



사육밀도에 따른 토종오리 고기의 육질 특성

홍의철^{1†} · 강보석² · 강환구¹ · 전진주¹ · 김현수¹ · 손지선¹ · 김찬호³

¹국립축산과학원 가금연구소 농업연구사, ²국립축산과학원 가금연구소 농업연구관
³국립축산과학원 가금연구소 박사후연구원

Meat Quality Characteristics of Korean Native Ducks according to Stocking Density

Eui-Chul Hong^{1†}, Bo-Seok Kang², Hwan-Ku Kang¹, Jin-Joo Jeon¹,
 Hyun-Soo Kim¹, Jiseon Son¹ and Chan-Ho Kim³

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

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

³Post-doctor Researcher, Poultry Research Institute, National Institute of Animal Science, Pyeongchang 25342, Republic of Korea

ABSTRACT This study was conducted to compare and analyze meat quality of Korean native duck (KND) meat relative to stocking density. The stocking densities under investigation were 4, 5, 6, 7, 8 and 9 birds/m². The experiment comprised six treatments and four replications, wherein the breast meat (pH, meat color, and physicochemical properties) and leg meat (fatty acid contents) of 8-week-old KNDs (2.8±0.2 kg) were used. pH of breast meat decreased linearly and quadratically ($P<0.05$) as stocking density increased. Ash content also decreased linearly ($P<0.05$) as stocking density increased; however, moisture, fat, and protein contents did not differ significantly among treatments. Furthermore, meat color and cooking loss (CL) increased linearly ($P<0.05$) as stocking density increased whereas neither shear force (SF) nor water holding capacity (WHC) displayed a significant difference among treatments. Palmitic acid (C16:0) and stearic acid (C18:0) contents decreased quadratically ($P<0.05$) as stocking density increased whereas, conversely, linoleic acid (C18:1n9) and eicosenoic acid (C20:1n9) contents increased linearly ($P<0.05$) as stocking density increased. Additionally, γ -linoleic acid (C18:3n6) content increased linearly and quadratically ($P<0.05$) as stocking density increased, but a decrease ($P<0.05$) was observed in arachidonic acid (C20:4n6) content. Saturated fatty acid (SFA) and total unsaturated fatty acid (TUFA) contents did not show significant differences among treatments relative to stocking density. However, monounsaturated fatty acid (MUFA) content increased linearly ($P<0.05$) and polyunsaturated fatty acid (PUFA) content decreased linearly ($P<0.05$) as stocking density increased. These results can be utilized as basic data for research on the effect of stocking density on KNDs.

(Key words: Korean native duck, stocking density, physicochemical properties, fatty acid contents)

서 론

사육밀도는 단위 공간(m²)당 체중 (kg) 또는 가금류의 수로 정의된다. 현재 소비자는 사육밀도가 동물복지에 영향을 미치는 중요한 요소 중 하나임을 인식하고 있으며, 낮은 사육밀도로 사육시킬 경우 축산물 품질이 향상된다고 알려져 있다(Vanhonacker et al., 2008).

가금 산업에서 높은 사육밀도는 경제적으로 이익이 되지 만(Thomas et al., 2004; Ravindran et al., 2006), 계사 내 온도를 높일 뿐만 아니라, 환기가 나빠짐에 따라 가금류의 성

장을 저하시킨다(Feddes et al., 2002). 또한, 높은 사육밀도는 생산성과 육질을 감소시키고(Simsek et al., 2009; Tong et al., 2012; Wang et al., 2014), 동물복지에 부정적인 영향을 주지만(Estevéz, 2007; Buijs et al., 2009), 낮은 사육밀도에서는 체중, 사료요구율 및 폐사율이 개선된다(Bilgili and Hess, 1955). 다른 연구에서 육질은 사육밀도의 영향을 받지 않는 것으로 알려져 있다(Zuowei et al., 2011; Simitzis et al., 2012; Goo et al., 2019). 그러나, 사육밀도에 대한 대부분의 연구는 육계에 집중되어 있으며, 오리에 대한 사육밀도의 연구는 미비한 실정이다.

