

## 사육밀도와 사료 단백질 수준이 저속 성장 육계(한협 3호)의 성장, 육질, 혈청 Corticosterone에 미치는 영향

이준엽<sup>2</sup> · 이정현<sup>1</sup> · 이명호<sup>1</sup> · 송영한<sup>1</sup> · 이종인<sup>1</sup> · 오상집<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>강원대학교 동물생명과학대학, <sup>2</sup>국립축산과학원 축산환경과

### Effect of Stocking Density and Dietary Protein Level on Performance, Meat Quality and Serum Corticosterone of Slow-Growing Korean Meat-Type Chicken (Hanhyop 3)

Jun Yeob Lee<sup>2</sup>, Jeong Heon Lee<sup>1</sup>, Myung Ho Lee<sup>1</sup>, Yong Han Song<sup>1</sup>, Jong In Lee<sup>1</sup> and Sang Jip Ohh<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Kangwon National University, Chuncheon 24341, Korea

<sup>2</sup>National Institute of Animal Science, RDA, Jeonju, Korea

**ABSTRACT** A total of 720 slow-growing Korean meat-type (Hanhyop 3) chicken were used to evaluate the effect of stocking densities and dietary protein levels on growth performance, meat quality, bone mineral composition, and serum corticosterone. Three (6.3, 9.5, and 12.6 birds/m<sup>2</sup>) stocking densities and two dietary protein levels (19% and 18%) were factorially (3×2) arranged for six treatments. Overall body weight gain (BWG) was highest ( $p<0.001$ ) at the lowest stocking density (6.3 birds/m<sup>2</sup>). The feed intake (FI) of birds at the highest density (12.6 birds/m<sup>2</sup>) was lower than that of birds at the other densities, but resulted in better feed/gain (F/G). Among 18% protein groups, the overall FI of birds at 9.5 birds/m<sup>2</sup> was higher than that at the lowest density; therefore, birds at 9.5 birds/m<sup>2</sup> had poorer F/G than birds at the lowest density during days 61~75. Difference in F/G among densities was only significant ( $p<0.05$ ) during days 61~75 but not significant ( $p>0.05$ ) during days 41~60. Although there were no significant differences ( $p>0.05$ ) in BWG and F/G between 19% and 18% dietary protein levels, FI of the 18% protein diet was less ( $p<0.05$ ) than that of the 19% diet. Although there was no difference ( $p>0.05$ ) in meat TBARS values, meat color differed ( $p<0.05$ ) with stocking density and dietary protein levels. There was no effect ( $p>0.05$ ) of stocking density and dietary protein levels on bone mineral composition. Serum corticosterone concentration increased ( $p<0.05$ ) with increasing stock density but was not affected ( $p>0.05$ ) by dietary protein levels. This study indicated that a density of 12.6 birds/m<sup>2</sup> is not recommended for slow-growing chickens. Between 19% and 18% dietary protein levels, 18% would be recommended for the Korean Hanhyop 3 chicken in the finishing stage.

(Key words: Korean meat-type(Hanhyop 3) chicken, stocking density, dietary protein levels, performance, meat quality, serum corticosterone)

## 서 론

동물복지에 대한 관심과 기대 요구가 높아지면서 산란계 생산뿐 아니라, 육계사육에서도 동물 복지 사육과 그 인증이 증가하고 있다. 그러나 현재 대부분의 육계 사육 과정에서 고속 성장 육계 품종이 주요 품종이라는 점, 더군다나 이들을 밀식 사육하고 있는 점 등은 동물 복지의 관점에서 가장 심각한 반 복지 요소로 지적되어 왔다. 실제 세계적인 민간 동물복지 인증 단체인 RSPCA(2011)의 경우, 육계 복지 생산

가이드라인에 일당 증체량을 45 g 이하로 규정함으로써 고속 성장을 지양하고 있다. 그러나 우리나라의 경우, 육계 평균 사육 기간이 30~32일로서 유럽이나 미국의 평균 사육 기간 40~45일과 비교하면 매우 짧다. 이는 앞으로 육계 복지 기준에서 성장 속도를 규정하게 될 때, 복지 기준에 적합한 사육 방식으로의 전환에 매우 불리하다. 더군다나 고속 성장 밀식 사육방식은 오히려 폐사율, 골격계 성장 장애, 복수증 및 급사증후군 증가의 원인으로 지적되고 있다(Acar et al., 1995; Buyse et al., 1998; Garner et al., 2002; Mench,

\* To whom correspondence should be addressed : sjohh@kangwon.ac.kr

2002; Tolkamp et al., 2005). 이는 밀식 사육이 복지 적합 여부를 떠나 오히려 생산성을 떨어트릴 수도 있음을 의미한다. 따라서 외국의 경우, 이미 저속 성장 육계 품종을 개발하는 것은 물론, 이들의 최적 사양방법에 대한 연구가 널리 진행되고 있다(Nielsen et al., 2003; Fanatico et al., 2008; Wang et al., 2009).

우리나라의 경우, 육계의 품종 개량이 주로 고속 성장 품종 위주로 추진되어 왔으나, 최근 보다 식감이 좋은 품종으로 '토종닭'이라 불리는 저속 성장 재래닭 실용 육계의 사육 비중이 점차 증가하고 있다. 우리나라 저속 성장 육계의 평균 사육 기간은 45일 이상으로 일반 육계에 비해 길고, 우리나라 시장으로의 평균 출하 체중은 2.3~2.5 kg이다. 따라서 성장속도 측면에서 우리나라의 재래닭 실용 육계는 RSPCA (2011)가 제시한 복지육계 가이드라인을 충족시키는 데 적합하다고 할 수 있다. 하지만 우리나라 저속성장 실용 육계에 대하여 동물복지기준에 부합하면서도, 생산성 증진에 최적인 사육밀도나 영양소 요구량에 대한 연구는 매우 부족한 실정이다. 아직까지도 저속 성장 육계의 영양소 요구량으로 기존 육계 사양표준을 나뉠 변형 활용하고 있는 실정이다. 그러나 기존 육계 사양표준은 육성전기부터 성장속도가 빠른 고속 성장 육계를 대상으로 개발된 데 반하여 우리나라 재래닭 저속성장 육계는 전기에는 성장속도가 완만하나, 후기에 성장속도가 빠르다. 이는 재래닭 저속 성장 육계의 성장에 필요한 사료 단백질 수준이 기존 육계와는 달라질 수 있음을 의미한다. 또한 사육밀도가 낮아져 상대적으로 활동량이 증가하는 동물 복지 관리 환경도 단백질 요구량에 변화를 가져올 수 있는 요인이다. 따라서 본 연구는 우리나라에서 동물복지 기준을 충족시키면서 저속성장 육용계(한협 3호)를 사육하고자 할 때 적합한 사료 단백질 수준과 최적 사육밀도를 구명하기 위하여 수행하였다.

