



사육밀도가 토종닭 실용계 생산성 및 계육품질에 미치는 영향

김 찬 호¹ · 강 환 구^{2*}

¹국립축산과학원 가금연구소 박사후연구원, ²국립축산과학원 가금연구소 농업연구사

Effects of Stock Density on the Growth Performance, and Meat Quality of Korean Native Chickens

Chan Ho Kim¹ and Hwan Ku Kang^{2*}

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

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

ABSTRACT The effect of stocking density on the growth and meat quality of native Korean chickens was investigated. A total of 364 one-day-old native Korean chickens were randomly assigned to one of 5 treatments, each of which was replicated 4 times. Five distinct stocking densities-14, 15, 16, 18, and 22 birds/m²-were compared. The diet was fed *ad libitum* for 10 weeks. Results indicated that the final body weight, body weight gain, and feed intake were lower ($P<0.05$) for the 22 birds/m² stock density as compared to the other stock densities. There was no significant difference in the feed conversion ratio, proximate analysis (DM, crude protein, crude fat, and crude ash), water-holding capacity, and cooking loss among the different stock densities. These results indicate that increasing the stock density to 22 birds/m² elicits some negative effects on the growth performance and meat quality of Korean-native chickens.

(Key words: Korean native chicken, stock density, growth performance, meat quality, pH)

서 론

최근 국민소득의 증가로 인하여 축산물 소비의 다양화와 고급화에 따라 기호성 높은 토종닭을 선호하는 추세가 확산되고 있다. 토종닭은 지방함량이 적어 담백하고 육질이 단단하며, 특히 정미성분인 아미노산 및 핵산물이 다량 함유되어 있어 풍미가 우수하기 때문에 일반 육계보다 1.5~2배 이상 비싼 가격에 판매되고 있다(Ding et al., 1999; Jeon et al., 2010). 그러나 토종닭의 이러한 우수성에도 불구하고, 아직까지 토종닭에 대한 체계적인 사육밀도에 대한 연구가 부족한 실정이다. 가축의 사육 밀도는 단위면적당 사육두수 또는 한 마리당 점유면적으로 나타내며, 생산성과 밀접한 관계가 있다. 고밀도 사육시 스트레스에 따른 건강 및 이상 행동을 초래하여 생산성이 저하되지만, 단위 면적당 많은 수의 닭을 생산할 수 있어 생산업자들이 고밀도 사육을 선호하고 있다(Feddes et al., 2002; Woo et al., 2003; Vanhonacker

and Verbeke, 2009). 고밀도 사육은 환경 온도와 암모니아 발생 증가 및 체내 활성산소 증가 등과 같은 지속적인 스트레스를 유발시켜 항상성 유지의 불균형을 초래하기도 한다(Puvadoplirrod and Thaxton, 2000; Beloor et al., 2010; An et al., 2012). 산란계에서 고밀도 사육시 산란율 감소(Kang et al., 2016; Kang et al., 2018) 및 골밀도 감소(Kang et al., 2016)를 보고한 바 있다. 육계에서도 고밀도 사육시 체중 및 사료 섭취량 감소와 골밀도 감소를 보고한 바 있다(Sorensen et al., 2000; Feddes et al., 2002). 축산법에 따르면 토종닭의 사육밀도는 39 kg/m²(16수)로 육계의 사육밀도를 그대로 적용하고 있는 실정이다. 하지만 토종닭의 경우, 출하체중 및 사육기간 등이 육계와 다르기 때문에 육계의 사육밀도를 그대로 인용하기에는 무리가 있다. 따라서 본 연구에서는 토종닭의 적정 사육밀도를 구명하고자 사육밀도 수준에 따른 생산성 및 계육품질에 따른 영향을 구명하여 토종닭을 통해 국내 토종닭 산업의 국가 경쟁력 확보 및 적정 사육 수준을

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

제공하고자 수행하였다.

재료 및 방법

본 실험에서의 동물 관리 및 실험방법은 국립축산과학원 가금연구소 실험동물 관리 및 연구 윤리위원회의 규정과 허가(승인번호:2016-174)에 따라 실시하였다.

