혈구, 백혈구, 혈소판, 헤모글로빈 수치는 사육 밀도에 따른 유의적인 차이를 보이지 않았다. Petek et al.(2010)은 육계의 사육 밀도를 각각 15, 19, 23 birds/m²로 하여 사육하였으며, 혈구 분석 결과, 총 적혈구 수, 총 백혈구 수의 유의적인 차이를 보이지 않아, 본 연구 결과와 유사한 경향을 나타내었다.

H/L(Heterophil/Lymphocyte) 비율은 동물에 있어 대표적인 생리적 스트레스 지표로 사용되고 있으며, 일반적으로

동물에 외적 스트레스를 가하게 되면 혈액 내 heterophil의 수는 증가하고, lymphocyte의 수는 감소한다고 보고되고 있다(Gross and Siegel 1983). 그러나, 본 연구 결과에서는 유의적인 차이는 나타나지 않았다. Tuerkyilmaz(2008)의 연구 결과에서 H/L 비율은 사육 밀도 간 유의적인 차이를 보이지 않아, 본 연구 결과와 유사한 경향을 나타내었다. Petek et al.(2010)은 고밀도 사육은 육계의 만성 스트레스에 영향을 받지 않았다고 하였다. Simitzis et al.(2012)의 연구 결과는 고밀도 사육시 H/L 비율이 높아졌으나, 실험 종료 전 10일 동안 열스트레스로 인한 사육 밀도 간의 상호작용 결과로 사료되어진다고 보고하였다. Thaxton et al. (2006)의 연구에서는 사육 밀도를 20~55 kg/m² 로 하여 연구하였으며, 그 결과 55 kg/m² 에서만 높은 H/L 비율 함량을 보였다. 따라서 본 연구 결과와 비교 하였을 때 가장 높은 밀도를 가진 26 birds (39 kg)/m²에서 사육 밀도로 인한 H/L 비율의 변화는 없는 것으로 사료된다.

Table 3. Effect of stocking density on components of leukocyte, erythrocyte and platelets profile in broiler (d 35)

Parameters	Stock density (birds/m ²)				SEM ¹	P-values ²	
	26	22	19	16		Linear	Quadratic
Leukocytes							
WBC (K/μL)	27.90	26.81	32.38	28.77	1.474	0.252	0.263
HE (K/μL)	8.41	8.12	10.48	9.41	0.679	0.112	0.395
LY (K/μL)	14.98	14.32	16.54	14.51	0.562	0.881	0.153
H/L	0.56	0.56	0.64	0.65	0.038	0.051	0.971
MO (K/μL)	2.96	2.80	3.16	2.83	0.166	0.889	0.518
EO (K/μL)	1.17	1.17	1.57	1.48	0.177	0.113	0.628
BA (K/μL)	0.38	0.41	0.63	0.55	0.080	0.667	0.384
Erythrocyte							
RBC (K/μL)	2.42	2.45	2.61	2.52	0.087	0.295	0.390
HCT (%)	23.72	24.40	26.48	25.45	0.731	0.051	0.164
MCV (fL)	98.47	99.73	101.77	101.38	2.068	0.274	0.617
MCH (g/dL)	35.90	36.18	36.95	35.48	0.683	0.789	0.195
MCHC (g/dL)	36.47	36.28	36.33	35.08	0.467	0.053	0.301
Platelets (K/μL)	21.17	20.67	23.83	27.67	3.856	0.194	0.657

¹ SEM, standard error of means.

² Orthogonal contrasts: linear and quadratic effect of supplemental yeast culture.

WBC, white blood cells; HE, heterophils; LY, lymphocytes; H:L, heterophil:lymphocytes; Mo, monocytes; EO, eosinophils; BA, basophils; RBC, red blood cells; Hb, hemoglobin; HCT, hematocrit; MCV, mean corpuscular volume; MCH, mean corpuscular hemoglobin; MCHC, mean corpuscular hemoglobin concentration.

3. 혈청 내 생화학 조성

사육 밀도에 따른 육계의 5주차 혈청 내 생화학 분석 결과는 Table 4에 나타내었다. 본 연구 결과 총 콜레스테롤(155.18~167.89 mg/dL), 중성지질(34.43~42.68 mg/dL), 글루코스(225.09~243.09 mg/dL), 총단백질(3.55~3.88 g/dL), AST(244.50~282.37 U/L), ALT(2.16~2.44 U/L), 알부민(ALB, 1.35~1.40 g/dL), 무기성 인(IP, 6.46~6.80 mg/dL) 모든 항목에서 유의적인 차이를 보이지 않았다.