## 재료 및 방법

본 연구는 강원대학교 동물실험윤리위원회(Institutional Animal care and use committee, Kangwon National University, Korea)의 승인을 받아 그 규정을 준수하여 수행하였다.

### 1. 시험설계 및 사양관리

본 연구를 위하여 토종형 육계로 상용화된 저속성장 육용계(한협 3호) 720수를 공시하여 강원대학교 목장에서 총 65일간 사양시험을 실시하였다. 사양시험은 어린 병아리사료를 10일간 급여하여 현장 적응시킨 후 개시하였다.

본 시험에서는 Table 1에서 보는 바와 같이, 사료 단백질 두 수준과 사육밀도 세 수준을 2×3 요인 설계하여 총 6처리를 두었다. 육성전기(10~40일)에는 동일 수준의 단백질 사료를 급여하고, 육성후기(41~75일) 사료의 단백질 수준 각각 19%와 18%로 두 수준으로 설계하였다. 육성전기의 단백질 수준을 동일하게 한 이유는 한협 3호 육계가 육성후기에 육성전기 대비 두 배 이상의 사료를 섭취하고, 급격한 성장(Na et al., 1998)을 보이는 것으로 보고되어, 육성후기 단백질의 수준 차이가 실제 성장 변별력을 나타낼 수 있다고 판단하였기 때문이다. 그 다음 사육밀도를 달리하기 위하여 한 pen(230 cm × 150 cm × 60 cm)당 20, 30, 40 수씩 배치하여 세 수준의 사육밀도를 설계하였다. 이를 단위 면적 당 수수로 환산하면 각각 6.3 수/m<sup>2</sup>, 9.5 수/m<sup>2</sup>, 12.6 수/m<sup>2</sup>와 같다. 본 시험에는 각 처리구당 4반복을 두었고, 각 펜은 완전임의 배치하였다. 시험 사료는 크럼블 형태로 가공하여 제공하였으며, 음수는 중형 급수기를 이용하였다. 사료와 물은 시험 전 기간 무제한 섭취토록 하였다. 사양시험 계사는 평사로서 사양시험 시작 시 바닥에 왕겨를 5 cm 두께로 깔아 주었으며, 육성전기 종료 후 그 위에 한 번 더 5 cm 두께로 덮어 주었다. 점등 관리는 동물복지 권장 가이드라인을 충족하기 위하여 16L/8D로 하였고, 조도는 15 lux이었다.

## 2. 조사항목 및 방법

### 1) 사양성적

기간별 증체량(Body weight gain)과 사료섭취량(Feed intake)은 시험 개시일(10일령)과 육성전기 종료일(40일령), 그리고 육성후기 60일령과 시험 종료일(75일령)에 처리구의 각 pen별 체중과 pen별 사료의 잔량을 측정하여, 기간별 증체량(BWG)과 누적 사료섭취량(FI)으로 나타내었다. 사료요구율(F/G)은 측정된 사료섭취량을 증체량으로 나누어 계산하였다. 사양성적은 사료의 단백질 수준의 차이를 두지 않은 육성전기와 단백질 수준에 차이를 두었던 육성후기로 구분하여 나타내었다.

Table 1. Experimental design

Dietary protein levels (%)	Treatments					
	19		18			
Stocking density (No. birds/m <sup>2</sup> )	6.3	9.5	12.6	6.3	9.5	12.6

2) 계육 저장 중 산패 정도 평가(TBARS)

사양시험 종료 후 처리 당 4수씩 총 24수를 도계하여, 다리육을 채취 후 4℃에 냉장 보관하였다. 그 후 각각 0, 5, 10, 15일 저장한 후, 각 시료를 대상으로 TBARS(Thio-barbituric acid reactive substances)를 측정하였다. 분석방법은 Botsoglou et al.(1994)의 방법을 수정하여 다음과 같이 실시하였다. 시험관에 세절육을 0.4 g 정량하여 황산화제 용액(propylene glycol + warm tween + BHT + BHA) 2~3방울, TBA 용액 3 mL, TCA-HCL 17 mL를 넣고 vortex에서 2~3초간 혼합하였다. 시험관의 마개를 닫고 100℃ 이상의 물에서 30분간 가열한 후 냉각하였다. 마개를 열어 5 mL의 반응액을 새 시험관에 옮기고, 여기에 chloroform 2 mL를 넣은 다음 3,000 rpm에서 15분간 원심 분리시켜 상등액을 530 nm의 파장에서 측정 후 흡광도에 5.2를 곱하여 TBARS 값을 계산하였다.

3) 육색평가

가슴육과 다리육 시료를 채취하여 평평하게 펼친 다음, 육색은 Chromameter(Model CR-410, Minolta Co., Japan)를 사용하여 각 시료 당 5회 반복하여 값(L\*=명도, a\*=적색도, b\*=황색도)을 측정하였으며, 이때 표준색판의 값은 L\*=89.2, a\*=0.921, b\*=0.783이었다.

4) 일반성분과 Ca, P 함량의 분석

본 시험에서 사료, 계육, 골격에 대한 일반성분 분석을 다음과 같이 분석하였다. 수분, 조단백질, 조회분 분석은 AOAC (1995)방법에 따라 분석하였다. Ca, P의 분석은 채취한 분을 이용하여 600℃에서 5시간 이상 회화 후 염산(1:1) 10 mL를 가하여 서서히 가온하여 용해시킨 후 Whatman No. 6 여과지를 이용, 증류수로 여과하여 일정량을 맞춰 시료로 사용하였고, 분석은 ICP(OPTIMA 7300 DV, Perkin Elmer, USA)를 이용하였으며, 분석조건은 Plasma 15l/min, Auxiliary 0.2l/min, Nebulizer 0.65l/min, RF Power 1300W, Pump(Flow Rate) 1.5 mL/min으로 하였다. 골격 성분 분석은 다리뼈를 분리하여 근육과 지방 등을 완전히 제거한 후 60℃에서 건조하여 시료로 사용하였다.