1. 시험 설계 및 사양관리

본 연구는 토종닭(개시체중 37.5 ± 0.79 g; GSP 중) 병아리 364수를 공시하여 20개의 floor pen(가로 1.0 m, 세로 1.0 m

= 1 m²)에 5개의 사육밀도 처리구(14, 15, 16, 18 및 22 수/m²) 및 4 반복을 두어 완전 임의 배치하였다. 사료는 한국가금사 양표준(2017)의 준육용계 영양소 요구량에 준하여 초이(0 to 35 d), 전기(36 to 56 d) 및 후기(57 to 70 d)를 배합하였다 (Table 1). 사양시험은 총 70일간 실시하였으며, 물과 사료는 자유 섭취하게 하였고, 적정온도를 유지하고 점등은 입추 후 3일간 24시간 점등, 이후 7일령까지 23시간 점등, 1시간 소등하고 8일령부터 시험 종료시까지 간헐점등(1L:2D) 하였으며, 조도는 10~15 lx로 조정하였다.

2. 조사항목 및 분석항목

Table 1. Composition and nutrient content of experimental diet

	Starter diet (0 to 35 d)	Grower diet (36 to 56 d)	Finisher diet (57 to 70 d)
Ingredient (%)			
Corn	50.17	55.76	61.27
Soybean meal	27.28	22.20	16.98
Wheat	15.60	15.60	15.60
Soybean oil	3.06	2.93	2.85
Limestone	1.65	1.52	1.28
MDCP	1.55	1.36	1.36
99%-D-L-methionine	0.19	0.13	0.06
78%-Lysine-HCl	0.05	0.05	0.15
Vitamin-mineral premix ¹	0.20	0.20	0.20
Salt	0.25	0.25	0.25
Total	100.00	100.00	100.00
Nutrient content ²			
AME _n (kcal/kg)	3,050	3,100	3,150
CP (%)	20.0	18.0	16.0
Lysine (%)	1.04	0.90	0.84
Met + Cys (%)	0.82	0.71	0.59
Calcium (%)	1.00	0.90	0.80
Available P (%)	0.45	0.40	0.40

¹ Provided per kilogram of the complete diet: vitamin A (vitamin A acetate), 12,500 IU; vitamin D₃, 2,500 IU; vitamin E (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 (FeSO₄ · 7H₂O), 40 mg; Cu (CuSO₄ · H₂O), 8 mg; Zn (ZnSO₄ · H₂O), 60 mg; Mn (MnSO₄ · H₂O) 90 mg; Mg (MgO) as 1,500 mg.

² Nutrient contents in all diet were calculated.

1) 성장성적

체중 및 사료 섭취량은 성장단계가 바뀌는 35일, 56일 및 시험종료시 70일 각각 측정하여 반복당 평균 체중으로 산출하였고, 사료 섭취량 및 증체량을 측정하여 사료 요구율을 계산하였다.

2) 가슴육 일반 성분

가슴육은 시험종료시(70 d) 발골하여 건물, 단백질, 지방, 회분 함량 분석을 AOAC(1990)에 준하여 분석하였다. 건물과 지방은 CEM 자동 추출 장치(Labwave 9000/FAS 9001, CEM Crop, Matthews, NC, USA)를 이용하여 측정하였으며, 단백질은 Kjeltex System(Kjeltex Auto 2400/2460, Fos Tecator AB, Hoganas, Sweden)을 이용하여 분석하였으며, 회분은 회분 분석기(MAS 7000, CEM Corp., Matthews, NC, USA)를 이용하여 정량 분석하였다.

3) 가슴육 색도

시험종료시(70 d) 발골한 가슴육을 2 cm 두께로 절단하여 공기 중에 30분 정도 노출시킨 후 색차계(Colormeter CR-300, Minolta Co., Osaka, Japan)를 이용하여 가슴 육의 표면색을 측정하였다. 명도(Lightness)를 나타내는 L*값, 적색도(redness)를 나타내는 a*값 및 황색도(yellowness)를 나타내는 b*값을 동일한 방법으로 6반복 측정하여 평균값을 계산하였다. 이때 표준색은 $Y=93.60$, $x=0.3134$, $y=0.3194$ 인 표준 백판을 이용하여 표준화 작업한 후 측정하였다.