혈액 생화학 성분은 체내 외 여러 요인으로 인하여 수치가 변화하는 것으로 보고되고 있으며, 스트레스로 인하여 콜레스테롤, 중성지질, 아스파르테이트아미노전달효소(AST) 및 알라닌아미노전달효소(ALB) 수치가 영향을 미치는 것으로 보고되고 있다(Arif et al., 2019). Tong et al.(2012)의 연구에서는 사육 밀도를 저(12.5 birds/m²), 중(17.5 birds/m²), 고(22.5 birds/m²)로 나누어 실험을 진행하였으며, 그 결과 사육 밀도 간의 육계 혈청 내 총 콜레스테롤, 중성지질, 글루코스, 알부민, 인 함량에서 유의적인 차이는 나타나지 않았다. Thaxton et al. (2006)은 사육 밀도에 따른 혈청 내 글루코스함량의 차이를 나타내지 않았다. 일반적으로 육계가 스트레스를 받으면 혈액내 corticosterone이 증가하여 포도당 생성을 촉진하여 포도당 대사 변화를 가져오며(Virden and Kidd, 2009), 그 외 콜레스테롤, 미네랄 대사에도 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(Virden and Kidd, 2009). 하지만 본 연구 결과, 사육 밀도 간의 corticosterone 차이가 없어 글루코스 함량에 유의적인 차이를 보이지 않은 것으로 사료된

다. 따라서 사육 밀도가 생리적인 스트레스에 영향을 주지 않아 혈청 내 생화학 조성 변화에 영향을 미치지 않은 것으로 사료된다.

4. 혈액 내 면역 글로블린 함량

사육 밀도에 따른 육계의 혈청 내 면역 글로블린 함량 결과는 Table 5에 나타내었다. 혈액 내 면역 글로블린은 스트레스 요인(고온, 저온, 고밀도 등)으로 인하여 증가하는 것으로 알려져 있다(Honda et al., 2015). IgG는 혈청 내 면역 글로블린 중 약 80%를 차지하고 있으며, 일반적인 감염(세균, 바이러스, 독소 등)에 대하여 작용한다. IgM은 B림프구의 표면에서 주로 발견되며, 첫번째 항체 반응으로 작용한다(Ratcliffe, 2006). IgA는 세균이나 기생충, 바이러스 감염에 대한 보호 작용을 한다(Mestecky et al., 1999). 혈액 내 IgA와 IgM은 사육 밀도에 따른 유의적인 차이를 보이지 않았다. 하지만, IgG는 사육 밀도가 16 birds/m²인 처리구에서 유의적으로 낮은 함량을 나타내었으며, 곡선적인(Quadratic; $P < 0.05$) 변화를 나타내었다.

Palizdar et al.(2017)은 연구에서는 육계의 사육 밀도가 증가할수록 혈액 내 IgG가 증가하였으며, IgG 함량이 사육 밀도에 영향을 미친다고 보고하였다. Honda et al.(2015)은 스트레스로 인하여 IgG가 증가하였으며, 스트레스로 인한 방어 작용으로 IgG 함량이 증가한다고 보고하였다. 따라서 본 연구에서도 고밀도 사육으로 인한 스트레스 방어작용으로 IgG가 증가한 것으로 사료된다. 또한 사육 밀도 16 birds/m²

Table 4. Effects of stocking density on plasma biochemical profiles in broiler (d 35)

Parameters	Stock density (birds/m ²)				SEM ¹	P-values ²	
	26	22	19	16		Linear	Quadratic
T. chol (mg/dL)	164.41	167.89	161.31	155.18	5.950	0.193	0.502
TG (mg/dL)	42.68	38.60	41.33	34.43	3.239	0.123	0.672
GLU (mg/dL)	243.09	225.09	225.29	240.46	8.563	0.943	0.061
TP (g/dL)	3.85	3.64	3.88	3.55	0.165	0.338	0.663
AST (U/L)	254.41	274.46	244.50	282.37	13.929	0.342	0.464
ALT (U/L)	2.44	2.31	2.16	2.28	0.163	0.440	0.393
ALB (g/dL)	1.40	1.35	1.40	1.37	0.042	0.916	0.894
IP (mg/dL)	6.75	6.70	6.80	6.46	0.254	0.462	0.569

¹ SEM, standard error of means.