5) 혈청 내 Corticosterone 농도

사육밀도의 차이에 따라 발생할 수 있는 스트레스 차이를 측정하기 위하여 스트레스 호르몬 중 Corticosterone을 측정하였다. 사양시험 종료 후 익하 정맥에서 4 mL의 혈액을 채혈 후 혈청을 분리하였고, 분리된 혈청은 분석 전까지 -70℃에 보관하였다. 분석에는 Corticosterone ELISA Kit(Enzo

Table 2. Formula and chemical composition of experimental diet

	10~40 d	41~75 d, Dietary protein levels (%)	
		19	18
-----%-----			
Corn	49.49	51.07	54.40
Wheat	10.00	12.00	12.00
Soybean meal	31.04	28.16	25.08
Lime stone	1.30	1.30	1.30
M.D.C.P <sup>3)</sup> (18%/21%)	1.60	1.36	1.44
Salt	0.24	0.22	0.22
Beef tallow	5.00	4.64	4.12
Choline chloride (50%)	0.12	0.14	0.16
DL-Methionine (98%)	0.37	0.36	0.39
L-Lysine (98%)	0.43	0.38	0.48
Threonine (98.5%)	0.09	0.10	0.14
Vit. premix <sup>1)</sup>	0.20	0.15	0.15
Min. premix <sup>2)</sup>	0.12	0.12	0.12
	100.00	100.00	100.00
Moisture (%)	11.55	11.59	11.66
Protein (%)	20.00	19.00	17.99
Fat (%)	7.22	6.90	6.44
Fiber (%)	3.50	3.42	3.33
Ash (%)	5.61	5.21	5.14
Ca (%)	0.90	0.85	0.85
P (%)	0.68	0.62	0.62
Calculated Available P (%)	0.54	0.49	0.50
TME <sup>4)</sup> (kcal/kg diet)	3,080	3,100	3,100
ME <sup>5)</sup> (kcal/kg diet)	3,082	3,106	3,117
Lysine (%)	1.36	1.25	1.25
Methionine (%)	0.66	0.64	0.66
Methionine + cystine (%)	0.98	0.95	0.95
Threonine (%)	0.81	0.78	0.78

<sup>1)</sup> The vitamin premix contains the followings per kg of diet: vitamin A, 18,000 IU; vitamin D<sub>3</sub>, 4,500 IU; vitamin E, 31.5 IU; menadione (K<sub>3</sub>), 3.6 mg; thiamine (B<sub>1</sub>), 1.8 mg; riboflavin (B<sub>2</sub>), 4.8 mg; pyridoxine (B<sub>6</sub>), 3.6 mg; cobalamin (B<sub>12</sub>), 0.03 mg; niacin (B<sub>3</sub>), 22.5 mg; panthothenic acid (B<sub>5</sub>), 15 mg; folic acid (B<sub>9</sub>), 0.45 mg.

<sup>2)</sup> The mineral premix contains the followings per kg of diet: Mn, 86.4 mg; Zn, 72 mg; Fe, 74.6 mg; Cu, 6 mg; I, 1.5 mg; Co, 0.288 mg; Se, 0.216 mg.

<sup>3)</sup> Mono-di-calcium phosphate.

<sup>4)</sup> True metabolizable energy.

<sup>5)</sup> Metabolizable energy.

Life Sciences, USA)를 이용하였고, 흡광도 측정에는 ELISA reader(Powerwave XS, Biotek Co. USA)를 이용하였다.

### 3. 통계분석

통계처리는 SAS(2004) 9.1의 GLM 프로그램을 이용하여 일반선형모델분석을 실시하여 사육밀도, 단백질 수준, 사육 밀도와 단백질 수준의 상호효과를 contrast 비교하였다. 처리 구간 유의성 검정은 Duncan's multiple range test를 이용하여 0.05% 수준에서 실시하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. 사양성적 및 영양소 이용률

사료 단백질 수준과 사육밀도가 한협 3호 육계의 증체량에 미치는 영향을 나타낸 결과는 Table 3과 같다. 표에서 보는 바와 같이, 사육밀도에 따라 육성전기(10~40 d) 증체량은 수치적으로는 다소 차이는 있었으나, 통계적으로 유의적인 차이는 나타나지 않았다. 그러나 육성후기의 경우 각각 41~60일과 61~75일 구간에서 모두 사육밀도가 낮아질수록 증체량이 증가( $p<0.05$ )하였다. 이로 인하여 전 구간 증체량에

**Table 3.** Effect of dietary protein levels and stocking density on weight gain

Protein levels (PL) (%)	Stocking density (SD) (birds/m <sup>2</sup> )	Weight gain (g/bird) by growth phase(d)			
		10~40 d	41~60 d	61~75 d	Overall (10~75 d)
19	6.3	842	806 <sup>a</sup>	517 <sup>ab</sup>	2,142 <sup>a</sup>
	9.5	822	752 <sup>ab</sup>	542 <sup>a</sup>	2,132 <sup>a</sup>
	12.6	813	757 <sup>ab</sup>	435 <sup>bc</sup>	1,978 <sup>b</sup>
18	6.3	844	751 <sup>ab</sup>	536 <sup>a</sup>	2,093 <sup>a</sup>
	9.5	837	817 <sup>a</sup>	480 <sup>abc</sup>	2,087 <sup>a</sup>
	12.6	819	727 <sup>b</sup>	406 <sup>c</sup>	1,941 <sup>b</sup>
SEM		21.72	43.00	59.78	56.96
PL		NS	NS	NS	NS
P-values SD		NS	0.0501	0.0047	<.0001
PL×SD		NS	NS	NS	NS

<sup>NS</sup> Not significant.

<sup>a-c</sup> Means with different superscripts in the same column significantly differ ( $p<0.05$ ).

서도 사육밀도에 따라 증체량의 차이( $p<0.05$ )가 나타났다. 이는 Meluzzi et al.(2008)과 Feddes et al.(2002)의 연구에서 처럼 수당 사육 면적이 증가할수록, 즉 사육밀도가 낮아질수록 일당 증체량이 증가하였다는 보고와 유사한 결과이다. 하지만 Dozier et al.(2005, 2006)은 오히려 사육밀도가 증가할수록 증체량도 증가하였다고 발표하여 본 연구 결과와는 다른 결과를 나타내었다. 이는 본 시험과 육계의 성장 속도가 다르고, 주요 성장이 이루어지는 구간이 다른 점도 영향을 미친 것으로 보인다. 실제 중국의 지속 성장 육계 품종을 대상으로 한 실험에서는 사육밀도가 증가함에 따라 증체량이 감소하였다(Tong et al., 2012).

