



## 동물복지를 고려한 점등시간이 육계 병아리의 성장 능력 및 혈액 성상에 미치는 영향

김희진<sup>1</sup> · 손지선<sup>2</sup> · 전진주<sup>2</sup> · 김현수<sup>2</sup> · 강환구<sup>2</sup> · 이우도<sup>1</sup> · 윤연서<sup>3</sup> · 홍의철<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>국립축산과학원 가금연구소 박사후연구원, <sup>2</sup>국립축산과학원 가금연구소 농업연수사, <sup>3</sup>국립축산과학원 가금연구소 연구원

### Effect of Photoperiod Considering Animal Welfare for Growth Ability and Blood Properties in Broiler Chicks

Hee-Jin Kim<sup>1</sup>, Jiseon Son<sup>2</sup>, Jin-Joo Jeon<sup>2</sup>, Hyun-Soo Kim<sup>2</sup>, Hwan-Ku Kang<sup>2</sup>, Woo-Do Lee<sup>1</sup>, Yeon-Seo Yun<sup>3</sup> and Eui-Chul Hong<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Post-Doctor Researcher, Poultry Research Institute, National Institute of Animal Science, Pyeongchang 25342, Republic of Korea

<sup>2</sup>Researcher, Poultry Research Institute, National Institute of Animal Science, Pyeongchang 25342, Republic of Korea

<sup>3</sup>Field Researcher, Hanwoo Research Institute, National Institute of Animal Science, Pyeongchang 25342, Republic of Korea

**ABSTRACT** This study was conducted to investigate the effect of three different photoperiods on growth performance, blood properties, and stress indicators in broiler chicks between 1-7 days after hatching. Two hundred and fifty-two 1-day-old male broiler chicks (57.0±0.12 g) were divided into three treatments, with 4 replicates per treatment and 22 birds per replicate subjected to three different photoperiods of 24L, 22L/2D and 18L/6D. A light-emitting diode bulb served as the light source, with an illuminance of 30 lx. As an experimental diet, a commercial feed based on a corn-soybean meal, with 22% CP and 3,150 kcal/kg ME diet, and water were fed *ad libitum*. Body weight gain, feed conversion ratio, and liver weight ratio showed a statistically significant difference between the 18L/6D and 24L treatments ( $P<0.05$ ), but with no significant difference between the 22L/2D treatment and either the 24L or 18L/6D treatment. The breast meat ratio was 5.59% in the 18L/6D treatment group, which was lower than that of other treatment groups ( $P<0.05$ ). The triglyceride levels were highest ( $P<0.05$ ) in the 18L/6D treatment among treatments, but alanine aminotransferase levels were significantly higher ( $P<0.05$ ) in the 22L/2D treatment than in the 24L treatment. Levels of cytokines, i.e., Interleukin-6 and Tumor Necrosis Factor- $\alpha$  did not show a significant difference among the treatments, but corticosterone content was significantly higher ( $P<0.05$ ) in the 24L treatment than in the 18L/6D treatment. In conclusion, 22 hours of lighting is appropriate between 1~7 days after hatching, considering growth performance and the overall health of broiler chicks.

(Key words: broiler, chick, photoperiod, growth ability, blood properties)

## 서 론

점등시간, 즉 광주기는 점등 프로그램에서 조도와 함께 육계 생산능력을 변화시키는 주요 요인 중의 하나이다. 점등과 관련된 많은 연구들은 점등시간에 대하여 집중되어 있으며(Olanrewaju et al., 2006), 24시간 혹은 23시간 점등을 기본적으로 실시하고 있다(Charles et al., 1992; Renden et al., 1993, 1994a, 1996; Ingram et al., 2000; Downs et al., 2006).

점등시간은 체중, 사료요구율 및 폐사율과 같은 생산성 지수에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(Olanrewaju et al., 2006). 그러나 최근 동물복지가 이슈화되면서 육계 생산성

뿐만 아니라 점등시간에 따른 스트레스에 대한 연구도 증가하고 있다. Gordon et al.(1994)과 Bessei(2005)는 점등시간이 길어질수록 닭의 복지 문제를 유발시킨다고 하였으나, Blair et al.(1993)과 Renden et al.(1994b)은 스트레스가 점등시간의 영향을 받지 않은 것으로 보고하였다.

