



## 육계 복지증진을 위한 행동풍부화 플랫폼 형태별 생산성, 혈액성상, 복지지표, 계육품질 및 경골특성 비교

손지선<sup>1</sup> · 김찬호<sup>2†</sup> · 이우도<sup>2</sup> · 김현수<sup>1</sup> · 김희진<sup>3</sup> · 홍의철<sup>1</sup> · 전중환<sup>4</sup>

<sup>1</sup>국립축산과학원 가금연구센터 농업연구사, <sup>2</sup>국립축산과학원 동물복지과 농업연구사,

<sup>3</sup>국립축산과학원 가금연구센터 박사후연구원, <sup>4</sup>국립축산과학원 동물복지과 농업연구관

## Effects of Enrichment Platform Types on Performance, Blood Parameters, Welfare Indices, Meat Quality and Bone Properties in Broilers

Ji Seon Son<sup>1</sup>, Chan Ho Kim<sup>2†</sup>, Woo-Do Lee<sup>2</sup>, Hyunsoo Kim<sup>1</sup>, Hee-Jin Kim<sup>3</sup>, Eui-Chul Hong<sup>1</sup> and Jung Hwan Jeon<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Researcher, Poultry Research Center, National Institute of Animal Science, Pyeongchang 25343, Republic of Korea

<sup>2</sup>Researcher, Animal Welfare Division, National Institute of Animal Science, Wanju 55365, Republic of Korea

<sup>3</sup>Post-Doctor Researcher, Poultry Research Center, National Institute of Animal Science, Pyeongchang 25343, Republic of Korea

<sup>4</sup>Senior Researcher, Animal Welfare Division, National Institute of Animal Science, Wanju 55365, Republic of Korea

**ABSTRACT** This study investigated the effects of different environmental enrichment platforms on the productivity, blood profiles, meat quality, welfare indicators, and tibial traits of broilers. A total of 500 one-day-old male Ross 308 broilers were randomly assigned to four treatments: control (wooden perch) and three platform types (elevated, EP; stepped, SP; and ramp, RP), with five replicates of 25 birds each. The test was conducted for a total of 35 days. Environmental enrichments did not significantly affect productivity ( $P>0.05$ ). In serum biochemistry, the RP group showed higher levels of total protein and albumin ( $P<0.05$ ), while corticosterone did not differ among treatments. Footpad dermatitis scores were highest in the control and decreased in the order of RP, SP, and EP ( $P<0.05$ ). For meat quality, breast meat pH and water-holding capacity were highest in the RP group ( $P<0.05$ ). Tibia mineral content, density, and length showed no differences among treatments, but leg muscle mass was higher in the RP group ( $P<0.05$ ). In conclusion, providing environmental enrichment did not negatively affect the productivity of broilers. Elevated and stepped platforms improved welfare by providing horizontal resting areas that increased space utilization and alleviated footpad dermatitis. The ramp platform enhanced accessibility and stimulated activity, leading to greater leg muscle development, although the increased pressure from slope usage may have negatively influenced footpad health. However, further research is needed to determine appropriate enrichment designs that maintain production while considering the physical characteristics and usability of broilers.

(Key words: environmental enrichment, platform, welfare, broiler)

## 서 론

육계는 성장률과 사료효율을 극대화하는 방향으로 개량되어 생산성이 비약적으로 향상되었다(Zuidhof et al., 2014). 그러나 육계의 빠른 성장속도는 미성숙한 다리 골격 및 관절 간의 불균형을 초래하여 운동장애, 통증 등을 야기하여 복지 수준을 저하시키고 결과적으로 생산성에도 부정적인 영향을 미치는 것으로 보고되었다(Kaukonen et al., 2017; Pedersen

et al., 2019). 육계는 일령이 증가함에 따라 가슴 근육의 비대로 인해 무게중심이 앞쪽으로 이동하게 되며, 이로 인해 앉아있거나 누워있는 시간이 늘어나고, 활동에 필요한 에너지가 감소하는 경향이 있다(Weeks et al., 2000). 건강한 육계는 하루 중 평균 76%의 시간을 휴식에 사용하는 반면, 보행 이상을 가진 육계는 86% 이상으로 휴식시간이 증가한다고 보고되었다(Weeks et al., 2000). 육계의 활동성 부족은 뼈 발달을 저해할 수 있으며(Reiter and Bessei, 2009), 품질이 저

<sup>†</sup> To whom correspondence should be addressed : kch8059@korea.kr

하된 바닥 깔짚과 과도하게 접촉하게 되어 피부 병변 등을 야기해 복지에 부정적 영향을 미칠 수 있다(Hester, 1994; Weeks et al., 2000). 최근 연구에서 육계 사육환경에 햇대, 플랫폼, 건초 더미 등 행동풍부화물질(enrichment)을 제공하는 것이 육계의 자연스러운 활동을 자극하여 다리건강과 복지 증진에 기여할 수 있다고 보고된다(Reiter and Bessei, 2009; Buijs et al., 2012; Ventura et al., 2012; Pedersen et al., 2019). 또한, 햇대나 플랫폼을 이용하여 깔짚에 접촉하는 시간을 줄이면 발바닥피부염, 무릎지루 등의 발생을 감소시키는 데 도움이 될 수 있다고 보고된다(Ventura et al., 2010). 하지만, 육계의 신체적 형태와 골격계 특징으로 인해 도약할 수 있는 근력이 부족하고 햇대에 올랐을 때 균형 잡기가 어렵기 때문에 산란계보다 훨씬 이용률이 낮은 것으로 보고된다(Paxton et al., 2013; River et al., 2018). 따라서 빠르게 체중이 증가하는 육계의 신체적 한계를 고려하여 쉽게 접근하고 이용할 수 있는 풍부화물 형태에 대한 연구들이 보고되고 있다(Kaukonen et al., 2017; Lopez et al., 2022). 육계의 체중이 증가하면서 햇대에 뛰어오르는 것보다 바닥에서 위로 이어지는 경사로에 쉽게 접근할 수 있어 선호도가 높았다고 보고했다(Kaukonen et al., 2017; de Jong et al., 2021). 또한, 높이가 다른 여러 플랫폼을 제공했을 때, 체중이 증가함에 따라 높은 위치보다는 낮은 위치의 플랫폼을 선호하는 경향이 나타났다(Malchow et al., 2019a). 국내 육계 동물복지 인증기준에는 햇대에 대해 4cm 굽기의 모서리가 둥글게 처리된 모양을 권장하는 기준을 제시하고 있다. 하지만, 플랫폼에 대한 명확한 기준은 없으나, 쉽게 접근 가능하고 닭에게 상처를 입히지 않는 형태라고 규정하고 있다. 따라서 본 연구는 육계의 행동 및 신체적 특성을 고려하여 선행연구(Kaukonen et al., 2017; Malchow et al., 2019a; de Jong et al., 2021; Lopez et al., 2022)를 참고하여 플랫폼을 여러 형태로 제공하였으며, 육계의 생산성, 혈액성상, 계육품질 및 복지지표에