² Orthogonal contrasts: linear and quadratic effect of supplemental yeast culture.

T. chol, total cholesterol; TG, triglyceride; GLU, glucose; TP, total protein; AST, aspartate aminotransferase; ALT, alanine aminotransferase; ALB, albumin; IP, inorganic phosphorus.

로 사육 시 낮은 IgG 함량으로 동물복지 수준이 향상된 것으로 사료된다.

5. 혈청 내 Corticosterone 함량

사육 밀도에 따른 육계의 혈청 내 corticosterone 함량 결과는 Table 5에 나타내었다. 혈청 내 corticosterone 농도는 사육 밀도에 따른 유의적인 차이를 보이지 않았으나, 직선적인(Linear; $P < 0.05$) 변화를 나타내었다. 육계 사육 밀도가 높아질수록 사료 섭취 및 음수 공간의 경쟁으로 인하여 혈액 내 스트레스 호르몬이 증가한다는 연구가 있으나(Craig et al., 1986), 본 연구에서 사용된 사육 밀도에서는 영향을 주지 않은 것으로 사료된다. Buijs et al.(2009)은 육계의 사육 밀도를 6, 15, 23, 33, 35, 41, 47, 56 kg/m²로 하여 연구를 진행하였으며, 그 결과 처리구간의 corticosterone 함량 차이를 보이지 않아 본 연구 결과와 유사한 경향을 나타내었다. Lee et al.(2016)과 Thaxton et al.(2006), Tong et al.(2012)의

결과에서도 육계의 사육 밀도가 스트레스 호르몬의 수준에 큰 영향을 미치지 않았다고 보고하였다. Najafi et al. (2015)의 연구에서는 고밀도 사육시 corticosterone 함량이 증가하였으나, 사육 밀도에 대한 corticosterone 함량은 사육 시스템, 날씨, 환경에 따라 달라질 수 있다고 보고하였다. 대부분의 연구에서 높은 사육 밀도는 생리적인 스트레스 지표에 영향을 주지 않았다고 보고하였으며, 사육 환경이 사육밀도보다 육계 복지에 더 많은 영향을 미친다고 보고하였다(Houshmand et al., 2012). 따라서 적절한 환기 프로그램을 통하여 고밀도 사육시 발생하는 열, 암모니아, 이산화탄소 등을 감소시켜 적정 환경을 유지한다면 사육 밀도는 corticosterone 함량에 유의미한 차이가 없을 것으로 사료된다.

6. 계육 품질

사육 밀도에 따른 육계 가슴육 품질 결과는 Table 6에 나타내었다. 낮은 pH는 보수력 감소를 가져오며, 가열 감량이

Table 5. Effects of stocking density on serum immunoglobulins and cortisol in broiler (d 35)

Parameters	Stock density (kg/m ²)				SEM ¹	P-values ²	
	26	22	19	16		Linear	Quadratic
Immunoglobulins (µg/mL)							
IgA	11.56	13.49	11.81	11.69	0.501	0.531	0.090
IgM	0.99	0.96	0.99	0.96	0.035	0.773	0.937
IgG	9.31 ^a	9.03 ^a	8.34 ^a	5.19 ^b	0.621	0.216	0.004
Cortisol (ng/mL)							
Corticosterone	45.84	45.68	44.73	37.50	2.670	0.037	0.246

¹ SEM, standard error of means.

² Orthogonal contrasts: linear and quadratic effect of supplemental yeast culture.

^{a,b} Means in same rows with different superscripts are significantly different ($P < 0.05$).

Table 6. Effect of stocking density on pH, cooking loss, WHC and shear force of breast meat (d 35)

Parameters	Stock density (birds/m ²)				SEM ¹	P-values ²	
	26	22	19	16		Linear	Quadratic
pH	5.86	5.89	5.86	5.96	0.033	0.080	0.320
Cooking loss (%)	15.09	13.51	14.52	14.14	0.625	0.533	0.386
WHC ³ (%)	63.10	63.75	63.75	62.91	0.514	0.723	0.162
Shear force (N)	14.01 ^b	14.01 ^b	13.72 ^b	19.50 ^a	1.3132	0.009	0.032

¹ SEM, standard error of means.

² Orthogonal contrasts: linear and quadratic effect of supplemental yeast culture.

³ WHC, water holding capacity.