점등시간에 대한 연구들은 대부분 성계 기준으로 수행되었으며, 동물복지를 고려한 연구에서는 24시간 혹은 23시간의 점등이 스트레스를 증가시킨다고 하였다(Campo and Davila, 2002). 그러나 병아리 시기에 대한 점등시간 기준에 대한 연구는 거의 미비한 실정이며, RSPCA(2017)의 경우에는 최대 22시간을 점등하도록 되어 있고, 국내 육계 동물복지 인증 기준(2017)에서는 18시간 점등만을 제시한다. 반면,

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

일반적인 육계 사육지침에는 병아리 시기에 사료와 물을 쉽게 자주 섭취할 수 있도록 24시간 혹은 23시간의 점등을 권장하고 있다(Ross, 2018).

따라서, 본 연구는 육계 병아리 시기에 세 가지 점등시간에 따른 성장 능력, 혈액 생화학 성상 및 스트레스 지표를 조사하고, 국내 동물복지 실정에 맞는 병아리 시기의 점등시간을 제시하기 위해 수행되었다.

## 재료 및 방법

### 1. 공시동물 및 시험설계

공시동물은 1일령 Ross 308 육계(57.0±0.12 g) 수컷 252수를 7일 동안 사육하였으며, 처리구는 점등시간에 따라 24 L, 22 L/2 D 및 18 L/6 D구 등 3처리구로 설정하고, 처리당 4반복, 반복당 22수를 완전임의 배치하였다. 광원은 LED 전구를 사용하였으며, 기본 조도는 30 lx(Kim et al., 2021)를 제공하였다.

시험사료는 옥수수-대두박 위주의 상업용 사료(3,150 kcal/kg ME, 22.0% CP)를 이용하였으며, 사료와 물은 자유롭게 섭취하도록 하였다. 계사 내 습도는 60~70%, 온도는 32℃를 유지하였다.

### 2. 시료 채취

혈액은 7일령에 체중이 유사한 육계를 선별하여(16수/반복) 경정맥에서 5 mL씩 채취하였으며, 동일 개체에서 가슴근육, 간 및 소장을 채집하였다. 채취한 혈액 중 일부는 원심분리(1008 g, 15분)하여 혈청을 분리한 후 -70℃ 초저온 냉동고에 보관하였다.

### 3. 조사항목

#### 1) 성장 능력

육계의 체중은 생시와 7일령에 측정하였으며, 7일령 체중에서 생시 체중을 감한 값을 증체량으로 하였다. 사료섭취량은 급여량에서 7일령 사료 잔량을 제한 값으로 하였으며, 섭취량에서 증체량을 나누어 사료요구율을 산출하였다.

#### 2) 간·가슴근육 무게 및 소장 길이

육계 7일령에 가슴근육과 간의 무게를 측정하여 체중을 기준으로 한 백분율로 산출하였으며, 처리구간 사료 섭취상태를 비교하기 위해 소장 길이를 측정하였다.

### 3) 혈액 생화학 분석

Total cholesterol(TC), Triglyceride(TG), Glucose, Total protein(TP), Aspartate aminotransferase(AST), Alanine aminotransferase(ALT), ALB(Albumin), creatinine과 같은 혈청 내 생화학 조성은 자동 혈액 분석기(AU 480 chemistry Analyzer, Beckman Coulter Inc., USA)를 이용하여 분석하였다.

### 4) 혈청 Cytokine 분석

육계 혈청 내 cytokine(Tumor Necrosis Factor- $\alpha$ , TNF- $\alpha$ ; Interleukin-6, IL-6) 함량 분석은 각각 Chicken TNF- $\alpha$  ELISA Kit(MyBioSource, San Diego, California, USA)와 Chicken IL-6 ELISA Kit(MyBioSource, San Diego, California, USA)를 이용하였으며, 시료당 3반복으로 분석하였다. 시료 100  $\mu$ L를 96-well plate에 넣어 90분 동안 37℃에서 반응시킨 후, 항체를 첨가하여 1시간 동안 반응시켰다. 반응시킨 시료는 세 번 세척하고, HRP Conjugate working 용액 100  $\mu$ L를 넣어 37℃에서 30분 동안 반응시킨 다음 추가로 5번 세척하였다. 이러한 시료는 90  $\mu$ L Substrate Reagent로 발색시키고, Stop 용액을 넣어 반응을 정지시킨 후 분광 광도계(Epoch 2; BioTek Instruments, Inc., VT, USA)를 이용하여 405 nm에서 흡광도를 측정하였다.