본 연구에서 사료 단백질 수준은 지속 성장 육계의 증체량에 영향을 미치지 않았다. Rezaei et al.(2004)과 Sterling et al.(2003)의 보고에 따르면 사료 단백질 함량이 높아짐에 따라 증체량이 증가하였다. 그러나 지속 성장 육계를 대상으로 실험한 Lee et al.(2008)은 육성후기(6~10주령)에 사료 단백질 수준을 각각 18%와 19%로 달리하여 급여하였을 때, 오히려 18% 급여구에서 높은 증체량을 나타내었다고 보고하였다. 그러나 본 연구에서는 육성후기 사료 단백질 수준의 차이가 증체량에 큰 영향을 미치지 못한 것으로 나타났다. 따라서 이들 결과를 종합하여 보면, 지속 성장 육계와 고속 성장 육계 간에 사료 단백질이 미치는 영향력이 차이가 있을 수 있음을 보여주었다.

Table 4는 사육밀도와 육성후기 사료 단백질 수준이 사료 섭취량에 미치는 영향을 나타낸 결과이다. 사육밀도가 증가함에 따라 사료섭취량은 감소하였으며, 특히 고밀도 사육 시 유의적으로( $p<0.05$ ) 감소하였다. 이 결과는 육계의 사육밀도가 높아질수록 사료섭취량이 점차 감소하였다는 Dozier et al.(2006)과 같은 결과이다. 특히 체중이 작아 물리적으로 밀도의 영향이 적을 것으로 예상되는 육성 전기에도 사육밀도에 따라 사료섭취량에 차이( $p<0.05$ )가 나타났다. 실제 지속 성장 육계의 사육밀도가 증가함에 따라 사육전기, 사육후기 모두 사료 섭취량이 감소하였다(Tong et al., 2012). 체구가 작은 사육전기에도 사료섭취량이 감소한 것은 주어진 공간에서의 상호 경쟁에 영향을 미치는 마리 수가 사료섭취량에 영향을 미친 것으로 해석된다. 사료 단백질 수준에 따라서 사료섭취량에서는 차이가 나타났다. 41~60일 기간과 61~75일 기간 모두, 19% 단백질 사료의 섭취량이 18% 단백질 사료의 섭취량에 비하여 높았으며( $p<0.05$ ), 이에 따라 사양 전 기간 총 사료섭취량에서도 차이가( $p<0.05$ ) 나타났다. 그러나 사육밀도와 사료 단백질 수준 간 상호 작용으로 18% 단백질 사료 급여 군에서는 오히려 저 밀도(6.3 수/m<sup>2</sup>)구에

**Table 4.** Effect of dietary protein levels and stocking density on feed intake

Protein levels (PL) (%)	Stocking density (SD) (birds/m <sup>2</sup> )	Feed intake (g/bird) by growth phase(d)			
		10~40 d	41~60 d	61~75 d	Overall (10~75 d)
19	6.3	1,793 <sup>a</sup>	1,988 <sup>a</sup>	1,620 <sup>ab</sup>	5,401 <sup>a</sup>
	9.5	1,720 <sup>abc</sup>	1,948 <sup>a</sup>	1,682 <sup>a</sup>	5,349 <sup>a</sup>
	12.6	1,656 <sup>bc</sup>	1,853 <sup>b</sup>	1,208 <sup>c</sup>	4,717 <sup>c</sup>
18	6.3	1,762 <sup>ab</sup>	1,830 <sup>b</sup>	1,572 <sup>b</sup>	5,164 <sup>b</sup>
	9.5	1,734 <sup>abc</sup>	2,001 <sup>a</sup>	1,602 <sup>b</sup>	5,337 <sup>a</sup>
	12.6	1,643 <sup>c</sup>	1,838 <sup>b</sup>	1,186 <sup>c</sup>	4,667 <sup>c</sup>
SEM		70.31	45.80	42.28	108.06
PL		NS	0.0461	0.0095	0.0361
P-values SD		0.0065	0.0001	<.0001	<.0001
PL×SD		NS	0.0007	NS	0.0258

<sup>NS</sup> Not significant.

<sup>a-c</sup> Means with different superscripts in the same column significantly differ ( $p<0.05$ ).

비하여 중등 밀도(9.5 수/m<sup>2</sup>)구에서 사료섭취량이 높았으나 ( $p<0.05$ ), 19% 단백질 사료 급여군에서는 저 밀도 구와 중등 밀도 구간에 차이가 없었다.

사료요구율도 사육밀도의 영향을 받는 것으로 나타났다. 그러나 사료섭취량이 현저히 낮았던 고밀도 구에서 사료요구율이 가장 낮았는데, 이는 Tong et al.(2012)의 연구 결과와 유사하였다. 이는 고밀도 구에서 증체량이 낮은 정도에 비하여 사료섭취량 감소폭이 상대적으로 커, 사료요구율이 오히려 낮게 산출되었기 때문인 것으로 보인다. 본 실험에서 사료 단백질 수준은 사료요구율에 큰 영향을 미치지 않았다. 다만 18% 단백질 사료군 중 중등 밀도구의 사료요구율이, 19% 단백질 사료군의 고밀도 구에 비하여 유의적으로( $p<0.05$ ) 높았으나, 사료 단백질 수준과 사육밀도 간 상호 효과에는 유의성이 없었다. Park et al.(2011)은 저속성장 육계에 단백질 수준과 에너지 수준을 달리한 유기사료를 급여하여 실험한 결과, 증체량과 사료섭취량 모두 사료의 에너지 및 단백질 수준에 의한 차이가 없었다고 하였다. 그러나 사료요구율은 에너지 수준에 따라서는 차이가 없었으나, 단백질 수준이 감소할수록 증가하였다고 보고하여 본 연구결과와는 다른 결과를 보여주었다. 그러나 저속성장 육계의 경우, 전기보다

**Table 5.** Effect of dietary protein levels and stocking density on feed conversion ratio (F/G)

Protein levels (PL) (%)	Stocking density (SD) (birds/m <sup>2</sup> )	Feed/gain (F/G) by growth phase (d)			
		10~40 d	41~60 d	61~75 d	Overall (10~75 d)
19	6.3	2.13	2.48	3.20 <sup>ab</sup>	2.53 <sup>ab</sup>
	9.5	2.09	2.49	3.12 <sup>abc</sup>	2.51 <sup>abc</sup>
	12.6	2.04	2.45	2.78 <sup>c</sup>	2.39 <sup>c</sup>
18	6.3	2.09	2.44	2.95 <sup>bc</sup>	2.47 <sup>abc</sup>
	9.5	2.08	2.46	3.38 <sup>a</sup>	2.55 <sup>a</sup>
	12.6	2.01	2.54	3.01 <sup>abc</sup>	2.41 <sup>bc</sup>
SEM		0.10	0.12	0.41	0.08
PL		NS	NS	NS	NS
P-values SD		NS	NS	0.031	0.0133
PL×SD		NS	NS	NS	NS

<sup>NS</sup> Not significant.