미치는 영향을 평가하고자 수행하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 실험 설계 및 사양관리

공시동물은 1일령 수컷 Ross 308 초생추( $42.1\pm0.19$  g) 총 500수를 공시하였으며, 총 35일간 실험을 실시하였다. 암수 감별은 부화 직후 숙련된 전문 감별사에 의해 깃털 감별법(feather-sexing)으로 실시되었다. 처리구는 총 4처리로 대조구(Control)로 나무 햇대와 플랫폼 종류 3종(일자형, elevated platform, EP; 계단형, stepped platform, SP; 경사로형, ramp platform, RP)으로 설계하였으며, 처리당 5반복, 반복당 25수씩 완전 임의 배치하였다. 나무 햇대는 동물복지 인증기준에서 제시하는 4 cm 폭의 모서리가 둥근 정사각형 형태의 120 cm 길이로 제공하였다. 플랫폼 처리구는 플라스틱 그리드 슬랫(mash size = 15 mm × 18 mm)을 이용하였으며, 처리별 형태는 다르나 바닥면적은 동일하게 하여 제공하였다. 일자형 플랫폼(EP)은 1개의 부분(120 cm × 40 cm)으로 구성되었다. 나무 햇대와 일자형 플랫폼은 초기에 바닥 기준 높이 5 cm로 설정되었으며, 이후 주차별로 5 cm씩 상향 조정하여 최종 높이는 30 cm로 설정하였다. 계단형 플랫폼(SP)은 총 3개의 부분(40 cm × 40 cm)으로 구성되었으며, 각 부분은 바닥에서 초기에 5 cm, 10 cm, 15 cm 높이에 설정하였으며, 주차별 5 cm씩 상향 조정하여 최종 20 cm, 25 cm, 30 cm로 제공하였다. 경사로형 플랫폼(RP)은 경사로 상단(40 cm × 40 cm)과 바닥으로 이어지는 경사로(85 cm × 40 cm)의 2개 부분으로 구성되었으며, 상단의 높이는 30 cm, 경사로와 바닥 사이의 각도는 약 20.6°로 설정하여 제공하였다(Fig. 1). 나무 햇대와 플랫폼은 급수기와 급이기 사이에 배치하였으며, 일령이 경과함에 따라 활동이 줄어드는 육계의 운동성을 자극하고 환경풍부화물의 최대한 이용하



**Fig. 1.** The four different types of environmental enrichment structures provided in this study. (A) Control wooden perch, (B) elevated platform, (C) stepped platform, and (D) ramp platform.

도록 유도하였다. 이러한 배치는 사료와 물 사이에 헛대를 설치하여 운동을 자극했다는 선행 연구를 참고하였다 (Bizeray et al., 2002; Reiter and Bessei, 2009; Ventura et al., 2010; de Jong et al., 2021).

모든 처리구는 크기가 동일한 pen(1.4 m × 1.5 m = 2.1 m<sup>2</sup>)에 수용하였으며, pen당 사육수는 체중 1.6 kg으로 계산하여(사육밀도 = 18.2 수/m<sup>2</sup>) 동물복지 육계농장 인증기준과 급이급수면적을 고려하여 사육밀도가 30 kg/m<sup>2</sup>를 초과하지 않도록 설정하였다. 시험기간 동안 상업용 배합사료를 사용하였으며, 사료와 물은 자유급이하였다. 깔짚 재료로 왕겨를 사용하여 바닥 기준 5 cm 깊이로 설정하였으며, 사육 기간 동안 깔짚은 보충하지 않았다. 계사 내 온도는 1일령에 33±1°C로 설정하였으며, 이후 매주 2~3°C씩 낮춰 시험종료 시까지 22±1°C로 유지하였다. 점등프로그램은 입식 후 3일간 23L:1D로 설정하였고, 이후에는 동물복지 인증 기준에 따라 18L:6D로 설정하였다. 본 시험은 농촌진흥청 국립축산과학원 실험동물윤리위원회의 규정에 따라 동물실험을 수행하였다(승인 번호: NIAS-2021-534).

## 2. 조사항목

### 1) 생산성

육계 생산성 분석을 위해 체중, 증체량, 사료섭취량 및 사료요구율을 1, 3, 5주차에 측정하였다. 체중은 전수 체중을 측정하여 증체량을 산출하였으며, 사료섭취량은 pen당 사료 잔량을 조사하여 계산하였다. 사료요구율은 계산된 증체량에 대한 사료섭취량의 비율로 산출하였다.

### 2) 시료채취

시험 종료일에 pen당 2수씩, 처리당 총 10수에 대하여 각 처리구의 평균체중에 유사한 개체를 선별하여 혈액, 가슴육 및 다리육을 채취하였다. 혈액은 익하정맥에서 5 mL 채취하여 EDTA가 처리된 tube와 serum separator tube(SST tube, BD Biosciences, Franklin Lakes, NJ, USA)에 각각 나눠 담았다. SST tube에 채취한 혈액은 3,000 rpm, 4°C, 20분 원심 분리(VS-6000 CFN, Vison Scientific Co., Bucheon, Korea) 후 혈청을 분리하여 분석 전까지 -80°C에 보관하였다. 가슴육은 4°C에 보관하여 도축 24시간 후 분석에 사용하였으며, 다리육은 분석 전까지 -80°C에 보관하였다.

### 3) 혈액성상 및 스트레스호르몬

혈구 분석은 EDTA가 처리된 튜브에 담긴 혈액을 이용하

여 채취 후 24시간 이내에 자동 혈구 분석기(HEMAVET® HV950FS, Drew Scientific, Inc., FL, USA)로 분석하였다. 혈액 내 생화학 성분은 혈청을 이용하여 자동 혈액 생화학 분석기(AU480 Chemistry Analyzer, Beckman Coulter Inc., CA, USA)를 사용해 분석하였다. 혈청 내 스트레스호르몬은 corticosterone ELSIA kit(ADI-900-097, Enzo Life Sciences, Inc., Farmingdale, NY, USA)를 이용하여 매뉴얼에 따라 분석하였다.