### 5) 혈청 내 Corticosterone 함량 분석

육계 혈청 내 corticosterone 함량 분석은 Corticosterone ELISA Kit(Enzo Life Science item no. ADI-900-097; NY, USA)를 사용하였으며, 시료당 3번 분석하였다. 먼저 혈청 100  $\mu$ L와 50  $\mu$ L Conjugate, 50  $\mu$ L 항체의 혼합액을 2시간 실온에서 반응시킨 후 3번 세척하여 Substrate 200  $\mu$ L을 첨가시키고 실온에서 1시간 반응시켰다. 그 후 반응을 정지시키기 위해 Stop 용액을 넣은 후 분광 광도계(Epoch 2; BioTek Instruments, Inc., VT, USA)를 이용하여 405 nm에서 흡광도를 측정하였다.

### 4. 통계처리

본 시험의 자료들은 SAS(2019)의 General Liner Model(GLM) procedure을 이용하여 분석하였으며, Duncan의 다중 검정(Duncan, 1955)을 이용하여 각 처리구 간의 평균값을 95% 신뢰수준에서 검정하였다.

## 결 과

### 1. 성장 능력

점등시간에 따른 7일령 육계의 증체량, 사료섭취량 및 사료요구율은 Table 1에 나타내었다. 점등시간에 따른 7일령 증체량은 18 L/6D 처리구보다 24 L 처리구에서 유의적으로 높았으나( $P<0.05$ ), 사료섭취량은 처리구간 유의적인 차이를 보이지 않았다. 사료요구율은 24 L 처리구와 16 L/8D 처리구 사이에서 유의적인 차이를 보였으며( $P<0.05$ ), 22 L/2D 처리구는 24 L 처리구 및 16 L/8D 처리구간 유의차를 보이지 않았다.

### 2. 간·가슴근육 무게 비율 및 소장 길이

점등시간에 따른 7일령 육계의 간·가슴근육 무게 및 소장 길이는 Table 2에 나타내었다. 간의 무게 비율은 증체량과 유사하게 24 L 처리구에서 18 L/6D 처리구보다 유의적으로 높았으며( $P<0.05$ ), 22 L/2D 처리구는 24 L 처리구 및 18 L/6D 처리구간 유의차를 보이지 않았다. 가슴근육의 무게 비

율은 18 L/6D 처리구가 24 L 및 22 L/2D 처리구에 비해 유의적으로 낮게 나타났다( $P<0.05$ ). 소장의 길이는 점등시간에 따른 처리구 사이에서 유의적인 차이를 보이지 않았다.

### 3. 혈액 생화학 조성

점등시간에 따른 7일령 육계의 혈액 생화학 조성은 Table 3에 나타내었다. 혈액 내 TC, GLU, TP, AST, creatinine, 및 ALB는 처리구간 유의적인 차이를 보이지 않았다. 생화학 조성 중 TG는 18 L/6D 처리구에서 가장 높았으나( $P<0.05$ ), ALT는 24 L 처리구에 비해 22 L/2D 처리구에서 유의적으로 높았다( $P<0.05$ ).