4) 보수력

보수력은 Jang et al.(2011)의 방법에 따라, 시험관에 시험종료시(70 d) 발골한 가슴육을 약 0.5 g 측정하여 80℃의 항온 수조에서 20분간 가열하였다. 가열 후 10분 동안 실온에서 방냉 하였으며, 2,000 ×g에서 20분간 원심분리한 다음 시료의 무게를 측정하였다. 보수력은 다음 식을 이용하여 계산하였다.

$$\begin{aligned} \text{보수력 (\%)} &= [(총수분 - 유리수분) / 총수분] \times 100 \\ \text{유리수분} &= [(원심분리 전 무게 - 원심분리 후 무게) / \\ &\quad (\text{시료} \times \text{지방계수})] \times 100 \\ \text{지방계수} &= 1 - (\text{지방함량} / 100) \end{aligned}$$

5) 가열 감량

가열 감량은 Kim et al.(2017)의 방법에 따라, 시험종료 시 발골한 가슴육을 polyethylene bag에 넣고 가슴 육의 심부

온도가 75±2℃에 도달할 때까지 항온수조에서 45분간 가열하였다. 가열 감량 값은 가열 전 후의 중량 차이를 백분율로 하여 계산하였다.

$$\text{가열 감량 (\%)} = (\text{가열 전 무게} - \text{가열 후 무게}) / \text{가열 전 무게} \times 100$$

3. 통계분석

시험에서 얻어진 자료의 통계처리를 위하여 각 반복당 평균 생산성 및 육질특성을 SAS(1996) GLM(General Linear Model) Procedure를 이용하여 one-way ANOVA 분석을 하였으며, 각 pen이 초기, 전기 및 후기 평균생산성을 위한 실험 단위였으며, 육질 특성은 개체 실험 단위였다. 처리구간에 따른 차이 분석을 위해 Tukey's의 방법을 이용하여 $P<0.05$ 수준에서 평균값 간의 유의성을 검정하였다.

결과 및 고찰

1. 생산성

사육 밀도에 따른 생산성은 Table 2에 요약하였다. 시험종료 시 체중 및 증체량(0 to 35 d, 36 to 56 d 및 0 to 70 d)은 사육 밀도가 감소함에 따라 유의적으로($P<0.05$) 증가하였다. 사료 섭취량(0 to 35 d 및 0 to 70 d) 역시 사육밀도가 증가함에 따라 유의적으로($P<0.05$) 감소하였다. 하지만 사료 요구율은 기간별 사육 밀도에 따른 처리구 간 유의적인 차이는 나타나지 않았다. 본 연구는 육계에서 수당 사육면적이 증가할수록, 즉 사육 면적이 낮아질수록 증체량이 증가한 여러 연구와 유사하였다(Shanawany, 1988; Feddes et al., 2002; Meluzzi et al., 2008; Lee et al., 2016). Doizer et al.(2005)에 따르면, 최종 체중이 3 kg인 육계에서 사육 밀도가 30 kg에서 45 kg/m²으로 증가함에 따라 누적 증체량이 6% 감소했다고 보고한 바 있다. 본 연구에서는 2 kg 토종닭의 사육 밀도가 14 수/m²에서 22 수/m²로 증가함에 따라 13.1% 낮은 최종 체중이 측정되었다. 사육 밀도로 인한 성장 감소는 사료 섭취량 감소와 밀접한 관련이 있으며(Shanawany, 1988), 사료 섭취량 역시 육계의 사육 밀도가 증가함에 따라 사료 섭취량이 감소하였다는 Dozier et al.(2006) 보고와 유사하였다. 본 연구에서는 토종닭 사육 밀도가 14에서 22 수/m²으로 증가함에 따라 사료 섭취량은 15.3% 감소하였다. 축종은 다르지만 Feddes et al.(2002)는 1.9 kg 육계에서 사육 밀도가 14 수/m²에서 18 수/m²으로 증가했을 때 체중과 사료 섭취량이 각각 3.6% 및 3.2% 감소하였다고 보

Table 2. Effect of stocking density on growth performance of Korean Native chickens¹