<sup>a-c</sup> Means with different superscripts in the same column significantly differ ( $p<0.05$ ).

후기에 에너지 수준을 높여주고, 단백질 수준을 낮추어 주는 것이 효과적이라고 보고한 결과들(Lee et al., 2008; Jeong et al., 2009; Na et al., 2009)을 고려할 때, 저속성장 육계의 육성후기에 사료 단백질 수준을 1% 정도 낮추어 주는 것은 생산성에 큰 영향을 미치지 못할 것으로 판단된다.

## 2. 계육의 저장성 평가(TBARS), 계육성분, 육색

사육밀도와 단백질 수준의 차이가 계육의 저장성에 미치는 영향을 평가하기 위해 저장기간별로 TBARS 값을 측정 한 결과는 Table 6과 같다. 처리구에 상관없이 저장 시간이 경과함에 따라 계육의 TBARS 수치가 높아지기는 하였지만, 사료의 단백질 수준이나 사육밀도는 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. Table 7은 육성후기 사료의 단백질 수준과 사육밀도가 닭고기의 육색에 미치는 영향을 나타낸 결과이다. 본 연구에서 사육밀도는 육색에 영향을 미치지 않았는데, 이는 Tong et al.(2012)의 결과와 동일하다. 육색의 명도를 나타내는 L\*은 처리구 간에 유의적인 차이는 나타나지 않았지만, 18% 단백질 사료를 급여한 처리구가 19% 단백질 사료를 급여한 처리구에 비하여 높은( $p<0.05$ ) 결과를 나타냈다. 반면, 적색도를 나타내는 a\*의 경우 19% 단백질 사

**Table 6.** TBARS values of meat from birds raised with different dietary protein levels and stocking density

Protein levels (PL) (%)	Stocking density (SD) (birds/m <sup>2</sup> )	TBARS values by storage times (d)			
		0	5	10	15
19	6.3	0.2075	0.2955	0.5415	0.8086
	9.5	0.1876	0.3165	0.5918	0.7816
	12.6	0.1927	0.3205	0.5519	0.8233
18	6.3	0.2038	0.3104	0.5359	0.7846
	9.5	0.2164	0.3011	0.6136	0.8056
	12.6	0.1895	0.3143	0.5816	0.8113
SEM		0.0935	0.0906	0.1026	0.1193
P-values	PL	NS	NS	NS	NS
	SD	NS	NS	NS	NS
	PL×SD	NS	NS	NS	NS

<sup>NS</sup> Not significant.

**Table 7.** Color of meat from birds raised with different dietary protein levels and stocking density

Protein levels (PL) (%)	Stocking density (SD) (birds/m <sup>2</sup> )	Meat color		
		L*	a*	b*
19	6.3	54.24	2.73 <sup>a</sup>	3.86 <sup>b</sup>
	9.5	54.33	2.15 <sup>ab</sup>	4.48 <sup>b</sup>
	12.6	53.69	2.55 <sup>a</sup>	6.30 <sup>a</sup>
18	6.3	55.56	1.14 <sup>b</sup>	3.92 <sup>b</sup>
	9.5	54.75	1.22 <sup>b</sup>	3.75 <sup>b</sup>
	12.6	55.87	1.87 <sup>ab</sup>	4.82 <sup>b</sup>
SEM		2.54	1.34	1.40
P-values	PL	0.0326	0.0013	NS
	SD	NS	NS	0.0002
	PL×SD	NS	NS	NS

<sup>NS</sup> Not significant.

<sup>a-c</sup> Means with different superscripts in the same column significantly differ ( $p < 0.05$ ).

료를 급여한 구가 18% 단백질 사료를 급여한 구에 비하여 높은( $p < 0.05$ ) 결과를 나타냈다. 황색도를 나타내는 b\*는 사료의 단백질 수준에 따른 차이는 나타나지 않았지만, 사육

밀도가 높아짐에 따라 높은( $p < 0.05$ ) 수치를 나타냈다. 육색은 근육의 구조, 육색소의 양과 화학적 형태에 따라 다르게 나타나며(Brith et al., 1978), 아울러 육질과도 연관성이 높은 것으로 보고되고 있다(Warriss et al., 1989). 급여 사료는 육색에 영향을 미치는 가장 큰 요인의 하나인 것으로 보고된 바 있다(Dugan et al., 1999). 따라서 본 시험에서도 사료 단백질 수준이 육색에 영향을 미친 것으로 보인다. 사육 밀도 또한 근육 성장이나 스트레스 정도에 영향을 미치며, 이에 따라 육색이나 육질도 변하게 된다. Chae et al.(2009)은 고속 성장 육계를 대상으로 한 실험에서, 고밀도 처리구에서 저밀도 처리구에 비하여 PSE육 발생 정도가 높았고, PSE육의 명도 값을 측정한 결과, 정상육 68 정도에 비해 높은 수치를 나타내었다고 보고하였다. 저속 성장 육계를 대상으로 한 본 연구에서는 사육밀도가 영향을 나타내기는 하였으나, 측정된 명도(L)값은 모든 처리구에서 53~55수준으로 고속 성장 육계에 비하여 낮은 결과를 나타내었다. 이는 사육밀도가 육색에 미치는 영향력이 대상 육계의 성장 속도에 따라 달라질 수 있음을 보여주었다.

사료 단백질 수준과 사육밀도의 차이가 저속성장 육계의 가슴육 및 다리육의 일반성분 함량에 미치는 영향은 Table 8과 같다. 사육밀도는 가슴육의 수분함량에 영향을 미치지 않았는데, 이는 Tong et al.(2012)의 연구 결과와 일치하였다. 하지만 사료 단백질 수준은 유의적인 차이( $p < 0.05$ )를 나타내었다. 가슴육의 수분 함량은 19% 단백질, 9.5 수/m<sup>2</sup> 구에서 73.69%로 가장 높았으며, 18% 단백질, 6.3 수/m<sup>2</sup> 구에서 72.15%로 가장 낮은 결과를 나타내었다. 닭고기의 조단백질 함량도 사료의 단백질 수준과 사육밀도에 따라 유의적인 차이( $p < 0.05$ )를 나타내었다. 19% 단백질 사료 급여 군 중 사육밀도 6.3 수/m<sup>2</sup>구에서 25.85%로 가장 높았고, 18% 단백질 사료 급여 군 중 6.3수/m<sup>2</sup> 구에서 24.24%로 가장 낮게 나타났다. 이러한 결과는 저 밀도구의 체중이 상대적으로 높아, 조직 내 단백질 비중이 상대적으로 낮게 산출되기 때문인 것으로 판단된다. 가슴육의 조회분 함량은 사육밀도가 높아짐에 따라 증가하였다( $p < 0.05$ ). 그러나 가슴육의 Ca과 P 함량에서는 유의적인 차이가 없었다.