### 4. 혈청 내 Cytokine 및 Corticosterone 함량 분석

점등시간에 따른 7일령 육계의 cytokine 및 corticosterone 함량은 Table 4에 나타내었다. 7일령 육계의 혈청 내 cytokine (IL-6, TNF- $\alpha$ ) 함량은 점등시간에 따른 처리구 사이에서 유의적인 차이를 보이지 않았다. 스트레스 호르몬인 corticosterone 함량은 24 L 처리구가 18 L/6D 처리구에 비해 유의

**Table 1.** Effect of photoperiod on growth performance in broiler chicks from 0 to 7 days

Parameters	Photoperiod (L/D)			SEM <sup>1</sup>	P-value
	24 L	22 L/2D	18 L/6D		
Initial body weight (g/bird)	57.1	56.9	56.9	0.12	0.48
Final body weight (g/bird)	166.4 <sup>a</sup>	161.6 <sup>ab</sup>	157.2 <sup>b</sup>	1.79	<0.05
Body weight gain (g/bird)	109.3 <sup>a</sup>	104.7 <sup>ab</sup>	100.3 <sup>b</sup>	1.75	<0.05
Feed intake (g/bird)	157.2	167.6	162.0	4.22	0.27
FCR (feed/gain)	1.44 <sup>b</sup>	1.59 <sup>ab</sup>	1.62 <sup>a</sup>	0.04	<0.05

<sup>1</sup> SEM, standard error of means.

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

L, light period; D, dark period.

**Table 2.** Effect of photoperiod on liver weight, breast muscle weight, and length of the small intestine in broiler chicks from 0 to 7 days

Parameters	Photoperiod (L/D)			SEM <sup>1</sup>	P-value
	24 L	22 L/2D	18 L/6D		
Liver weight (% of BW)	4.31 <sup>a</sup>	4.19 <sup>ab</sup>	3.85 <sup>b</sup>	0.125	<0.05
Breast muscle weight (% of BW)	6.23 <sup>a</sup>	6.09 <sup>a</sup>	5.59 <sup>b</sup>	0.144	<0.05
Length of small intestine (cm)	37.3	36.0	35.4	0.778	0.21

<sup>1</sup> SEM, standard error of means.

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

L, light period; D, dark period.

**Table 3.** Effects of photoperiod on serum biochemical profiles in chicks at the age of 7 day

Parameters	Photoperiod (L/D)			SEM <sup>1</sup>	P-values
	24 L	22 L/2D	18 L/6D		
TC (mg/dL)	166.7	168.1	171.2	4.15	0.73
TG (mg/dL)	49.6 <sup>b</sup>	54.6 <sup>ab</sup>	61.8 <sup>a</sup>	3.33	<0.05
GLU (mg/dL)	231.5	232.4 <sup>a</sup>	235.0	6.14	0.92
TP (g/dL)	2.61	2.63	2.66	0.044	0.68
AST (U/L)	192.2	204.2	200.8	5.929	0.35
ALT (U/L)	2.06 <sup>b</sup>	3.17 <sup>a</sup>	2.72 <sup>ab</sup>	0.235	<0.05
Creatinine (mg/dL)	0.21	0.20	0.21	0.004	0.36
ALB (g/dL)	1.05	1.13	1.10	0.025	0.08

<sup>1</sup> SEM, standard error of means.

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

L, light period; D, dark period.

TC, total cholesterol; TG, triglyceride; GLU, glucose; TP, total protein; AST, aspartate aminotransferase; ALT, alanine aminotransferase; ALB, albumin.

**Table 4.** Effects of light intensity on serum IL-6, TNF- $\alpha$  and corticosterone concentrations in chicks at the age of 7 day

Parameters	Photoperiod (L/D)			SEM <sup>1</sup>	P-values <sup>2</sup>
	24 L	22 L/2D	18 L/6D		
IL-6 (pg/mL)	31.6	28.5	27.8	1.97	0.36
TNF- $\alpha$ (pg/mL)	23.7	22.0	21.8	0.79	0.22
Corticosterone (ng/mL)	12.4 <sup>a</sup>	10.8 <sup>ab</sup>	9.96 <sup>b</sup>	0.591	<0.05

<sup>1</sup> SEM, standard error of means.

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

L, light period; D, dark period.

TNF- $\alpha$ , tumor necrosis factor- $\alpha$ ; IL-6, interleukin-6.

적으로 높은 값을 나타내었다.