[†] To whom correspondence should be addressed : drhong@korea.kr

오리의 사육환경에서 사육밀도는 육계와 마찬가지로 중요한 문제로 인식되고 있다. 오리의 경우에서도 사육밀도가 높으면 성장 및 건강에 해를 끼칠 뿐만 아니라, 보다 심각한 손상을 초래할 수도 있다(Xie et al., 2014). 국내 육용오리의 적정 사육밀도는 3수/m²이다(AWCS, 2016; Enforcement Decree of Livestock Law, 2020;). Xie et al.(2014)은 오리의 사육밀도에 대한 연구에서 최대 생산성을 높일 수 있는 사육밀도가 8수/m²라고 하였으나, 육질에 대한 연구는 아니었다. Liu et al.(2015)은 높은 사육밀도에서 오리고기의 육질 특성에 대한 보고를 하였으나, 적정 사육밀도를 제시한 연구는 아니었다. Osman(1993)은 오리의 생산성뿐만 아니라 육질 특성도 사육밀도에 의해 영향을 받는다고 하였다.

따라서 본 연구는 다양한 사육밀도가 토종오리의 육질 특성에 미치는 영향을 조사하기 위하여 수행되었다.

재료 및 방법

1. 시험설계

본 시험은 농촌진흥청 국립축산과학원의 동물실험 계획서에 의거 동물보호법 및 국립축산과학원 동물시험윤리위원회에서 승인된 동물실험방법(승인번호: 2019-361)에 따라 수행되었다.

본 시험에서는 4, 5, 6, 7, 8 및 9수/m²의 사육밀도를 처리구로 하여 총 6처리구, 4반복으로 구성하였다(Hong et al., 2019).

2. 공시재료

본 시험의 공시재료는 체중이 유사한 8주령의 토종 실용오리(2.8±0.05 kg)의 다리육(경골)과 가슴육을 이용하여 육질 특성을 비교 분석하였다. 지방 함량이 극히 낮은 가슴육은 육색, pH 및 이화학적 성상 분석에 이용되었으며, 지방 함량이 높은 다리육을 이용하여 지방산을 분석하였다.

3. 조사항목

1) pH 및 화학적 성상

토종오리의 가슴육 pH는 도체심부 pH meter(pH-K21, NWK-Binar GmbH, Celiustr, Germany)로 측정하였으며, 화학적 성상(수분, 지방, 단백질, 회분)은 사료표준분석방법(MAFRA, 2017) 및 AOAC 방법(2019)에 따라 분석하였다.

2) 육색 및 물리적 특성

CIE L*(명도), CIE a*(적색도), CIE b*(황색도) 값은 토종

오리의 가슴육을 Chroma meter(Minolta Co. CR301, Japan)을 이용하여 측정하였으며, 이때 표준백색판은 Y=92.40, x=0.3136 및 y=0.3196이었다.

전단력(share force, SF)은 가슴육을 절단(평균 중량 61 g)하고, 70℃에서 10분간 가열한 후 직경 1.27 cm의 코어를 이용하여 근섬유 방향으로 시료를 채취한 다음, 전단력 측정기(Warner-Bratzler shear force meter, USA)를 이용하여 측정하였다(Chae et al., 2004).

가열감량은 가슴육을 절단하여 무게를 측정(평균 중량 61 g)하고, polyethylene bag에 넣어 항온수조에서 85±1℃로 45분 동안 가열한 후 상온에서 20분간 방냉하여 감량된 무게를 측정하였다. 가열감량은 다음 공식에 의하여 산출되었다.

가열감량(%) =

$$\frac{\text{가열 전 시료 무게} - \text{가열 후 시료 무게(g)}}{\text{가열 전 시료 무게(g)}} \times 100$$

보수력(water holding capacity; WHC)은 Chae et al.(2011)의 방법과 유사하게 총수분에서 유리수분을 제한 값을 총수분에 대한 백분율(%)로 산출하였다. 유리수분은 다음의 방법으로 측정하였다. Tube에 시료(지방과 근막(힘줄)을 제거)를 정확히 0.5 g를 채어 80℃ 항온수조에서 20분간 가열한 후 10분 방냉하고, 2,000 rpm에서 10분간 원심분리(10℃, Hitachi SCR 20BA, Japan)한 다음 아래 공식을 이용하여 산출하였다.

유리수분 =

$$\frac{\text{원심분리 전 무게} - \text{원심분리 후 무게}}{\text{시료} \times \text{지방계수}} \times 100$$

지방계수는 시료에서 지방 함량을 제한 값을 백분율로 나타낸 것이다.

3) 지방산 함량

지방산 분석을 위하여 Folch et al.(1957)의 방법으로 지질을 추출하였다. 시료 50 g에 Folch 용액(chloroform:methanol = 2:1) 150 mL를 넣고 Homogenizer(2,500 rpm)로 5분간 균질화 후 원심분리 튜브 안에 여과(No. 1 여과지)한 다음, 3,000 rpm에서 10분간 원심분리하여 상등액을 버리고 하층(lipid layer)을 사용하였다.