^{a,b} Means in same rows with different superscripts are significantly different ($P < 0.05$).

높아지면 조리 중 육즙과 함께 영양성분의 소실이 많아진다. 또한 pH는 식육의 저장 안정성 및 안전성 측면에서 매우 중요한 요소이며, 높은 pH는 미생물의 성장을 촉진하여 식육의 빠른 부패를 가지고 온다(Aberle et al., 2001). 따라서 계육의 품질은 소비자에게 매우 중요한 요소로 작용한다. 하지만, 본 연구 결과에서는 pH, 보수력, 가열 감량은 사육 밀도에 따른 유의적인 차이를 보이지 않았다.

Tong et al.(2012)의 연구에서 사육 밀도를 각각 1~28일령에는 25, 35, 45 birds/m², 29~42일령은 12.5, 17.5, 22.5 birds/m² 로 나누어 실험을 진행하였으며, 그 결과 밀도에 따른 가슴육 pH, 보수력에 유의적인 차이를 보이지 않았다.

관능적 특성 중 고기의 연도는 매우 중요한 요소로 알려져 있다(Tong et al., 2012). 고기의 연도를 나타내는 전단력은 사육 밀도가 16 birds/m²에서 유의적으로 높은 값을 나타내었으며, 직선적(Linear; $P<0.05$), 곡선적(Quadratic; $P<0.05$)인 변화를 나타내었다. Husak et al. (2008)은 자유롭게 방사되어 사육된 육계의 가슴육의 전단력 값은 일반 농장에서 사육된 육계의 가슴육보다 유의적으로 높은 전단력 값을 나타내었으며, Castellini et al.(2002)은 육계의 사육되는 밀도가 낮을수록 전단력 값이 증가하는 것을 관찰하였다. 낮은 사육 밀도에서 육계가 높은 사육 밀도보다 자유롭게 때문에 (Bokkers et al., 2011), 사육 밀도가 활동량에 영향을 미쳐 높은 전단력 값을 가진 것으로 사료되어진다.

적 요

본 연구는 육계의 사육 밀도가 사양 성적, 혈액 구성, 면역 및 계육 품질에 미치는 영향을 조사하기 위해 실시하였다. 육계(Ross 308)를 385수를 공시하여 4개의 사육 밀도(26, 22, 19, 16 birds/m²)를 두어 완전 임의 배치하여 실험하였다. 사료와 물은 자유 급이하였다. 면역 글로불린(Ig) 및 corticosterone을 평가하였으며, 증체량, 혈액 성분 및 가슴육 품질을 분석하였다. 전체 사육 기간 동안 증체량, 사료 섭취량은 사육 밀도가 증가함에 따라 유의적으로 감소하였다($P<0.05$). 그러나, 초기에는 사육 밀도가 증가할수록 사료 섭취량이 유의적으로 증가하였다($P<0.05$). 백혈구, 적혈구, 혈소판 및 혈액 생화학 조성은 사육 밀도에 따라 유의적인 차이를 보이지 않았다. 스트레스 지표(H/L 비율 및 corticosterone), IgA, IgM은 사육 밀도간의 유의적인 차이를 보이지 않았으나, IgG는 사육 밀도가 증가할수록 유의적으로 증가하였다($P<0.05$). 육계 가슴육 pH, 보수력, 가열감량은 사

육 밀도 간의 유의적인 차이를 보이지 않았으나, 전단력은 사육 밀도 16 birds/m² 처리구에서 유의적으로 높은 값을 나타내었다($P<0.05$). 결론적으로 고밀도에서 체중이 유의적으로 감소하였으며, 16 birds/m²의 사육 밀도에서는 육계의 전단력과 육계의 IgG에 유의적인 차이를 나타내었다. 따라서 고밀도 사육은 지양해야 될 것으로 판단되며, 향후 다양한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

(색인어 : 육계, 사육 밀도, 동물복지, 성장, 면역, 식육 품질)

사 사

본 논문은 농촌진흥청 연구사업(세부과제번호: PJ0143400 12020)의 지원 및 2020년 농촌진흥청 국립축산과학원 전문연구원 과정 지원사업에 의해 이루어진 것임.