### 4) 복지지표

35일령에 육계 발바닥 피부염(footpad dermatitis), 무릎지루(hock burn), 깃털청결도(plumage cleanliness)는 Welfare Quality(2009)의 방법을 이용하여 pen당 5수씩, 처리당 총 25수를 측정하였다. 발바닥 피부염 및 무릎지루의 상태에 따라 0점은 상처나 피부염 없음, 1점은 검은색 괴사성 염증의 크기가 발바닥의 10% 미만, 2점은 검은색 괴사성 염증의 크기가 25% 이하, 3점은 검은색 괴사성 염증 크기가 발바닥의 50% 이하, 4점은 검은색 괴사성 염증의 크기가 50% 초과한 상태로 평가하였다. 깃털청결도는 가슴 및 배 부분을 기준으로 0점은 완전히 깨끗한 상태, 1점은 거의 깨끗하지만 미세한 오염이 있는 상태, 2점은 중심 부위에 눈에 띠는 오염이 있는 상태, 3점은 배 부분을 포함하여 날개까지 넓게 오염된 상태로 평가하였다. 깔짚 품질을 측정하기 위해 시험종료 시점에 각 pen의 5곳에서 무작위로 채집한 후, 혼합하여 분석에 사용하였다. 깔짚 내 수분함량은 각 pen당 깔짚 50 g씩 2반복, 처리당 총 10개의 샘플을 사용하여 드라이 오븐에서 105°C로 24시간 동안 건조시켜 수분함량을 분석하였다. 수분함량은 총 무게에서 건조 전후의 무게 차이를 백분율로 산출하였다. 깔짚 pH를 측정하기 위해 깔짚 3 g에 중류수 27 mL을 첨가한 후, 1분간 균질화하여 실온에 30분간 방치한 뒤 pH meter(OHAUS ST 2100, Parsippany, NJ, USA)를 사용하여 측정하였다.

### 5) 계육품질

계육 pH측정은 가슴육과 중류수를 1:9로 혼합하여 균질화한 후, pH meter(OHAUS ST 2100, Parsippany, NJ, USA)를 이용하여 측정하였다. 육색은 Colorimeter(CR-300, Minolta Co., Osaka, Japan)를 이용하여 명도(L\*), 적색도(a\*), 황색도(b\*)를 CIE(Commission International de l'Eclairage) 색으로 측정하였다. 이때 사용한 표준판은 은 Y = 93.60, x = 0.3134, y = 0.3194의 백색 타일을 사용하였다. 보수력은 가슴육 0.5 g을 8°C의 항온수조(VS - 310SWR, Vision Scientific Co. Ltd., Dae-

jeon, Korea)에서 20분간 가열하였다. 이후 실온에서 냉각하였으며, 원심분리( $2,000 \times g$ ,  $4^{\circ}\text{C}$ , 10분)한 뒤 시료의 무게를 측정하였다. 가열감량은 시료를 polyethylene bag에 넣고 심부온도가  $75^{\circ}\text{C}$ 에 도달 시까지 가열 후 실온에서 냉각하였다. 최종적으로 무게를 측정하여 가열 전과 후의 중량 차이를 백분율로 산출하였다. 전단력은 V blade를 이용하여 전단력 측정기 (Warner-Bratzler shear force meter(Lloyd Instruments, Berwyn, IL, USA)로 측정하였다.

### 6) 경골특성

육계 다리육 체성분과 경골특성을 분석하기 위해 한 객체의 좌우 경골을 이용하였으며, 분석 전  $4^{\circ}\text{C}$ 에서 하룻밤 동안 해동하였다. Dual energy X-ray absorptiometry InAlyzer(DEXA; Medikors, Korea)를 이용하여 측정하였다. 모든 시료는 동일한 스캔 파라미터( $55 \text{ kVp}/1.25 \text{ mA} \sim 80 \text{ kVp}/1.0 \text{ mA}$ )를 사용하였으며, 동일한 위치에서 스캔 후 디지털 영상 분석 프로그램 (InAlyzer1.0, Korea)을 이용하여 획득한 영상을 분석하였다.

### 3. 통계처리

본 연구에서 수집된 모든 자료들의 통계분석은 SAS 9.4(SAS Institute, Cary, NC, USA)를 이용하여 ANOVA 분산분석을 실시하였다. 생산성은 각 pen을 실험 단위로 사용하였으며, 혈액특성, 계육품질, 복지지표 및 경골특성은 각각의 선별 개체를 단위로 사용하였다. 처리구간의 유의미한 차이는 Tukey's test를 이용하여 유의수준  $P < 0.05$ 에서 검정하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. 생산성

육계 행동풍부화물질 형태에 따른 생산성 결과는 Table 1에 나타내었다. 햅대와 플랫폼 형태에 따른 처리 간 생산성은 유의적 차이가 나타나지 않았다( $P > 0.05$ ). Vasdal et al. (2019) 연구에서 햅대, 모래목욕, 플랫폼 등 다양한 풍부화물의 제공이 육계의 성장능력에 영향을 미치지 않았으며, 건초더미, 계단형 플랫폼, 레이저 빛의 제공이 생산성에 유의적 영향을 미치지 않았다고 보고하였다(Lourenco et al., 2021). 또한, 플랫폼 제공이 체중에 차이를 보이지 않았으며 (Malchow et al., 2019a), 곡물블록을 제공한 연구에서도 육계의 생산성에 영향을 미치지 않았다(Kim et al., 2025). 이러한 선행 연구 결과들은 햅대나 플랫폼이 육계의 성장능력에 영향을 미치지 않은 본 연구 결과와 일치한다. 반면, de

**Table 1.** Effects of enrichment design on production parameters in broilers

Items	Treatments <sup>1</sup>				SEM <sup>2</sup>	<i>P</i> -value
	CON	EP	SP	RP		
Initial BW, g	42.1	42.0	42.1	42.1	0.040	0.994
Final BW, g	1,754.1	1,737.3	1,718.4	1,720.5	15.478	0.856
BW gain, g	1,712.0	1,695.3	1,676.3	1,678.4	15.490	0.856
FI, g	2,175.2	2,127.6	2,154.6	2,148.8	14.181	0.732
FCR	1.27	1.26	1.29	1.28	0.009	0.698

BW, body weight; FI, feed intake; FCR, feed conversion ratio.

<sup>1</sup> CON, wood perch; EP, elevated platform; SP, stepped platform; RP, ramp platform.

<sup>2</sup> SEM, standard error of means.