추출된 지질을 이용한 지방산 분석은 Morrison and Smith (1964)의 방법에 준하였다. 둥근 원형 250 mL flask에 Na₂SO₄

를 이용하여 남은 수분을 흡착 여과하고, 여과액을 증발농축기로 50℃에서 지방을 농축시켰다. 농축된 지방은 0.5 N NaOH 용액 1 mL를 첨가하여 100℃에서 15분 동안 가열하고 냉각시키고, 다시 boron trifluoride methanol 용액(BF₃ methanol; Sigma, USA) 3 mL 첨가하여 15분간 가열 후 냉각하였다. 처리가 끝난 지방을 시험관에 넣고 1 mL heptane과 8 mL NaCl 포화용액을 혼합하고 30분간 방치한 후 상층액 1~2 µL를 GC(Varian 3600, USA)에 주입하여 지방산을 분석하였다. GC column은 capillary column(Supelcowax™ 10 fused silica capillary column, Sigma-Aldrich Co., USA)을 사용하였으며, GC의 carrier gas는 N₂를 이용하였다.

4. 통계처리

본 시험에서 얻어진 모든 자료는 SAS(2012)의 GLM (generalized linear model) procedure를 이용하여 분산분석을 실시하였고, orthogonal polynomial contrast를 이용하여 토종오리의 육질 특성에 대한 사육밀도의 효과를 선형(linear) 혹은 2차 함수(quadratic) 형태로 비교분석 하였다.

결과 및 고찰

1. pH 및 화학적 성분

본 시험에서 생산된 토종 실용오리 고기의 pH와 화학적 성분은 Table 1에 나타내었다. 토종오리고기의 pH는 사육밀도가 높아짐에 따라 선형 및 2차 함수 형태로 감소하였다

($P<0.05$).

토종오리고기의 수분, 지방, 단백질 함량은 처리구 간에 유의적인 차이가 없었다. 회분의 함량은 사육밀도가 높아짐에 따라 선형으로 감소하였다($P<0.05$).

이전의 연구 결과들을 보면, 높은 사육밀도는 pH 증가와 관련이 있다고 보고되고 있다(Osman, 1993; Tong et al., 2012). 그러나 Zhang et al.(2018)은 높은 사육밀도에서 사육된 Pekin 종 오리 가슴육의 pH가 낮거나 유사하다고 하였다. 이런 결과는 본 시험에서도 유사하게 나타났다. 이런 차이를 보이는 것은 고기의 pH는 주령이 오래될수록 혹은 도축 시간이 길어질수록 높아지기(Zhang et al., 2016) 때문으로 사료된다.

사육밀도에 따른 고기의 화학적 성상(특히, 회분)을 나타낸 연구는 드물며, 고기의 화학적 성상은 사료의 영양소 성분에 영향을 받는 것으로 알려져 있다. Hong et al.(2019)은 사육밀도에 따른 토종오리의 생산성 비교 시험에서 사육밀도가 높아질수록 섭취량이 5~10 g 감소한다고 하였다. 본 연구에서 높은 사육밀도에서 사육한 토종오리 가슴육의 회분 함량이 낮은 것은 섭취량이 낮기 때문이라고 사료된다.

2. 육색 및 물리적 특성

Table 2는 사육밀도에 따른 토종 실용오리 고기의 육색 및 물리학적 성상을 나타낸 것이다. 육색(CIE L*, CIE a*, CIE b*)과 가열감량은 사육밀도가 높아짐에 따라 선형으로 증가하였다($P<0.05$). 전단력과 보수력은 처리구간 유의적인 차이를 보이지 않았다.

Table 1. pH and Chemical composition of duck breast meat according different stocking densities

Treatments ¹	pH	Moisture	Fat	Protein	Ash
T1	5.81	76.5	0.97	22.8	1.24
T2	5.81	77.0	0.67	22.2	1.22
T3	5.73	76.4	1.59	21.9	1.15
T4	5.75	76.3	1.26	21.8	1.18
T5	5.73	76.7	0.91	21.9	1.15
T6	5.76	77.0	1.01	21.8	1.15
SEM	0.021	0.25	0.205	0.32	0.020
<i>P</i> -value					
Linear	<0.05	0.528	0.732	<0.05	<0.05
Quadratic	<0.05	0.234	0.112	0.197	0.185

¹ T1, 4 birds/m²; T2, 5 birds/m²; T3, 6 birds/m²; T4, 7 birds/m²; T5, 8 birds/m²; T6, 9 birds/m².