다리육의 수분, 조단백질, 조회분 함량은 처리구간에 유의적인 차이가 없었으나, Ca의 함량은 19% 단백질 사료 급여구가 18% 단백질 사료 급여구보다 높았다( $p < 0.05$ ). 다리육의 Ca의 함량은 사육밀도가 증가함에 따라 낮아지는( $p < 0.05$ ) 결과가 나타났다. 다리육의 P의 함량은 19% 단백질 구가 18% 단백질 구에 비해 높았다( $p < 0.05$ ). 다리육의 Ca과 P의 함량 모두 사료 단백질과 사육밀도 간 교호 효과( $p < 0.05$ )가 나타났

**Table 8.** Proximate and mineral composition of meats from birds raised with different dietary protein levels and stocking density

Protein levels (PL) (%)	Stocking density (SD) (birds/m <sup>2</sup> )	Breast meat					Leg meat				
		MO	CP	Ash	Ca	P	MO	CP	Ash	Ca	P
		----- (%) -----									
19	6.3	72.51 <sup>ab</sup>	25.85 <sup>a</sup>	1.60 <sup>b</sup>	0.17	0.27	76.08	20.48	1.04	0.22 <sup>a</sup>	0.17 <sup>b</sup>
	9.5	73.69 <sup>a</sup>	24.54 <sup>b</sup>	1.72 <sup>ab</sup>	0.16	0.25	76.19	19.79	1.03	0.15 <sup>b</sup>	0.32 <sup>a</sup>
	12.6	73.10 <sup>ab</sup>	24.92 <sup>b</sup>	1.95 <sup>a</sup>	0.17	0.22	76.59	19.65	1.10	0.17 <sup>b</sup>	0.22 <sup>b</sup>
18	6.3	72.15 <sup>b</sup>	24.24 <sup>c</sup>	1.59 <sup>b</sup>	0.14	0.26	76.93	20.31	1.05	0.16 <sup>b</sup>	0.18 <sup>b</sup>
	9.5	72.85 <sup>ab</sup>	24.72 <sup>b</sup>	1.58 <sup>b</sup>	0.13	0.21	76.73	19.54	1.05	0.15 <sup>b</sup>	0.16 <sup>b</sup>
	12.6	72.97 <sup>ab</sup>	25.12 <sup>ab</sup>	1.82 <sup>ab</sup>	0.18	0.46	76.84	20.09	1.01	0.14 <sup>b</sup>	0.18 <sup>b</sup>
SEM		0.92	0.56	0.19	0.03	0.17	1.40	0.89	0.06	0.03	0.06
P-values	PL	0.045	<0.01	NS	NS	NS	NS	NS	NS	0.011	0.015
	SD	NS	<0.01	0.017	NS	NS	NS	NS	NS	0.016	NS
	PL×SD	NS	<0.01	NS	NS	NS	NS	NS	NS	0.047	0.015

Abbreviations: MO, moisture; CP, crude protein; <sup>NS</sup> Not significant.

<sup>a-c</sup> Means with different superscripts in the same column significantly differ ( $p < 0.05$ ).

다. 본 연구에서 나타난 육계 가슴육의 성분은 저속 성장 육계를 대상으로 한 연구(Kweon et al., 1995)에서 가슴육의 수분, 조지방, 조단백질, 조회분 함량이 각각 74.78%, 1.02%, 23.37%, 1.61%이었다는 보고와 유사하였다.

### 3. 골격 내 P, Ca 함량

사료 단백질 수준과 사육밀도의 차이가 저속성장 육계 골격의 회분, Ca 및 P 함량에 미치는 영향은 Table 9와 같다. 골격의 회분 함량은 사료의 단백질 수준이나 사육밀도에 따라 차이를 나타내지 않았다. 단지 19% 단백질 사료를 급여한 군에서는 저밀도 구에 비하여 고밀도 구에서 골격의 회분 함량이 높았다( $p < 0.05$ ). 그러나 회분 중 Ca과 P 함량에서는 차이가 없었다. Newman and Leeson(1998)은 battery cage에서 사육된 산란계에 비해 aviary에서 사육된 산란계가 활동량의 증가로 골격의 회분함량이 증가하였다고 발표하였다. 육계의 경우, 뼈의 발육은 활동량과 비례하였으며(Rutten et al., 2002), 닭의 골격 내 회분함량은 체중과 밀접한 관련이 있는 것으로 보고되었다(Talaty et al., 2009). 그럼에도 고속 성장 육계의 사육밀도(11.25 수/m<sup>2</sup>와 7.5 수/m<sup>2</sup>) 간 비교 연구에서(Simssek et al., 2011) 뼈의 회분함량에서는 차이가 없었다. 본 시험에서 저속성장 육계의 사양시험 종료 시 체중이 고속 성장 육계의 출하 체중에 비하여 높았고, 활동량도 상대적으로 많아, 사육밀도가 골격 조성에 큰 영향을 미치지

**Table 9.** Mineral composition of bone from birds raised with different dietary protein levels and stocking density

Protein levels (PL) (%)	Stocking density (SD) (birds/m <sup>2</sup> )	Bone minerals		
		Ash (%)	Ca (% ash)	P (% ash)
19	6.3	56.59 <sup>b</sup>	40.82	19.31
	9.5	57.50 <sup>ab</sup>	41.10	20.01
	12.6	57.82 <sup>a</sup>	40.89	19.91
18	6.3	56.96 <sup>ab</sup>	40.62	19.99
	9.5	57.61 <sup>ab</sup>	40.63	19.43
	12.6	56.82 <sup>ab</sup>	40.84	19.52
SEM		0.66	1.22	0.54
P-values	PL	NS	NS	NS
	SD	NS	NS	NS
	PL×SD	NS	NS	NS

<sup>NS</sup> Not significant.

<sup>a,b</sup> Means with different superscripts in the same column significantly differ ( $p < 0.05$ ).