Jong et al.(2021) 연구에서 햅대, 플랫폼, 먼지목욕, 곤충 등 여러 행동풍부화물의 조합은 육계의 종료체중, 증체량, 섭취량에 부정적 영향을 영향을 미쳤다고 보고하여 상반된 결과를 나타냈다. 그리고 건초와 플랫폼의 제공은 육계의 활동성 증가로 체내 근육량이 증가하여 체중 증가에 긍정적 효과를 보였다고 보고하였으나(Mocz et al., 2022), 건초와 햅대 제공은 육계의 체중을 증가시켰음에도 사료효율은 감소했다고 보고하였다(Ohara et al., 2015). 행동풍부화물질의 종류, 형태, 조합에 따라 일관되지 않은 생산성 결과가 보고되어 육계의 복지를 증진하면서 생산성을 저하시키지 않고 현장에 적용할 수 있는 형태 및 조합에 대한 지속적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

### 2. 혈구 및 혈액 생화학 특성

육계 행동풍부화물질 형태에 따른 혈구특성 결과는 Table 2에 제시하였다. 햅대와 플랫폼의 제공은 혈구 성분에 대부분 영향을 미치지 않았으나, PLT 수준은 경사로형 플랫폼 처리에서 가장 낮게 나타났으며, 계단형 플랫폼 처리에서 높게 나타났다( $P < 0.05$ ). 혈액 내 혈구성분은 영양, 환경, 스트레스 등 다양한 요인에 의해 영향을 받는 형질로 알려져 있으며(Cotter, 2015), 햅대, 거울, 공 등 여러 행동풍부화물질을 제공하는 것은 대조구 대비 WBC 수준이 낮게 나타났으며, HCT 및 PLT 수준은 공을 제공한 처리에서만 낮게 나타났다(Yildirim et al., 2017). 또한, 칠면조에서 행동풍부화물질로 나무를 제공한 처리가 대조구 대비 PLT 수치가 낮게 나타나 스트레스 감소나 순환 면역 세포 등에 의한 효과일 수 있다고 보고하였다(Lindenwald et al., 2021).

**Table 2.** Effects of enrichment design on blood hematology in broilers

Items	Treatments <sup>1</sup>				SEM <sup>2</sup>	P-value
	CON	EP	SP	RP		
WBC, K/ $\mu$ L	18.2	17.1	18.2	18.5	0.537	0.800
HE, K/ $\mu$ L	4.75	4.41	4.80	5.05	0.195	0.726
LY, K/ $\mu$ L	10.8	10.2	10.7	10.8	0.252	0.804
H/L ratio	0.44	0.43	0.44	0.46	0.009	0.655
MO, K/ $\mu$ L	1.88	1.81	1.88	1.92	0.058	0.924
EO, K/ $\mu$ L	0.58	0.52	0.58	0.60	0.031	0.838
BA, K/ $\mu$ L	0.17	0.15	0.18	0.17	0.011	0.804
RBC, K/ $\mu$ L	2.36	2.33	2.37	2.45	0.030	0.586
Hb, g/dL	7.97	8.18	8.20	8.20	0.111	0.867
HCT, %	23.6	24.0	24.1	24.7	0.276	0.586
MCV, fL	100.2	103.0	101.5	101.2	0.872	0.721
MCHC, g/dL	33.9	35.1	34.5	33.6	0.316	0.340
PLT, g/dL	24.5 <sup>ab</sup>	26.9 <sup>ab</sup>	27.8 <sup>a</sup>	16.4 <sup>b</sup>	1.553	0.032

WBC, white blood cell count; HE, hematocrit; LY, lymphocytes; H/L ratio, hematocrit/lymphocytes; MO, monocytes; EO, eosinophils; BA, basophils; RBC, red blood cell count; Hb, hemoglobin; HCT, hematocrit; MCV, mean corpuscular volume; MCHC, mean corpuscular hemoglobin concentration; PLT, platelets.

<sup>1</sup> CON, wood perch; EP, elevated platform; SP, stepped platform; RP, ramp platform.

<sup>2</sup> SEM, standard error of means.

<sup>a,b</sup> Means in same rows with different superscripts are significantly different ( $P<0.05$ ).

육계의 행동풍부화물질 형태에 따른 혈액 생화학 특성 결과는 Table 3에 나타내었다. Total protein과 albumin 수준은 경사로형 플랫폼 처리에서 높게 나타났으며, 일자형 플랫폼 처리에서 가장 낮게 나타났다( $P<0.01$ ). 또한, IP는 경사로형 플랫폼에서 가장 높은 수치를 보였으나( $P<0.01$ ), 스트레스 호르몬인 corticosterone은 처리간 차이를 보이지 않았다( $P>0.05$ ). 혈액 내 albumin은 영양상태, 근육량 등과 관련이 근육량과 양의 상관관계가 있다는 연구가 보고되고 있다(van Atteveld et al., 2019; Chen et al., 2022). 행동풍부화물질의 제공은 일령이 증가함에 따라 급격한 성장으로 운동성이 감소하는 육계의 활동을 자극하여 건강한 골격 발달에 도움을 줄 수 있으며(Vasdal et al., 2019; Lourenco da Silva et al., 2023), 운동능력 향상은 체내 미네랄 및 단백질 침착을 높인다고 보고된다(Sakomura et al., 2005; Henn et al.,

**Table 3.** Effects of enrichment design on serum biochemical composition and corticosterone in broilers

Items	Treatments <sup>1</sup>				SEM <sup>2</sup>	P-value
	CON	EP	SP	RP		
Total cholesterol, mg/dL	120.9	120.3	121.9	127.2	2.395	0.742
Triglyceride, mg/dL	83.8	76.0	89.8	96.2	3.702	0.259
Glucose, mg/dL	150.8	155.5	157.6	151.4	5.191	0.964
Total protein, g/dL	3.28 <sup>ab</sup>	3.10 <sup>b</sup>	3.59 <sup>a</sup>	3.55 <sup>a</sup>	0.059	0.006
Albumin, g/dL	1.32 <sup>bc</sup>	1.27 <sup>c</sup>	1.42 <sup>ab</sup>	1.45 <sup>a</sup>	0.019	0.001
AST, U/L	251.0	262.8	257.4	253.8	3.719	0.723
ALT, U/L	1.29	1.45	1.48	1.51	0.049	0.394
Creatinine, mg/dL	0.21	0.21	0.23	0.22	0.003	0.125
Ca, mg/dL	11.14	11.06	11.08	11.11	0.077	0.988
IP, mg/dL	8.91 <sup>b</sup>	8.23 <sup>b</sup>	8.88 <sup>b</sup>	10.22 <sup>a</sup>	0.167	<.0001
LDH, mg/dL	1937.5	1888.7	1947.4	2047.1	73.195	0.900
Corticosterone, pg/mL	283.96	202.57	234.23	291.74	26.117	0.597

AST, aspartate aminotransferase; ALT, alanine aminotransferase; Ca, calcium; IP, inorganic phosphorus; LDH, lactate dehydrogenase.

<sup>1</sup> CON, wood perch; EP, elevated platform; SP, stepped platform; RP, ramp platform.

<sup>2</sup> SEM, standard error of means.