Items	Stock density (birds/m ²)					SEM
	14	15	16	18	22	
Initial BW (g/bird)	37.8	36.8	37.9	37.3	37.7	
Final BW (g/bird)	2,123.9 ^a	2,196.3 ^a	2,006.7 ^{ab}	1,978.7 ^{ab}	1,851.0 ^b	0.182
BW gain (g/bird)						
0 to 35 d	815.2 ^a	826.7 ^a	718.8 ^b	753.2 ^b	662.3 ^c	14.37
36 to 56 d	731.1 ^{ab}	762.3 ^a	661.1 ^c	693.5 ^{bc}	656.9 ^c	16.50
57 to 70 d	539.9	570.6	588.9	494.7	494.1	36.49
0 to 70 d	2,086.1 ^a	2,159.5 ^a	1,968.8 ^{ab}	1,941.3 ^{ab}	1,813.3 ^b	44.41
Feed intake						
0 to 35 d	1456.7 ^a	1,430.6 ^a	1,257.7 ^b	1,158.7 ^c	1,158.1 ^c	18.45
36 to 56 d	1,792.6	1,798.6	1,610.7	1,629.8	1,573.1	50.07
57 to 70 d	1,557.1	1,625.4	1,674.6	1,451.6	1,340.6	36.84
0 to 70 d	4,806.3 ^a	4,854.6 ^a	4,543.0 ^a	4,240.4 ^{ab}	4,071.7 ^b	65.22
Feed conversion ratio						
0 to 35 d	1.79	1.73	1.75	1.54	1.75	0.040
36 to 56 d	2.45	2.36	2.44	2.35	2.39	0.080
57 to 70 d	2.88	2.85	2.84	2.93	2.71	0.176
0 to 70 d	2.30	2.25	2.31	2.18	2.25	0.041

^{a-c} Means with the different superscripts differ significantly ($P<0.05$).

¹ Data are least square means of 4 replicate per treatment.

고한 바 있다. 사료 섭취량이 감소한 이유는 주어진 공간에서 서로 상호 경쟁에 영향을 미치는 마리수가 사료 섭취량에 영향을 미친 것으로 생각된다. 닭들이 무거운 중량에 가까워짐에 따라 급이 공간을 증가해줌으로써 성장성에 대한 사육 밀도의 부정적인 영향을 개선할 수 있다.

2. 계육품질

사육 밀도의 영향에 따른 가슴육 일반성분은 Table 3에 요약하였다. 가슴육내 건물, 조단백질, 조지방, 조회분 함량은 각각 23.65~25.56%, 23.39~23.85%, 0.96~1.11% 및 1.05~1.11%를 나타냈으며, 사육 밀도에 따른 처리구간 유의적인 차이는 나타나지 않았다. 사육 밀도에 따른 가슴육의 육색의 변화, 보수력 및 가열감량은 Table 4에 나타내었다. 사육밀도에 따른 육색(CIE L*, a*, 및 b*)은 처리구간에 유의적인 차이가 나타나지 않았으며, 보수력 및 가열감량 역시 차이가 나타나지 않았다. 육색은 소비자들이 식육 구

매시 신선도와 품질을 판단하는데 매우 중요한 요소중 하나이다. 또한 육색은 시료 보관 및 운송 중에 변할 수 있어, 육색의 안전성은 매우 중요하다(Adams and Huffman, 1972). 특히 명도를 나타내는 L*값은 식육의 창백한 정도를 나타내며, 품질에 많은 영향을 미친다. 본 연구에서 나타난 육색의 변화는 CIE L*(56.06~57.65), CIE a*(4.14~4.56) 및 CIE b*(10.60~12.06)으로 나타났다. 식육의 보수력은 식육에 절단, 압착, 분쇄, 열처리 등과 같은 외부의 물리적인 힘을 가하였을 때, 식육 내 수분을 유지하려는 성질로 정의 내릴 수 있다(Choi et al., 2009). 보수력은 식육의 연도, 조직감, 육색, 다즙성에 영향을 미치며, 단백질 구조변화 등에 따라 증가한다(Wu and Smith, 1987). 또한, 가열 감량은 식육을 가열할 때 근섬유의 수축 및 근질의 단축으로 인해 식육의 보수력이 감소되어 가열 감량이 발생하게 된다(Cho et al., 2008). 본 연구에서는 가열 감량은 유의적인 차이는 나타나지 않았지만, 사육밀도가 증가함에 따라 가열 감량이 최대 1.6% 증