## 고 찰

본 연구에서도 24시간의 점등 시에 병아리 시기의 성장 능력(체중, 증체량, 사료요구율)이 유의적으로 높게 나타났다. 다양한 연구에서 24시간 혹은 23시간의 점등은 육계의 성장률을 최대화 시키는 것으로 확인되고 있으며(Beane et al., 1962; Skoglund et al., 1966; Deaton et al., 1970; Gordon, 1994; Buyse et al., 1996a), 특히 이런 점등 프로그램은 병아리 시기의 육계가 사료와 물을 쉽게 섭취할 수 있도록 해 준다(Arias, 2019). 반면, Blokhuis(1983)은 육성기 육계의 충분

한 휴식을 위해서는 최소 4시간의 암기가 필요하다고 하였으며, Classen et al.(1991)은 암기가 명기만큼 육계의 성장과 건강에 중요하다고 하였다.

그러나, 본 연구는 초생추 시기의 병아리에 맞는 점등시간을 고려한 연구로서, 일반적인 육계 사양기준에서는 사료와 물을 충분히 섭취하기 위해 24시간 혹은 23시간의 점등을 제시하고 있으나, 동물복지를 고려한 점등시간의 연구는 미비한 실정이다. 또한, 국내 동물복지 인증기준(2018)에서는 아직까지 초생추 시기에 대한 점등시간이 제시되어 있지 않다.

본 연구에서 스트레스 지표로 이용되는 혈청 내 cytokine 및 corticosterone 함량은 18시간 점등 시에 유의적으로 높게

나타났으며, 22시간의 점등은 성장 능력과 스트레스 지표에서 24시간 및 18시간 점등과 유의차를 보이지 않았다. 따라서 육계 병아리 시기에는 최소 2시간의 암기가 필요하다고 사료되며, 외국의 동물복지 기준에서도 병아리 시기의 점등 시간을 22시간으로 제시하고 있다(RSPCA, 2017).

Triglyceride는 지질대사를 평가하는 지표로서, 스트레스 (Kim et al., 2007) 및 사료섭취(Lamid et al., 2020)와 관련이 있다. 본 연구에서 점등시간이 길수록 triglyceride 함량이 감소하는 것은 계사 내부가 밝을 때 육계의 활동량이 많아져서 지질대사가 활발히 이루어진 결과라고 사료된다. 이와 유사하게, Yildirim and Taskin(2017)은 육계가 활동적으로 움직이는 해와 모래 처리구에서 유의적인 차이는 없으나 triglyceride 함량이 감소되었다고 하였다.

혈액 생화학 성상 중 ALT는 간의 손상되면 수치가 증가하는 것으로 알려져 있으며, 정상적인 ALT 수치는 2.08~3.22 U/L로 알려져 있다(Valchev et al., 2014). 본 연구에서 육계 병아리 혈청의 ALT 수치는 22시간 점등하였을 때 유의적으로 높았으나, 3처리구 모두 2.0~3.2 U/L로 정상 범위 안에 있어 점등시간은 육계 병아리의 간에 손상을 미치지 않는 것으로 사료된다.

육계의 혈액의 cytokine 및 corticosterone 함량은 스트레스 지표로 사용이 된다. 본 연구에서 혈액의 corticosterone 함량은 24 L 처리구에서 유의적으로 감소하였으나, cytokine 중 체내 면역 세포에 의해 분비되는 IL-6(Willenberg et al., 2002)와 염증이 생기면서 분비되는 TNF- $\alpha$ (Chandrashekara et al., 2007)는 본 연구에서 유의적인 차이를 보이지 않았다. 초생추 시기의 짧은 기간에는 환경 변화가 크지 않기 때문에 처리구간 cytokine 함량이 차이가 나타나지 않는 것으로 사료된다.

결론적으로, 육계 병아리 시기에는 성장 능력과 동물복지를 모두 고려하였을 때, 24시간 점등에 비해 성장 능력이 저하되지 않고, 18시간 점등에 비해 스트레스 지수가 높지 않은 22시간 점등이 적당하다고 사료된다.