<sup>a-c</sup> Means in same rows with different superscripts are significantly different ( $P<0.05$ ).

2014). 본 연구에서 경사로형 플랫폼 처리구의 혈청 내 단백질 및 인 관련 인자가 증가한 것은 육계의 활동성을 증가시켜 근육 및 영양대사에 긍정적 영향을 미쳤을 것으로 사료된다.

### 3. 복지지표

육계 행동풍부화물질 형태에 따른 복지지표 및 깔짚 품질 결과는 Table 4에 나타내었다. 발바닥 피부염 접수는 대조구에서 가장 높게 나타났으며, 경사로형, 계단형, 일자형 플랫폼 처리순으로 낮게 나타났다( $P<0.05$ ). 발바닥피부염은 육계의 생산성 및 경제성과 관련된 주요 복지 지표이며(Wu and Hocking, 2011; Toppel et al., 2019), 깔짚 품질 저하 시 가장 먼저 나타나는 임상적 지표로 보고된다(Dawkins et al., 2017). 햇대나 플랫폼 등 풍부화물 제공은 바닥 공간의 가용성을 높이고 육계의 깔짚 접촉 시간을 줄여 발바닥 피부염 발생을 줄일 수 있다고 보고된다(Bizeray et al., 2002; Ven-

**Table 4.** Effects of enrichment design on welfare parameters in broilers

Items	Treatments <sup>1</sup>				SEM <sup>2</sup>	P-value
	CON	EP	SP	RP		
Footpad dermatitis score	2.40 <sup>a</sup>	1.80 <sup>b</sup>	1.84 <sup>b</sup>	2.24 <sup>ab</sup>	0.073	0.006
Hock burn score	1.62	1.08	1.46	1.48	0.081	0.103
Feather cleanliness score	1.64	1.26	1.38	1.44	0.068	0.256
Litter quality						
Moisture, %	60.6	61.2	61.1	62.4	0.518	0.671
pH	7.80	7.68	7.76	7.65	0.043	0.123

<sup>1</sup> CON, wood perch; EP, elevated platform; SP, stepped platform; RP, ramp platform.

<sup>2</sup> SEM, standard error of means.

<sup>a-c</sup> Means in same rows with different superscripts are significantly different ( $P<0.05$ ).

tura et al., 2010). 본 연구에서 햇대보다 플랫폼을 제공했을 때 발바닥 피부염 점수가 전반적으로 낮은 경향을 보인 것은 플랫폼 이용에 따라 직접적인 깔짚 접촉이 감소했을 것으로 판단된다. 육계는 체중 대비 다리 골격이 약해 햇대의 이용률이 낮다고 보고하였으며(Riber et al., 2018), 플랫폼 형태는 체중 증가에 따른 균형 유지나 이동의 부담이 적다고 보고된다(Malchow et al., 2019b; de Jong et al., 2021). 경사로형은 닭이 쉽게 접근할 수 있는 형태이지만, 체중이 증가할수록 경사면을 오르내리는 데 더 많은 균형과 힘이 필요하며 경사면에서 걷거나 쉬는 데 어려움을 겪을 수 있어 발과 다리에 더 많은 부담을 줄 수 있다(Bailie et al., 2018; Malchow et al., 2019a). 한편, 접촉성 피부염은 깔짚 수분함량이 30% 이상일 때 발생하기 쉬우며(Wu and Hocking, 2002), 높은 깔짚 pH는 암모니아 생성 박테리아의 성장을 촉진해 피부 자극을 유발할 수 있다(Meluzzi et al., 2008). 그러나 본 연구에서 행동풍부화물질의 형태에 따른 깔짚의 수분함량과 pH수준은 처리구 간 유의적 차이가 나타나지 않았다( $P>0.05$ ). 일부 연구에서 건초더미, 햇대, 플랫폼, 먼지목욕 등 다양한 풍부화물질 제공이 깔짚 수분함량에 영향을 미치지 않았으며(Mocz et al., 2022), 발바닥피부염이나 보행능력에도 영향을 주지 않았다고 보고하였다(de Jong et al., 2021). 또한, 발바닥 피부염 발생이 깔짚의 수분, pH 등 물리학적 특성과 낮은 상관관계를 보였으며(Boussaada et al., 2022), 일령 및 체중 증가가 다리 근육에 높은 압력을 유발하여 발바닥과 깔짚 간 접촉 강도를 높이는 요인으로 작용한다는 보고도 있다(Škrbić et al., 2014). 본 연구 결과에서

처리 간 깔짚 품질의 차이가 관찰되지 않았으나, 체중 증가에 따른 플랫폼의 형태별로 발바닥에 작용하는 하중이 달라졌을 것으로 보이며, 경사로형 플랫폼에서 발바닥에 더 큰 부담이 가해졌을 것으로 판단된다. 향후 연구에서는 플랫폼 형태별 이용률, 체중 증가에 따른 하중 변화 등을 고려한 평가가 필요할 것으로 판단된다.

#### 4. 계육품질

육계 행동풍부화물질 형태에 따른 계육품질의 결과는 Table 5에 제시하였다. 가슴육 pH는 경사로형 플랫폼 처리에서 가장 높게 나타났으며, 대조구에서 가장 낮게 나타났다( $P<0.05$ ). 또한, 보수력은 경사로형 플랫폼 처리에서 높았으며, 대조구와 계단형 플랫폼 처리에서 낮게 나타났다( $P<0.05$ ). 전단력, 가열감량 및 육색은 처리구 간 유사하게 나타났다. 계육의 pH는 육색, 수분함량, 조리손실 등에 영향을 미치는 중요 특성으로 보고되며(Yuan et al., 2022), 고기의 수분함량은 근육이 육질로 전환될 때 발생하는 생화학적 변화와 관련된다(Bowker et al., 2015). 닭이 스트레스에 노출될 경우 pH가 급격하게 감소하고 근육 단백질의 전하 변화로 수분 손실이 증가하여 PSE(pale, soft, extention)육이 되기 쉽다고 보고된다(van Laack et al., 2000). 한편, 계육 내 pH의 증가는 수분 손실을 줄여 PSE육 발생 위험을 낮춘다고 보고하였다(Petracchi et al., 2009). Khalfi et al.(2024)의 연

**Table 5.** Effects of enrichment design on breast meat quality in broilers

Items	Treatments <sup>1</sup>				SEM <sup>2</sup>	P-value
	CON	EP	SP	RP		
pH	5.70 <sup>c</sup>	5.82 <sup>ab</sup>	5.73 <sup>bc</sup>	5.88 <sup>a</sup>	0.017	<.0001
Water holding capacity, %	48.9 <sup>c</sup>	56.6 <sup>b</sup>	50.1 <sup>c</sup>	64.6 <sup>a</sup>	1.210	<.0001
Shear force, N	27.2	29.8	28.1	28.1	0.382	0.093
Cooking loss, %	30.3	29.6	27.4	33.1	0.923	0.181
Meat color						
L*	58.3	57.7	57.9	59.6	0.461	0.500
a*	2.25	3.04	2.79	2.55	0.142	0.245
b*	4.95	6.52	5.12	5.88	0.304	0.236

<sup>1</sup> CON, wood perch; EP, elevated platform; SP, stepped platform; RP, ramp platform.