못했던 것으로 판단된다.

### 4. 혈청 내 Corticosterone 농도

사료의 단백질 수준과 사육밀도가 스트레스 호르몬인 corticosterone 농도에 미치는 영향을 Table 10에 나타내었다. 혈청 내 corticosterone 농도의 수준은 사육밀도가 낮아질수록 낮았고( $p=0.052$ ), 동일 사육 밀도인 경우 사료 단백질 19% 구가 18% 구에 비하여 모두 낮았다. 실제 6.3 수/m<sup>2</sup> 사육밀도, 19% 단백질 사료구의 혈청 corticosterone 농도가 1.92로 가장 낮게 나타났고, 12.6 수/m<sup>2</sup> 사육밀도, 18% 단백질구가 3.84로 2배 가량 높았다. 이는 육계의 사육밀도가 높아짐에 따라 corticosteroid 농도가 증가하였다(Mashaly et al., 1984)는 결과, 사육밀도의 증가는 사료 및 음수공간에서의 경쟁으로 인해 혈액 내 스트레스 호르몬의 증가(Craig et al., 1986)를 가져온다는 연구와 맥락을 같이 한다. 그러나 사육밀도가 스트레스 호르몬의 수준에 큰 영향을 미치지 않았다고 한 연구(Thaxton et al., 2006; Tong et al., 2012)와는 다른 결과이다. 이와 관련 Dozier et al.(2005)은 육계 체중 20~50 kg/m<sup>2</sup> 구간에서는 실제 단위 공간 당 물리적인 체중 과밀도가 스트레스의 원인이 될 수 있다고 하였다. 본 연구에서 설계한 12.6 수/m<sup>2</sup> 사육밀도를 사양 시험 종료 시점 단위 면적 당 체중으로 환산하면 약 30 kg/m<sup>2</sup> 정도로 상기 연구(Dozier et al., 2005)의 기준에 의하면 스트레스 유발 사육밀도라고 보기 어렵다. 그렇지만 본 시험의 결과가 상대적으로 활동성이 강한 저속 성장 한협 3호 육계라는 점에서 일반 고속 성장 육계가 단위면적당 체중 밀도에 반응하는 것과는 다를 수 있음을 보여주었다.

## 적 요

세 수준(6.3, 9.5, 12.6 수/m<sup>2</sup>)의 사육밀도와 사료 단백질 수준(19%, 18%)이 저속성장 육계(한협 3호)의 육성성적, 영양소 이용률, 닭고기 저장성, 육색, 계육 성분 및 뼈의 광물질 조성과 혈청 corticosterone 함량에 미치는 영향을 조사하였다. 사육 밀도는 한협 3호 육성성적에 유의적인 영향을 미치는 것으로 나타났다. 증체량은 저 밀도인 6.3 수/m<sup>2</sup> 구에서 가장 높았으며, 고밀도(12.6 수/m<sup>2</sup>) 구에서 가장 낮았다. 특

히 고사육 밀도에서는 사료섭취량이 유의적으로 감소한 것으로 나타났다. 그러나 낮은 사료섭취량으로 인하여 고사육 밀도 계군의 사료요구율이 타 사육 밀도 계군의 사료요구율에 비하여 상대적으로 낮았다. 고밀도 계군에서의 사료 섭취량 저하와 낮은 사료요구율은 41~60일 구간보다는 61~75일 구간에 현저하게 나타났는데, 그 영향으로 전 사육기간의 사료섭취량과 사료요구율도 차이가 나타났다. 본 연구에서 사료 단백질 1% 차이는 증체량과 사료요구율에 차이를 나타내지 않았다. 다만 41~75일 구간 사료섭취량은 단백질 19% 구에 비하여 오히려 18% 구에서 낮았다. 저장 중 계육의 TBARS 값은 처리구간에 차이가 없었다. 하지만 계육의 적색도와 명도는 사료 단백질 수준에 따라, 황색도는 사육 밀도에 따라 차이가 나타났다. 가슴육의 단백질 함량과 다리육의 Ca과 P의 함량은 각각 사료 단백질 수준과 사육밀도에 영향을 받았다. 사료의 단백질 수준과 사육밀도는 뼈의 회분 함량 및 회분 중 Ca과 P의 함량에는 영향을 미치지 않았다. 혈청 corticosterone 함량은 사육밀도가 낮을수록 낮게 나타났으나, 사료 단백질 수준에 따른 차이는 없었다. 본 연구 결과, 저속성장 육계 한협 3호 사육후기 단계에 고사육 밀도(12.6 수/m<sup>2</sup>)로 사육하는 것은 생산성을 하락시킬 뿐 아니라, 혈청 corticosterone 함량도 높으므로 바람직하지 않음을 알 수 있었다. 또한 한협 3호 육계의 후기 사료 단백질을 18% 수준으로 설계하더라도 생산성에 차이가 없음을 알게 되었다.

(색인어: 한국 저속성장 육계(한협 3호), 사육밀도, 사료 단백질, 육성 성적, 혈청코티코스테론)

## 사 사

본 연구는 농축산식품부에서 시행한 '동물복지형 양계산물 생산시스템 개발 사업(과제번호 120090477)' 에서 지원되었음.

## REFERENCES

**Table 10.** Serum corticosterone concentration of birds raised with different dietary protein levels and stocking density

Protein levels (PL) (%)	19			18			SEM	<i>P</i> -values		
	6.3	9.8	12.6	6.3	9.5	12.6		PL	SD	PL×SD
Stocking density (SD) (birds/m <sup>2</sup> )	6.3	9.8	12.6	6.3	9.5	12.6				
Corticosterone (ng/mL)	1.92 <sup>b</sup>	2.10 <sup>ab</sup>	3.31 <sup>ab</sup>	2.22 <sup>ab</sup>	3.60 <sup>ab</sup>	3.84 <sup>a</sup>	1.30	NS	0.052	NS

<sup>NS</sup> Not significant.

<sup>ab</sup> Means with different superscripts in the same row significantly differ ( $p<0.05$ ).