## 적 요

본 연구는 육계 병아리 시기에 세 가지의 점등시간이 성장 능력, 혈액 생화학 성상 및 스트레스 지표에 미치는 영향을 조사하기 위해 수행되었다. 공시동물은 1일령 Ross 308 육계(57.0 $\pm$ 0.12 g) 수컷 252수를 7일 동안 사육하였으며, 처리구는 점등3처리구(24 L, 22 L/2D, 18 L/6D)로 나누고, 처

리당 4반복, 반복당 22수를 완전임의 배치하였다. 광원은 LED 전구를 사용하였으며, 기본 조도는 30 lx를 제공하였다. 시험사료는 옥수수-대두박 위주의 시판 사료(ME 3,150 kcal/kg, CP 22.0%)를 이용하였으며, 사료와 물은 자유롭게 섭취하도록 하였다. 점등시간에 따른 체중, 증체량, 사료요구율 및 간 무게 비율은 18 L/6D과 24 L 처리구에서 유의적인 차이를 보였으나( $P<0.05$ ), 22 L/2D 처리구는 24 L 처리구 및 18 L/6D 처리구간 유의차를 보이지 않았다. 가슴근육의 무게 비율은 18 L/6D 처리구에서 5.59%로 다른 처리구에 비해 낮게 나타났다( $P<0.05$ ). 혈청 생화학 성분 중 TG는 점등시간이 줄어들수록 유의적으로 증가하였으나( $P<0.05$ ), ALT는 24 L 처리구에 비해 22 L/2D 처리구에서 유의적으로 높았다( $P<0.05$ ). 혈청 내 cytokine(IL-6, TNF- $\alpha$ ) 함량은 처리구 사이에서 유의적인 차이를 보이지 않았으나, corticosterone 함량은 24 L 처리구가 18 L/6D 처리구에 비해 유의적으로 높은 값을 나타내었다( $P<0.05$ ). 결론적으로, 육계 병아리 시기에는 성장 능력과 동물복지를 모두 고려하였을 때 22시간 점등이 적당하다고 사료된다.

(색인어: 육계, 병아리, 점등시간, 성장 능력, 혈액 성상)

## 사 사

본 시험은 농촌진흥청 국립축산과학원의 동물실험 계획서에 의거 동물보호법 및 국립축산과학원 동물실험윤리위원회에서 승인된 동물실험방법(승인번호: 2020-424)에 따라 수행되었다.

본 연구는 2021년 농촌진흥청 국립축산과학원 전문연구원 과정 지원사업과 농촌진흥청의 기관과유사업(과제번호: PJ01483101)에 의해 이루어진 것으로 이에 감사드립니다.

## ORCID

Hee Jin Kim	<a href="https://orcid.org/0000-0002-6959-9790">https://orcid.org/0000-0002-6959-9790</a>
Ji Seon Son	<a href="https://orcid.org/0000-0002-5285-8186">https://orcid.org/0000-0002-5285-8186</a>
Jin Joo Jeon	<a href="https://orcid.org/0000-0001-7585-4746">https://orcid.org/0000-0001-7585-4746</a>
Hyun Soo Kim	<a href="https://orcid.org/0000-0001-8887-1318">https://orcid.org/0000-0001-8887-1318</a>
Hwan Ku Kang	<a href="https://orcid.org/0000-0002-4286-3141">https://orcid.org/0000-0002-4286-3141</a>
Woo-Do Lee	<a href="https://orcid.org/0000-0003-4861-4637">https://orcid.org/0000-0003-4861-4637</a>
Yeon-Seo Yun	<a href="https://orcid.org/0000-0001-6950-0415">https://orcid.org/0000-0001-6950-0415</a>
Eui Chul Hong	<a href="https://orcid.org/0000-0003-1982-2023">https://orcid.org/0000-0003-1982-2023</a>