² Standard error of means.

Table 2. Meat color and physical characteristics of duck breast meats according different stocking densities

Treatments ¹	CIE			Physical characteristics ²		
	L*	a*	b*	CL (%)	SF (g/cm ²)	WHC (%)
T1	30.4	14.4	4.66	24.6	9.10	60.7
T2	31.9	15.4	5.71	24.4	8.65	58.6
T3	32.0	16.0	5.60	24.9	7.88	59.7
T4	34.6	16.9	6.29	29.2	8.23	60.7
T5	34.3	16.3	5.63	25.4	7.95	59.7
T6	34.6	17.3	6.59	26.0	8.69	59.0
SEM ³	0.86	0.48	0.319	0.76	0.479	1.04
<i>P</i> -value						
Linear	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.395	0.601
Quadratic	0.361	0.337	0.365	0.062	0.116	0.910

¹ T1, 4 birds/m²; T2, 5 birds/m²; T3, 6 birds/m²; T4, 7 birds/m²; T5, 8 birds/m²; T6, 9 birds/m².

² Physical characteristics: CL, cooking loss; SF, share force; WHC, water holding capacity.

³ Standard error of means.

고기의 pH는 근육 내의 산도를 그대로 반영하고 있으며, 단백질 변성을 통해 가열감량, 전단력 및 육색에 영향을 미친다(Aberle, 2001). 그러나, Zhang et al.(2018)은 Pekin종 오리의 사육밀도를 5, 8, 11수/m²로 처리하여 육질을 분석한 결과, 육색은 처리구 사이에서 유의차가 없다고 보고하였다. 본 연구 결과에서도 육색은 pH의 영향을 받지 않는 것으로 나타났다.

가열감량과 보수력은 중요한 육질 특성이며, 신선한 육류 또는 최종 생산물의 맛에 영향을 준다(Wang et al., 2009). Zhang et al.(2018)은 높은 사육밀도에서 사육한 오리의 가슴육은 보수력이 낮기 때문에 건조하고, 딱딱하며, 맛이 없다고 하였으며, Tang et al.(2013)은 낮은 pH가 근섬유 수축을 유발하여 가열감량을 유발한다고 보고하였다. 그러나 이런 결과들과는 다르게 본 연구에서는 pH와 가열감량 혹은 보수력 사이에 상관관계를 보이지 않았다.

본 연구에 적용된 사육밀도는 전단력에 영향을 미치지 않았으며, 이는 이전의 다른 연구 결과와 일치하였다(Tong et al., 2012; Uzum and Toplu, 2013; Wang et al., 2014).

3. 지방산 함량

본 시험에서 생산된 토종 실용오리 고기의 지방산 함량은 Table 3과 4에 나타내었다. Palmitic acid(C16:0)와 stearic acid(C18:0) 함량은 사육밀도가 높아짐에 따라 2차함수 형태

로 감소하였다($P<0.05$). Linoleic acid(C18:1n9)와 eicosenoic acid(C20:1n9) 함량은 사육밀도가 높아지면서 선형으로 증가하였다($P<0.05$). γ -Linoleic acid(C18:3n6) 함량은 사육밀도가 높아짐에 따라 선형 및 2차 함수 형태로 증가하였으나($P<0.05$), arachidonic acid(C20:4n6) 함량은 감소하였다($P<0.05$).

SFA와 TUFA는 처리구 사이에서 유의적인 차이를 보이지 않았으나, 사육밀도가 높아짐에 따라 MUFA는 선형으로 증가하였으며($p<0.05$), PUFA는 선형으로 감소하였다($p<0.05$).

사육밀도에 따른 고기의 지방산 함량을 비교한 연구는 미비한 실정이다. Castellini et al.(2002)과 Szabo et al.(2005)은 닭의 활동이 조직의 지방 분해 및 지방산 조성에 영향을 미치는 중요한 요소라고 하였다. 따라서 사육밀도가 높아져 닭의 움직임이 제한된다면 조직 내 지방이나 지방산 함량에 영향을 미칠 것으로 사료된다. Simsek et al.(2009)은 사육밀도가 낮아질수록 육계 가슴육의 SFA와 MUFA 비율이 감소한다고 하였다. 본 연구결과에서도 사육밀도가 낮은 처리구에서 MUFA 비율이 낮게 나타나 비슷한 결과를 보여주었다.