Table 3. Effect of stocking density on proximate analysis of Korean Native chickens (0 to 70 d)¹

Items	Stock density (birds/m ²)					SEM
	14	15	16	18	22	
DM (%)	24.68	25.56	23.65	24.40	24.15	0.453
Crude protein (%)	23.61	23.69	23.39	23.76	23.85	0.373
Crude fat (%)	1.04	1.02	0.96	1.11	0.97	0.070
Crude ash (%)	1.09	1.11	1.08	1.08	1.05	0.021

¹ Data are least square means of 6 replicate per treatment.

Table 4. Effect of stocking density on breast meat color, WHC, cooking loss, and pH of Korean Native chickens (0 to 70 d)¹

Items	Stock density (birds/m ²)					SEM
	14	15	16	18	22	
Meat color						
CIE L*	57.65	56.63	56.76	56.06	56.99	0.481
CIE a*	4.36	4.14	4.36	4.35	4.56	0.324
CIE b*	12.06	11.70	11.72	11.15	10.60	0.439
Water holding capacity (%)	48.21	50.06	55.18	52.24	52.87	1.832
Cooking loss (%)	21.94	23.10	23.73	22.29	22.94	1.043

¹Data are least square means of 6 replicate per treatment.

가하였다.

결론

본 연구는 GSP 신품종 토종닭 실용계 사육 시 적정 사육 밀도를 구명하고자 수행되었다. 총 10주간 GSP 신품종 토종닭 사육 시 사육면적이 22 수/m² 이상일 때 다른 처리구에 비해 체중 등 생산성이 감소시키는 것으로 나타나, 체 증 체량 개선을 위해 충분한 사육공간이 필요할 것으로 사료되며 향후 최적의 사육밀도 구명 등에 대한 다양한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

적요

본 연구는 토종닭 사육시 사육밀도가 생산성 및 계육품질에 미치는 영향을 구명하고자 수행되었다. 토종닭(Initial BW, 37.5±0.79 g)을 364수 공시하여 20개의 floor pen(가로

1.0 m, 세로 1.0 m)에 5개의 사육밀도 처리구 (14, 15, 16, 18 및 22 수/m²) 및 4반복을 두어 완전 임의 배치하였다. 사료와 물은 자유 급이하였다. 체중 및 증체량은 사육 밀도가 감소함에 따라 유의적으로($P<0.05$) 증가하였으며, 사료 섭취량은 사육 밀도가 증가함에 따라 유의적으로 감소하였다 ($P<0.05$). 반면에 사료 요구율은 사육 밀도에 따른 처리구 간 유의적인 차이는 나타나지 않았다. 계육 일반성분(건물, 단백질, 지방 및 회분)은 사육 밀도에 따른 처리구 간 유의적인 차이가 나타나지 않았으며, 계육 색도, 보수력 및 가열감량 역시 사육 밀도 처리에 따른 유의적인 차이가 나타나지 않았다. 그러나 pH 함량은 사육밀도가 증가함에 따라 유의적으로($P<0.05$) 증가하였다.

결론적으로 22 수/m² 이상 사육 시 토종닭의 체중 등 생산성에 부정적인 영향을 끼치는 것으로 나타나 과밀 사육된 것으로 사료되며, 이는 결과적으로 토종닭의 증체 등 생산성을 충분히 발휘하는데 제한적인 요소로 향후 이에 대한 다양한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

(색인어: 토종닭, 실용계, 사육밀도, 생산성, 계육품질)

사 사

본 연구는 농촌진흥청 공동연구사업(과제번호: PJ01282 1012019)와 ‘2020년도 농촌진흥청 국립축산과학원 전문연구원 과정 지원사업’에 이루어진 것으로 이에 감사드립니다.