ORCID

Hee-Jin Kim	https://orcid.org/0000-0002-6959-9790
Jin-Joo Jeon	https://orcid.org/0000-0001-7585-4746
Hyun-soo Kim	https://orcid.org/0000-0001-8887-1318
Jiseon Son	https://orcid.org/0000-0002-5285-8186
Kwang-Yeol Kim	https://orcid.org/0000-0002-3723-2978
Are-Sun You	https://orcid.org/0000-0001-7258-2626
Eui-Chul Hong	https://orcid.org/0000-0003-1982-2023
Bo-seok Kang	https://orcid.org/0000-0002-3438-8379
Hwan-Ku Kang	https://orcid.org/0000-0002-4286-3141

REFERENCES

- Aberle ED, Forrest JC, Gerrard DE, Mills EW 2001 Principles of Meat Science 4th. ed. Kendall/Hunt Publishing Company, Dubuque, IA, Page 354.
- Abudabos AM, Samara EM, Hussein EO, Al-Ghadi MAQ, Al-Atiyat RM 2013 Impacts of stocking density on the performance and welfare of broiler chickens. Ital J Anim Sci 12(1):e11.
- Arif M, Hayat Z, Abd El-Hack ME, Saeed M, Imran HM, Alowaimer AN, Swelum AA 2019 Impacts of supplementing broiler diets with a powder mixture of black cumin, moringa and chicory seeds. S Afr J Anim Sci 49(3):564-572.

- Astaneh IY, Chamani M, Mousavi SN, Sadeghi AA, Afshar MA. 2018 Effects of stocking density on performance and immunity in ross 308 broiler chickens. *Kafkas Univ Vet Fak Derg* 24(4):483-489.
- Azzam MMM, El-Gogary MR 2015 Effects of dietary threonine levels and stocking density on the performance, metabolic status and immunity of broiler chickens. *Asian J Anim Vet Adv* 10(5):215-225.
- Bokkers EAM, De Boer IJM, Koene P 2011 Space needs of broilers. *Anim Welf* 20(10):623-632.
- Buijs S, Keeling L, Rettenbacher S, Van Poucke E, Tuytens FAM 2009 Stocking density effects on broiler welfare: identifying sensitive ranges for different indicators. *Poult Sci* 88(8):1536-1543.
- Castellini C, Mugani C, Boso AD. 2002. Effect of organic production system on broiler carcass and meat quality. *Meat Sci* 60(3):219-225.
- Craig JV, Craig JA, Vargas JV 1986 Corticosterone and other indicators of hens' well-being in four layinghouse environments. *Poult Sci* 65:856-863.
- Dabes, A. C. 2001. Propriedades da carne fresca. *Rev Nac Carne* 25:32-40.
- Dozier IIIWA, Thaxton JP, Branton SL, Morgan GW, Miles DM, Roush WB, Lott BD, Vizzier-Thaxton Y 2005 Stocking density effects on growth performance and processing yields of heavy broilers. *Poult Sci* 84:1332-1338.
- Feddes JJ, Emmanuel EJ, Zuidhof MJ 2002 Broiler performance, body weight variance, feed and water intake, and carcass quality at different stocking densities. *Poult Sci* 81(6):774-779.
- Gomes AVS, Quinteiro-Filho WM, Ribeiro A, Ferraz-de-Paula V, Pinheiro ML, Baskeville E, Akamine AT, S.Astolfi-Ferreira C, Ferreira AJP, Palermo-Neto J 2014 Overcrowding stress decreases macrophage activity and increases *Salmonella* Enteritidis invasion in broiler chickens. *Avian Pathol* 43(1): 82-90.
- Goo D, Kim JH, Choi HS, Park GH, Han GP, Kil DY 2019 Effect of stocking density and sex on growth performance, meat quality, and intestinal barrier function in broiler chickens. *Poult Sci* 98(3):1153-1160.
- Gross WB, Siegel HS 1983 Evaluation of heterophil/lymphocyte ratio as a measure of stress in chickens. *Avian Dis* 27:972-979.
- Guardia S, Konsak B, Combes S, Levenez F, Cauquil L, Guillot JF, Moreau-Vauzelle C, Lessire M, Juin H, Gabriel I 2011 Effects of stocking density on the growth performance and digestive microbiota of broiler chickens. *Poult Sci* 90(9):1878-1889.
- Honda BTB, Calefi AS, Costola-de-Souza C, Quinteiro-Filho WM, da Silva Fonseca JG, de Paula VF, Palermo-Neto J 2015 Effects of heat stress on peripheral T and B lymphocyte profiles and IgG and IgM serum levels in broiler chickens vaccinated for Newcastle disease virus. *Poult Sci* 94(10):2375-2381.
- Houshmand M, Azhar K, Zulkifli I, Bejo MH, Kamyab A 2012 Effects of prebiotic, protein level, and stocking density on performance, immunity, and stress indicators of broilers. *Poult Sci* 91(2):393-401.
- Husak RL, Sebranek JG, Bregendahl K 2008 A survey of commercially available broilers marketed as organic, free-range, and conventional broilers for cooked meat yields, meat composition, and relative value. *Poult Sci* 87(11): 2367-2376.
- Kim HJ, Kim HJ, Jeon JJ, Oh SJ, Nam KC, Shim KS, Jung JH, Kim KS, Choi YI, Kim SH, Jang A 2018 Comparison of quality and bioactive compounds in chicken thigh meat from conventional and animal welfare farm in Korea. *Korean J Poult Sci* 45(4):261-272.
- Lee JY, Lee JH, Lee MH, Song YH, Lee JI, Ohh SJ 2016 Effect of stocking density and dietary protein level on performance, meat quality and serum corticosterone of slow-growing Korean meat-type chicken (*Hanhyop* 3). *Korean J Poult Sci* 43(4):219-228.
- Meluzzi A, Fabbri C, Folegatti E, Sirri F 2008 Effect of less intensive rearing conditions on litter characteristics, growth performance, carcass injuries and meat quality of broilers. *Br Poult Sci* 49(5):509-515.
- Mestecky J, Russell MW, Elson CO 1999 Intestinal IgA: novel views on its function in the defence of the largest mucosal surface. *Gut* 44(1):2-5.
- Najafi P, Zulkifli I, Jajuli NA, Farjam AS, Ramiah SK, Amir AA, O'Reily E, Eckersall D 2015 Environmental temperature and stocking density effects on acute phase proteins,