<sup>2</sup> SEM, standard error of means.

<sup>a-c</sup> Means in same rows with different superscripts are significantly different ( $P<0.05$ ).

구에서 플랫폼 제공이 사육 환경을 개선하여 스트레스를 줄이고 근육 내 젖산 합성을 억제해 계육의 pH가 높아졌다고 보고하였다. 본 연구에서 경사로형 플랫폼에서 pH와 보수력이 향상된 것은 활동성 증진으로 인한 영향일 것으로 사료된다. 하지만, Karaarslan et al.(2023) 연구와 같이 햇대 제공이 계육의 pH에 영향을 미치지 않았다는 상반된 결과도 보고되었다. 또한, 방목지 제공은 관행사육보다 육계의 활동성 증가를 통해 가슴육 및 다리육의 전단력을 증가시켰다고 보고하였다(Castellini et al., 2002). 또한, 햇대 제공이 육계의 활동성을 높여 근육에 미오글로빈 저장을 증가시켜 육색의  $a^*$  값이 증가했다고 보고하였다(Aksit et al., 2017). 하지만, 여러 연구에서 플랫폼의 제공이 계육 품질에 미치는 영향이 적었다고 보고하였으며(Kiyama et al., 2016; Fidan et al., 2020; Karaarslan et al., 2023; Khalfi et al., 2024), 본 연구에서도 행동풍부화물질의 형태가 계육 품질에 부정적 영향을 미치지 않는 것으로 사료된다.

## 5. 경골특성

육계 행동풍부화물질 형태에 따른 경골 특성을 분석한 결과는 Table 6에 나타내었다. 골무기질, 골밀도 및 경골길이는 처리에 따른 차이를 보이지 않았으나( $P>0.05$ ), 다리 근육량은 경사로형 플랫폼 처리에서 높게 나타났으며 대조구에서 낮게 나타났다( $P<0.05$ ). 육계의 빠른 성장으로 인한 근육과 골격의 불균형은 활동성 저하를 유발하며, 다리 건강 및 보행능력 저하로 이어진다(Bradshaw et al., 2002). 이에 따라 사육환경 및 행동풍부화물질 등을 통해 육계의 활동성을 유

**Table 6.** Effects of enrichment design on tibia characteristics in broilers

Items	Treatments <sup>1</sup>				SEM <sup>2</sup>	<i>P</i> -value
	CON	EP	SP	RP		
BMC, g	2.47	2.40	2.34	2.43	0.023	0.327
BMD, g/cm <sup>2</sup>	0.239	0.236	0.227	0.235	0.051	0.193
Tibia length, μm	87.52	87.29	86.72	88.79	0.393	0.614
Tibia muscle mass, %	78.59 <sup>b</sup>	79.33 <sup>ab</sup>	79.36 <sup>ab</sup>	79.70 <sup>a</sup>	0.134	0.019

BMC, bone mineral content; BMD, bone density.

<sup>1</sup> CON, wood perch; EP, elevated platform; SP, stepped platform; RP, ramp platform.

<sup>2</sup> SEM, standard error of means.

<sup>a,b</sup> Means in same rows with different superscripts are significantly different ( $P<0.05$ ).

도하는 여러 연구들이 보고되고 있다(Castellini et al., 2002; Reiter and Bessei, 2009; Ohara et al., 2015; Kaukonen et al., 2017). 높은 사육밀도 환경은 육계의 경골 강도 및 길이를 감소시켜 경골 발달에 부정적 영향을 미칠 수 있으며(Buijs et al., 2012), 굽이 및 굽수기 간격을 늘리면 육계의 활동성이 증가해 경골 골밀도 및 두께를 향상시키고 다리 장애로 인한 폐사율이 감소했다고 보고하였다(Reiter and Bessei, 2009). 또한, 방목지 제공은 관행 사육 대비 육계의 복부지방율을 감소시키고, 가슴 및 다리 근육의 비율을 증가시켰다(Castellini et al., 2002). 플랫폼, 햇대 등의 풍부화는 걷기, 날개짓, 도약 등 다양한 행동을 유도하여 근육 발달과 보행능력의 향상에 도움을 줄 수 있다(Sandusky and Heath, 1988; Paxton et al., 2013). 본 연구에서 경사로형 플랫폼 처리구의 다리 근육량이 높게 나타난 것은 육계의 접근 용이성을 높이고 활동성을 유도한 결과로 판단된다. Kaukonen et al.(2017) 연구에서 경사로형 플랫폼이 육계의 접근을 용이하게 하여 경골의 연골 변형을 감소시켰다고 보고했다. 하지만, 산란계에서 경사로 제공이 수직 이동에 도움을 주었으나, 오히려 경사로가 없는 환경에서 도약 및 비행 행동이 증가해 경골 발달에 긍정적 효과를 미쳤다고 미쳤다는 보고도 있다(Stratmann et al., 2022). 육계의 비대한 가슴근육의 성장은 무게중심을 앞으로 이동시켜 높은 구조물 이용을 어렵게 하며(Kestin et al., 1999; Paxton et al., 2013), 본 연구에서 골무기질나 골밀도는 유의적 차이가 없었으나 플랫폼 제공에 의한 활동성 증가가 근육량 향상에 기여했을 것으로 판단된다. 또한, 육계는 높은 구조물에 올라가려는 높은 선호도를 보이나(Bailie et al., 2018; Malchow et al., 2019b), 플랫폼의 높이, 경사면 각도 및 너비 등이 이용률에 영향을 미칠 수 있다(Bailie et al., 2018; Malchow et al., 2019a; Lopez et al., 2022). 체중이 증가할수록 더 많은 공간이 필요하고 신체 능력이 감소하기 때문에 육계의 신체 특성과 이용성을 고려한 플랫폼의 구조 설계에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

본 연구에서 플랫폼 형태는 햇대 대비 생산성에 부정적 영향을 미치지 않았으며, 경사로형 플랫폼은 다리 근육량 증가에 긍정적 효과를 보였다. 그러나, 체중 증가에 따라 경사면은 하중에 의한 물리적 마찰을 증가시켜 발바닥 피부염에 부정적 영향을 미치는 것으로 나타나, 플랫폼 형태에 의한 영향을 크게 받는 것을 시사한다. 육계에 신체적 특성을 고려하고 복지지표를 개선할 수 있는 풍부화물의 구조에 대한 연구가 지속적으로 필요하다.