ORCID

Chan Ho Kim <https://orcid.org/0000-0003-2121-5249>

Hwan Ku Kang <https://orcid.org/0000-0002-4286-3141>

REFERENCES

- Adams JR, Huffman DL 1972 Effect of controlled gas atmospheres and temperatures on quality of packaged pork. *J Food Sci* 37(6):869-872.
- An YS, Park JG, Jang IS, Shon SH, Moon YS 2012 Effects of high stocking density on the expressions of stress and lipid metabolism associated genes in the liver of chicken. *J Life Sci* 22(12):1672-1679.
- Belo MA, Schalch SH, Moraes FR, Soares VE, Otoboni AM, Moraes JE 2005 Effect of dietary supplementation with vitamin E and stocking density on macrophage recruitment and giant cell formation in the teleost fish, *Piaractus mesopotamicus*. *J Comp Pathol* 133(2-3):146-154.
- Cho SH, Kim JH, Seong PN, Cho YM, Chung WT, Park BY, Chung MO, Kim DH, Lee JM, Ahn CN 2008 Physicochemical meat quality properties and nutritional composition of Hanwoo steer beef with 1++ quality grade. *Korean J Food Sci An* 28(4):422-430.
- Ding H, Xu HJ, Chan DKO 1999 Identification of broiler chicken meat using a visible/near-infrared spectroscopic technique. *J Sci Food Agric* 79(11):1382-1388.
- Doizer III WA, 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(8):1332-1338.
- Doizer III WA, 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(2):344-351.
- Feddes JJ, Emmmanuel EJ, Zuidhoft MJ 2002 Broiler performance, body weight variance, feed and water intake and carcass quality at different stocking densities. *Poult Sci* 81(6):774-779.
- Jang AR, Ham JS, Kim DW, Chae HS, Kim SH, Seol KH, Oh MH, Chae HS, Kim SH, Kim DH 2011 Effect of quercetin and methoxylated quercetin on chicken thigh meat quality during cold storage. *Korean J Poult Sci* 38(4):265-273.
- Jeon HJ, Choe JH, Jung Y, Kruk ZA, Lim DG, Jo C 2010 Comparison of the chemical composition, textural characteristics, and sensory properties of North and South Korean Native chickens and commercial broilers. *Korean J Food Sci Ani Res* 30(2):171-178.
- Kang HK, Park SB, Jeon JJ, Kim HS, Kim SH, Hong EC, Kim CH 2018 Effect of stocking density on laying performance, egg quality and blood parameters of Hy-Line Brown laying hens in an aviary system. *Europ Poult Sci* 82:DOI:10.1399/eps.2018.245.
- Kang HK, Park SB, Kim SH, Kim CH 2016 Effects of stock density on the laying performance, blood parameter, corticosterone, litter quality, gas emission and bone mineral density of laying hens in floor pens. *Poult Sci* 95(10):2764-2770.
- Kim HJ, Kim D, Shin JS, Jang A 2017 Effects of dietary chitosan and probiotics on the quality and physicochemical characteristics in Hanwoo striploin. *J Agric Life Sci* 51(5):115-128.
- 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, 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(5):509-515.
- Puvadolpirod S, Thaxton JP 2000 Model of physiological stress in chickens 4. Digestion and metabolism. *Poult Sci* 79(3):383-390.

- Shanawany MM 1988 Broiler performance under high stocking densities. *Br Poult Sci* 29(1):43-52.
- Sorensen P, Su G, Kestin SC 2000 Effects of age and stocking density on leg weakness in broiler chickens. *Poult Sci* 79(6):864-870.
- Vanhonacker F, Verbeke W 2009 Buying higher welfare poultry products? Profiling Flemish consumers who do and do not. *Poult Sci* 88(12):2702-2711.
- Woo SW, Shin SC, Kim SK, Kim EJ, Ahn BK, Kang CW 2003 Effects of stocking density on performance and physiological response of egg-type breeder laying hens in cages. *Korean J Poult Sci* 30(2):83-90.
- Wu X, Ahmad H, Zhang L, Wang Z, Wang T 2018 Dietary enzymatically treated *Artemisia annua* L. improves meat quality antioxidant capacity and energy status of breast muscle in heat stressed broilers. *J Sci Food Agr* 95(10): 3715-3721.

Received Dec. 16, 2019, Revised Feb. 7, 2020, Accepted Feb. 11, 2020