- heat shock protein 70, circulating corticosterone and performance in broiler chickens. *Int J Biometeorol* 59(11): 1577-1583.
- Palizdar MH, Daylami MK, Pourelmi MR 2017 Effects of high stocking density on growth performance, blood metabolites and immune response of broilers (ROSS 308). *J Livest Sci* 8:196-200.
- Petek M, Çibik R, Yıldız H, Sonat FA, Gezen SS, Orman A, Aydın C 2010 The influence of different lighting programs, stocking densities and litter amounts on the welfare and productivity traits of a commercial broiler line. *Vete Ir Zootech* 51(73):36-43.
- Quinteiro-Filho WM, Ribeiro A, Ferraz-de-Paula V, Pin-heiro ML, Sakai M, Sa LR, Ferreira AJ, Palermo-Neto J 2010 Heat stress impairs performance parameters, induces in-testinal injury, and decreases macrophage activity in broiler chickens. *Poult Sci* 89(9):1905-1914.
- Ratcliffe MJ 2006 Antibodies, immunoglobulin genes and the bursa of Fabricius in chicken B cell development. *Dev Comp Immunol* 30(1-2):101-118.
- Ravindran V, Thomas DV, Thomas DG, Morel PC 2006 Performance and welfare of broilers as affected by stocking density and zinc bacitracin supplementation. *Anim Sci J* 77(1):110-116.
- Simitzis PE, Kalogeraki E, Goliomytis M, Charismiadou MA, Triantaphyllopoulos K, Ayoutanti A, Niforou K, Hager-Theodorides AL, Deligeorgis SG 2012 Impact of stocking density on broiler growth performance, meat characteristics, behavioural components and indicators of physiological and oxidative stress. *Br Poult Sci* 53(6):721-730.
- Tabeeekh MAA 2016 An investigation on the effect of light color and stocking density on some blood parameters of broilers and layers. *Donnish J Agri Res* 3(2):8-12.
- Thaxton J, Dozier W, Branton S, Morgan G, Miles D, Roush W, Lott B, Vizzier-Thaxton Y 2006 Stocking density and physiological adaptive responses of broilers. *Poult Sci* 85(5):819-824.
- Tong HB, Lu J, Zou JM, Wang Q, Shi SR 2012 Effects of stocking density on growth performance, carcass yield, and immune status of a local chicken breed. *Poult Sci* 91(3):667-673.
- Tuerkyilmaz MK 2008 The effect of stocking density on stress reaction in broiler chickens during summer. *Turk J Vet Anim Sci* 32(1):31-36.

Received Jan. 26, 2021, Revised Feb. 09, 2021, Accepted Feb. 22, 2021