## REFERENCES

- Arias DD 2019 Photoperiod and lighting programs in broilers. <https://www.veterinariadigital.com/en/articulos>. Accessed on Nov. 21, 2019.
- AWCS 2018 Animal Welfare Certification Standards of Broilers. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA), Korea.
- Beane WL, Siegel PB, Siegel HS 1962 The effect of light on body weight and feed conversion of broilers. *Poult Sci* 41(4):1350-1351.
- Bessei W 2005 Welfare of meat producing poultry-an overview. *Anim Sci Pap Rep* 23(Supple 1):205-216.
- Blair R, Newberry RC, Gardiner EE 1993 Effects of lighting pattern and dietary tryptophan supplementation on growth and mortality in broilers. *Poult Sci* 72(3):495-502.
- Buyse J, Kuhn ER, Decuypere E 1996 The use of intermittent lighting in broiler raising. 1. Effect of broiler performance and efficiency of nitrogen retention. *Poult Sci* 75(4):589-594.
- Campo JL, Davila SG 2002 Effect of photoperiod on heterophil to lymphocyte ratio and tonic immobility duration of chickens. *Poult Sci* 81(11):1637-1639.
- Charles RG, Robinson FE, Hardin RT, Yu MW, Feddes J, Classen HL 1992 Growth, body composition, and plasma androgen concentration of male broiler chickens subjected to different regimens of photoperiod and light intensity. *Poult Sci* 71(1):1595-1610.
- Deaton JW, Reece FN, May JD 1970 Temperature and light and broiler growth 2. *Poult Sci* 49(6):1593-1596.
- Downs KM, Lien RJ, Hess JB, Bilgili SF, Dozier III WA 2006 The effects of photoperiod length, light intensity, and feed energy on growth responses and meat yield of broilers. *J Appl Poult Res* 15(3):406-416.
- Duncan, D. B. 1955 Multiple range and multiple F tests. *Biometrics* 11(1):1-42.
- Gordon SH 1994 Effects of daylength programmers on broiler welfare and performance. *World's Poult Sci J* 50(3):269-282.
- Ingram DR, Hatten III LF, McPherson BN 2000 Effects of light restriction on broiler performance and specific body structure measurements. *J Appl Poult Res* 9(4):501-504.
- Kim HJ, Son JS, Jeon JJ, Kim HS, You AS, Kang HK, Kang BS, Hong EC 2021 Effects of light intensity on the growth performance, blood parameter and immune status of broiler chicks. *Korean J Poult Sci* 48(3):143-150.
- Kim DS, Jeong SK, Kim HR, Kim DS, Chae SW, Chae HJ 2007 Effects of triglyceride on ER stress and insulin resistance. *Biochem Biophys Res Commun* 363(1):140-145.
- Lamid M, Al-Arif MA, Amin M, Warsito SH 2020 Decreasing triglyceride, LDL-c and increasing HDL-c contents in broiler meat by partial replacement of commercial feed with fermented rice bran and turmeric flour. *Biocatal Agric Biotechnol* 23(101450):1-4.
- Olanrewaju HA, Thaxton JP, Dozier III WA, Purswell J, Roush WB, Branton SL 2006 A review of lighting programs for broiler production. *Int J Poult Sci* 5(4):301-308.
- Renden JA, Moran ET, Kincaid SA 1994a Lack of interactions between dietary lysine or strain cross and photo-schedule for male broiler performance and carcass yield. *Poult Sci* 73(11):1651-1662.
- Renden JA, Lien RJ, Oates SS, Bilgili SF 1994b Plasma concentrations of corticosterone and thyroid hormones in broilers provided various lighting schedules. *Poult Sci* 73(1):186-193.
- Renden JA, Bilgili SF, Kincaid SA 1993 Research note: comparison of restricted and increasing light programs for male broiler performance and carcass yield. *Poult Sci* 72(2):378-382.
- Ross 2018 Ross Broiler Management Manual. Alabama. Aviagen Ltd., UK.
- RSPCA 2017 RSPCA welfare standards for meat chickens. <http://science.rspca.org.uk/sciencegroup/farmanimals/standards>. Accessed on Jul. 1, 2017.
- SAS 2019 SAS/STAT Software for PC. Release 9.4, SAS Institute, Cary, NC, USA.
- Skoglund WC, Wabeck CJ, Palmer DH 1966 Length of light period for maximum broiler weight. *Poult Sci* 45(6):1185-1189.
- Valchev I, Kanakov D, Hristov TS, Lazarov L, Binev R, Grozeva N, Nikolov Y 2014 Investigations on the liver function of broiler chickens with experimental aflatoxicosis. *Bulg J Vet Med* 17(4):302-313.
- Yildirim M, Taskin A 2017 The effects of environmental enrichment on some physiological and behavioral parameters of broiler chicks. *Braz J Poultry Sci* 19(2):355-362.