- Acar N, Sizemore FG, Leach GR, Wideman Jr RF, Owen RL, Barbato GF 1995 Growth of broiler chickens in response to feed restriction regimens to reduce ascites. *Poult Sci* 74:833-843.
- Association of Official Analytical Chemists 1995 Official Method of Analysis. 16th Ed. Arlington VA.
- Botsoglou NA, Fletouris DJ, Papageorgous GE, Vassilopoulos VN, Mantis AJ, Trakatellis AG 1994 Rapid, sensitive, and specific thiobarbituric acid method for measuring lipid peroxidation in animal tissue, food and feedstuff samples. *J Agric Food Chem* 41:1931-1937.
- Brith GS, Davis CE, Teensend WE 1978 The scatter coefficient as a measure of pork quality. *J Anim Sci* 46:639-645.
- Buyse J, Michels H, Vloeberghs J, Saevels P, Aerts JM, Ducro B, Berckmans D, Decuypere E 1998 Energy and protein metabolism between 3 and 6 weeks of age of male broiler chickens selected for growth rate or for improved food efficiency. *Br Poult Sci* 3:264-272.
- Chae HS, Kang HS, Too YM, Jang A, Jeong SG, Ham JS, Ahn CN 2009 Effect of stocking density on chicken meat grades and PSE incidence in broiler house with or without Window. *Kor J Poult Sci* 36:1-7.
- Craig JV, Craig JA, Vargas JV 1986 Corticosterone and other indicators of hens' well-being in four layinghouse environments. *Poult Sci* 65:856 - 863.
- 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.
- Dozier IIIWA, Thaxton JP, Purswell JL, Olanrewaju HA, Branton SL, Roush WB 2006 Stocking density effects on male broilers grown to 1.8 kilograms of BW. *Poult Sci* 85:344-351.
- Dugan MER, Aglhus JL, Jeremiah LE, Kramer JKG, Schaefer AL 1999 The effect of feeding conjugated linolein acid and an subsequent pork quality. *Can J Anim Sci* 79:45-51.
- Fanatico AC, Pillai PB, Hester PY, Falcine C, Mench JA, Owens CM, Emmert JL 2008 Performance, livability, and carcass yield of slow- and fast-growing chicken genotypes fed low-nutrient or standard diets and raised indoors or with outdoor access. *Poult Sci* 81:1012-1021.
- Feddes JJ, Emmanuel EJ, Zuidhof MJ 2002 Broiler performance, bodyweight variance, feed and water intake, and carcass quality at different stocking densities. *Poult Sci* 81:774-779.
- Garner JP, Falcone C, Wakenell P, Martin M, Mench JA 2002 Reliability and validity of a modified gait scoring system and its use in assessing tibial dyschondroplasia in broilers. *Br Poult Sci* 43:355-363.
- Jeong YD, Youn MJ, Ryu MS, Ryu KS 2009 Effects of dietary various energy and protein levels on productivity, blood composition and meat quality in cross-bred chicks. *Kor J Poult Sci* 36:57-67.
- Kweon YJ, Yeo JS, Sung SK 1995 Quality characteristics of Korean native chicken meat. *Kor J Poult Sci* 22:223-241.
- Lee HS, Kang BS, Na JC, Ryu KS 2008 Effects of dietary energy, protein on growth and blood composition in cross-bred with Korean native chicks. *Kor J Poult Sci* 35:399-405.
- Mashaly MM, Webb mL, Yountz SL, Roush WB, Graves HB 1984 Changes in serum corticosterone concentration of laying hens as a response to increased population density. *Poult Sci* 63:2271-2274.
- Meluzzi A, Fabbri C, Folegati 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* 49:509-515.
- Mench JA 2002 Broiler breeders : Feed restriction and welfare. *World's Poult Sci J* 58:23-29.
- Na JC, Kim HK, Chung HK, Kang BS, Kim WB 1998 Effect of various feeding regimen on the performance of Korean native chicken consuming broiler diets. *Kor J Poult Sci* 25:65-70.
- Na JC, Park SB, Bang HT, Kang HK, Kim MJ, Choi HC, Seo OS, Ryu KS, Jang HK, Choi JT 2009 Effect of protein and energy levels on performance and carcass rate in cross bred chicks. *Kor J Poult Sci* 36:23-28.
- Newman S, Leeson S 1998 Effect of housing birds in cage or an aviary system on bone characteristics. *Poult Sci* 77: 1492-1496.
- Nielsen BL, Thomsen MG, Sorensen P, Young JF 2003 Feed and strain effects on the use of outdoor areas by broilers. *Br Poult Sci* 44:161-169.
- Park JH, Jeong YD, Yoon MJ, Ryu KS 2011 Performance,

- meat quality and blood composition of cross bred chicks fed various organic dietary CP and ME. *Korean J Org Agric* 19:199-214.
- Rezaei M, Nassiri Moghaddam H, Pour Reza J, Kermanshahi H 2004 The effect of dietary protein and lysine levels on broiler performance, carcass characteristics and N excretion. *Int J Poult Sci* 3:148-152.
- RSPCA 2011 Welfare Standards for Chickens. <http://www.rspca.org.uk>
- Rutten M, Letierrier C, Constantin P, Reiter K, Bessei W 2002 Bone development and activity in chickens in response to reduced weight-load on legs. *Anim Res* 51:327-336.
- SAS Institute 2004 SAS stat User's Guide Ver. 8. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.
- Simssek UG, Ciftci M, Cerci IH, Bayraktar M, Dalkilic B, Arslan Balci O 2011 Impact of stocking density and feeding regimen on broiler: performance, carcass traits and bone mineralization. *J Appl Poult Res* 29:230-233.
- Sterling KG, Pesti GM, Bakalli RI 2003 Performance of broiler chicks fed various levels dietary lysine crude protein. *Poult Sci* 82:1939-1947.
- Talaty P, Katanbaf MN, Hester PY. 2009. Bone mineralization in nine pedigree lines of meat-type chickens. <http://adsa.asas.org/meetings/2007/abstracts>
- Thaxton JP, Dozier IIIWA, Branton SL, Morgan GW, Miles DW, Roush WB, Lott BD, Vizzier-Thaxton 2006 Stocking density and physiological adaptive responses of broilers. *Poult Sci* 85:819-824.
- Tolkamp BJ, Sandilands V, Kyriazakis I 2005 Effects of qualitative feed restriction during rearing on the performance of broiler breeders during rearing and lay. *Poult Sci* 84:1286-1293.
- 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* 91:667-673.
- Wang KH, Shi SR, Dou TC, Sun HJ 2009 Effect of a free-range raising system on growth performance, carcass yield, and meat quality of slow-growing chicken. *Poult Sci* 88:2219-2223.
- Warries PD, Brown SD, Lopez-Bote C, Bevis EA, Adams SJM 1989 Evaluation of lean meat quality in pig using two electronics probes. *Meat Sci* 25:281-291.

---

Received Oct. 7, 2016, Revised Oct. 31, 2016, Accepted Nov. 17, 2016