## 적 요

본 연구는 육계 복지 향상을 위해 행동풍부화물질의 형태(햇대 및 일자형, 계단형, 경사로형 플랫폼)가 육계의 생산성, 혈액 특성, 계육 품질, 복지지표 및 경골 특성에 미치는 영향을 조사하기 위해 수행하였다. 1일령 Ross 308 육계 수평아리 총 500수를 대조구(나무 햇대)와 플랫폼 형태(일자형, 계단형 경사로형) 4처리로 나누어 처리당 5반복, 반복당 25수씩 임의배치하였다. 시험은 총 35일간 수행하였다. 햇대와 플랫폼 형태는 중체량, 섭취량 및 사료요구율에 유의적 영향을 미치지 않았다( $P>0.05$ ). 혈액 생화학 성분 결과, 경사로형 플랫폼 처리에서 total protein 및 albumin 수준이 높게 나타났으며( $P<0.05$ ), 혈액 내 corticosterone 수준은 처리 간 차이를 보이지 않았다. 복지지표 중 발바닥 피부염 접수는 대조구에서 가장 높았고, 경사로형, 계단형, 일자형 플랫폼 순으로 나타났다( $P<0.05$ ). 계육 품질 중 가슴육 내 pH 및 보수력은 경사로형 플랫폼에서 높게 나타났다( $P<0.05$ ). 경골특성에서 골무 기질, 골밀도 및 경골길이는 처리 간 유사하게 나타났으나, 근육량은 경사로형 플랫폼 처리에서 높게 나타났다( $P<0.05$ ). 결론적으로 행동풍부화물질의 제공은 육계의 생산성에 부정적 영향을 미치지 않았다. 일자형 및 계단형 플랫폼에서 수평적 공간을 제공하여 활용도를 높이고 발바닥 피부염의 완화 효과를 보였다. 반면, 경사로형 플랫폼은 육계의 접근성을 높여 다리 근육량 증가 효과를 보였으나, 경사면 이용 시 발바닥 하중의 증가로 인해 발바닥 피부염에 부정적 영향을 미치는 것으로 나타났다. 향후 육계의 생산성을 유지하면서 신체적 특성과 활동성을 복합적으로 고려한 환경풍부화물질의 형태에 대한 추가 연구가 필요할 것으로 판단된다.

(색인어 : 행동풍부화물질, 플랫폼, 복지, 육계)

## 사 사

본 연구는 농촌진흥청의 공동연구사업(과제번호: RS-2021-RD009994)에 의해 이루어진 것으로 이에 감사드립니다.

## ORCID

Ji Seon Son	<a href="https://orcid.org/0000-0002-5285-8186">https://orcid.org/0000-0002-5285-8186</a>
Chan Ho Kim	<a href="https://orcid.org/0000-0003-2121-5249">https://orcid.org/0000-0003-2121-5249</a>
Woo-Do Lee	<a href="https://orcid.org/0000-0003-4861-4637">https://orcid.org/0000-0003-4861-4637</a>
Hyunsoo Kim	<a href="https://orcid.org/0000-0001-8887-1318">https://orcid.org/0000-0001-8887-1318</a>
Hee-Jin Kim	<a href="https://orcid.org/0000-0002-6959-9790">https://orcid.org/0000-0002-6959-9790</a>

Eui-Chul Hong <https://orcid.org/0000-0003-1982-2023>  
 Jung Hwan Jeon <https://orcid.org/0000-0001-9725-547X>

## REFERENCES

- Akşit M, Yardim ZK, Yalcin S 2017 Environmental enrichment influences on broiler performance and meat quality: effect of light source and providing perches. *Europ Poult Sci* 81:1-10.
- Bailie CL, Baxter M, O'Connell NE 2018 Exploring perch provision options for commercial broiler chickens. *Appl Anim Behav Scie* 200:114-122.
- Baxter M, Bailie CL, O'Connell NE 2019 Play behaviour, fear responses and activity levels in commercial broiler chickens provided with preferred environmental enrichments. *Animal* 13(1):171-179.
- Bizeray D, Estevez I, Leterrier C, Faure JM 2002 Effects of increasing environmental complexity on the physical activity of broiler chickens. *Appl Anim Behav Sci* 79(1):27-41.
- Bowker B, Zhuang HM 2015 Relationship between water-holding capacity and protein denaturation in broiler breast meat. *Poult Sci* 94(7):1657-1664.
- Bradshaw RH, Kirkden RD, Broom DM 2002 A review of the aetiology and pathology of leg weakness in broilers in relation to welfare. *Avian Poultry Biol Rev* 13(2):45-104.
- Buijs S, Van Poucke E, Van Dongen S, Lens L, Baert J, Tuyttens FAM 2012 The influence of stocking density on broiler chicken bone quality and fluctuating asymmetry. *Poult sci* 91(8):1759-1767.
- Castellini C, Mugnai CAND, Dal Bosco A 2002 Effect of organic production system on broiler carcass and meat quality. *Meat Sci* 60(3):219-225.
- Chen Z, Song C, Yao Z, Sun J, Liu W 2022 Associations between albumin, globulin, albumin to globulin ratio and muscle mass in adults: results from the national health and nutrition examination survey 2011 - 2014. *BMC Geriatr* 22(1):383.
- Cotter PF 2015 An examination of the utility of heterophil-lymphocyte ratios in assessing stress of caged hens. *Poult Sci* 94(3):512-517.
- de Jong IC, Blaauw XE, van der Eijk JA, da Silva CS, van Krimpen MM, Molenaar R, van den Brand H 2021 Providing environmental enrichments affects activity and

- performance, but not leg health in fast-and slower-growing broiler chickens. *Appl Anim Behav Sci* 241:105375.
- Fidan ED, Türkyılmaz MK, Nazlıgül A, Mehmet K 2020 The effects of perch cooling on performance, carcass, and meat quality characteristics and behaviour of broilers reared at high temperatures with different litter thicknesses. *Ankara Univ Vet Fak Derg* 67:373-379.
- Henn JD, Bockor L, Ribeiro AML, Coldebella A, Kessler ADM 2014 Growth and deposition of body components of intermediate and high performance broilers. *Braz J Poult Sci* 16:319-328.
- Hester PY 1994 The role of environment and management on leg abnormalities in meat-type fowl. *Poult Sci* 73(6):904-915.
- Karaarslan S, Tath O, Kaya M, Toplu HDO, Fidan ED, Türkyılmaz MK, Nazlıgül A 2023 Influence of early qualitative feed restriction and barrier perch access on some meat quality traits, growth performance, and diet cost analysis in broiler chickens. *Ann Anim Sci* 24(1):247-256.
- Kaukonen E, Norring M, Valros A 2017 Perches and elevated platforms in commercial broiler farms: use and effect on walking ability, incidence of tibial dyschondroplasia and bone mineral content. *Anim* 11(5):864-871.
- Kestin SC, Su G, Sorensen P 1999 Different commercial broiler crosses have different susceptibilities to leg weakness. *Poult Sci* 78(8):1085-1090.
- Khalfi B, Buyse K, Khan I, Carvalho CL, Soster P, Antonissen G, Tuytens FAM 2024 Cooled multifunctional platforms to alleviate heat stress in broiler chickens: effects on performance, carcass and meat quality traits. *Animals* 14(23):3448.
- Kiyma Z, Küçükılmaz K, Orojpour A 2016 Effects of perch availability on performance, carcass characteristics, and footpad lesions in broilers. *Arch Anim Breed* 59(1):19-25.
- Kim CH, Lee WD, Son JS, Jeon JH, Lim SJ, Kim SM 2025 Effects of providing enrichment to broilers in an animal welfare environment on productivity, litter moisture, gas concentration ( $\text{CO}_2$  and  $\text{NH}_3$ ), animal welfare indicators, and stress level concentration. *Agriculture* 15(2):182.
- Lopez R, Weimer S, Balderama ES, Tarrant KJ 2022 Evaluation of platform enrichments in a commercial broiler house. *J Appl Poult Res* 31(4):100294.
- Lourenço da Silva MI, Almeida Paz ICDL, Chaves GHC, Almeida ICDL, Ouros CCD, Souza SRLD, Glavina ASG 2021 Behaviour and animal welfare indicators of broiler chickens housed in an enriched environment. *PLOS ONE* 16(9):e0256963.
- Lindenwald R, Schuberth HJ, Spindler B, Rautenschlein S 2021 Influence of environmental enrichment on circulating white blood cell counts and behavior of female turkeys. *Poult Sci* 100(9):101360.
- Malchow J, Puppe B, Berk J, Schrader L 2019a Effects of elevated grids on growing male chickens differing in growth performance. *Front Vet Sci* 6:203.
- Malchow J, Berk J, Puppe B, Schrader L 2019b Perches or grids? What do rearing chickens differing in growth performance prefer for roosting? *Poult Sci* 98(1):29-38.
- Mocz F, Michel V, Janvrot M, Moysan JP, Keita A, Riber AB, Guinebretière M 2022 Positive effects of elevated platforms and straw bales on the welfare of fast-growing broiler chickens reared at two different stocking densities. *Animals* 12(5):542.
- Ohara A, Oyakawa C, Yoshihara Y, Ninomiya S, Sato S 2015 Effect of environmental enrichment on the behavior and welfare of Japanese broilers at a commercial farm. *J Poult Sci* 52(4):323-330.
- Paxton H, Daley MA, Corr SA, Hutchinson JR 2013 The gait dynamics of the modern broiler chicken: a cautionary tale of selective breeding. *J Exp Bio* 216(17):3237-3248.
- Pedersen IJ, Forkman B 2019 Improving leg health in broiler chickens: a systematic review of the effect of environmental enrichment. *Anim Wel* 28(2):215-230.
- Petracci M, Bianchi M, Cavani C 2009 The European perspective on pale, soft, exudative conditions in poultry. *Poult Sci* 88(7):1518 - 1523.
- Reiter K, Bessei W 2009 Effect of locomotor activity on leg disorder in fattening chicken. *Berl Munch Tierarztl Wochenschr* 122(7-8):264-270.
- Riber AB, Van De Weerd HA, De Jong IC, Steenfeldt S 2018 Review of environmental enrichment for broiler chickens. *Poult Sci* 97(2):378-396.
- Sakomura NK, Longo FA, Oviedo-Rondon EO, Boa-Viagem C, Ferrando A 2005 Modeling energy utilization and growth parameter description for broiler chickens. *Poult Sci* 84(9):1363-1369.
- Sandusky CL, Heath JL 1988 Effect of age, sex, and barriers

- in experimental pens on muscle growth. *Poult Sci* 67(12):1708-1716.
- Stratmann A, Guggisberg D, Benavides-Reyes C, Siegfried J, Toscano MJ 2022 Providing ramps in rearing aviaries affects laying pullet distribution, behavior and bone properties. *J Appl Poult Res* 31(4):100283.
- Tablante NL, Estevez I, Russek-Cohen E 2003 Effect of perches and stocking density on tibial dyschondroplasia and bone mineralization as measured by bone ash in broiler chickens. *J Appl Poult Res* 12(1):53-59.
- van Atteveld VA, Van Ancum JM, Reijnerse EM, Trappenburg MC, Meskers CG, Maier AB 2019 Erythrocyte sedimentation rate and albumin as markers of inflammation are associated with measures of sarcopenia: a cross-sectional study. *BMC Geriatr* 19(1):233.
- van Laack RLJM, Liu CH, Smith MO, Loveday HD 2000 Characteristics of pale, soft, exudative broiler breast meat. *Poult Sci* 79(7):1057-1061.
- Vasdal G, Vas J, Newberry RC, Moe RO 2019 Effects of environmental enrichment on activity and lameness in commercial broiler production. *J Appl Anim Welfare Sci* 22(2):197-205.
- Ventura BA, Siewerdt F, Estevez I 2010 Effects of barrier perches and density on broiler leg health, fear, and performance. *Poult Sci* 89(8):1574-1583.
- Weeks CA, Danbury TD, Davies HC, Hunt P, Kestin SC 2000 The behaviour of broiler chickens and its modification by lameness. *Appl Anim Behav Sci* 67(1-2):111-125.
- Welfare Quality 2009 The Welfare Quality® assessment protocol for poultry (broilers, laying hens). The Welfare Quality® Consortium, Lelystad, The Netherlands.
- Yildirim M, Taskin A 2017 The effects of environmental enrichment on some physiological and behavioral parameters of broiler chicks. *Rev Bras Cienc Avic* 19(2):355-362.
- Yuan C, Jiang Y, Wang Z, Chen G, Bai H, Chang G 2022 Indigenous, yellow-feathered chickens body measurements, carcass traits, and meat quality depending on marketable age. *Animals* 12(18):2422.
- Zuidhof MJ, Schneider BL, Carney VL, Korver DR, Robinson FE 2014 Growth, efficiency, and yield of commercial broilers from 1957, 1978, and 2005. *Poult Sci* 93(12):2970-2982.

---

Received Nov. 03, 2025, Revised Nov. 24, 2025, Accepted Nov. 25, 2025