해외에서는 오리의 사육밀도에 대한 연구가 증가하고 있으며(Xie et al., 2014; Li et al., 2018), Osman(1993)의 연구를 비롯하여 사육밀도와 육질 특성을 관련시킨 연구도 추가적으로 진행되고 있다(Liu et al., 2015; Zhang et al., 2018). 최근 동물복지 관점에서 사육밀도에 대한 중요성이 커지고

Table 3. Fatty acid contents of duck leg meats according different stocking densities¹

Treatments ²	C14:0	C16:0	C16:1n7	C18:0	C18:1n9	C18:2n6	C18:3n6	C18:3n3	C20:1n9	C20:4n6
T1	0.78	22.6	3.81	7.34	49.8	12.3	0.068	0.47	0.58	2.25
T2	0.77	24.0	4.43	5.00	51.0	12.7	0.050	0.51	0.54	1.08
T3	0.77	23.2	4.35	4.47	53.3	11.9	0.030	0.45	0.61	0.89
T4	0.85	23.3	4.18	5.52	51.3	12.7	0.064	0.49	0.72	0.92
T5	0.84	22.6	3.82	6.27	52.0	12.2	0.058	0.49	0.67	0.99
T6	0.79	22.1	3.97	6.35	53.1	11.4	0.092	0.47	0.71	1.00
SEM	0.028	0.43	0.219	0.313	0.71	0.35	0.0056	0.019	0.027	0.226
<i>P</i> -value										
Linear	0.179	0.073	0.519	0.963	<0.05	0.084	<0.05	0.941	<0.05	<0.05
Quadratic	0.373	<0.05	0.100	<0.05	0.282	0.180	<0.05	0.702	0.688	<0.05

¹ Myristic acid, C14:0; palmitic acid, C16:0; palmitoleic acid, C16:1n7; stearic acid, C18:0; oleic acid, C18:1n9; linoleic acid, C18:2n6; γ -linoleic acid, C18:3n6; linolenic acid, C18:3n3; eicosenoic acid, C20:1n9; arachidonic acid, C20:4n6.

² T1, 4 birds/m²; T2, 5 birds/m²; T3, 6 birds/m²; T4, 7 birds/m²; T5, 8 birds/m²; T6, 9 birds/m².

³ Standard error of means.

Table 4. Saturated and unsaturated fatty acid contents according different stocking densities

Treatments ¹	Saturated fatty acid	Unsaturated fatty acid		
		Total	Mono-	Poly-
T1	30.7	69.3	54.2	15.1
T2	29.7	70.3	55.9	14.4
T3	28.4	71.6	58.3	13.3
T4	29.6	70.4	56.3	14.1
T5	29.7	70.3	56.5	13.8
T6	29.2	70.8	57.8	13.0
SEM	0.46	0.46	1.67	1.06
<i>P</i> -value				
Linear	0.106	0.106	<0.05	<0.05
Quadratic	0.076	0.076	0.132	0.518

¹ T1, 4 birds/m²; T2, 5 birds/m²; T3, 6 birds/m²; T4, 7 birds/m²; T5, 8 birds/m²; T6, 9 birds/m².

² Standard error of means.

있기 때문에, 오리의 사육밀도에 따른 육질 특성 비교 연구도 계속되어야 한다고 사료된다.

적 요

본 연구는 사육밀도에 따른 토종오리고기의 육질 특성을

비교 분석하기 위해 수행되었다. 사육밀도를 4, 5, 6, 7, 8 및 9수/m²로 나누어 총 6처리구, 4반복으로 구성하였으며, 8주령 토종 실용오리(2.8±0.2 kg)의 가슴육(pH, 육색, 이화학적 성장 분석)과 다리육(지방산 함량 분석)을 이용하였다. pH는 사육밀도가 높아짐에 따라 선형 및 2차 함수 형태로 감소하였다($P<0.05$). 토종오리고기의 수분, 지방, 단백질 함량

은 처리구 간에 유의차가 없었다. 회분의 함량은 사육밀도가 높아짐에 따라 선형으로 감소하였다($P<0.05$). 육색(CIE L*, CIE a* 및 CIE b*)과 가열감량은 사육밀도가 높아짐에 따라 선형으로 증가하였다($P<0.05$). 전단력과 보수력은 처리구간 유의적인 차이를 보이지 않았다. Palmitic acid(C16:0)와 stearic acid(C18:0) 함량은 사육밀도가 높아짐에 따라 2차 함수 형태로 감소하였다($P<0.05$). Linoleic acid(C18:1n9)와 eicosenoic acid(C20:1n9) 함량은 사육밀도가 높아지면서 선형으로 증가하였다($P<0.05$). γ -Linoleic acid(C18:3n6) 함량은 사육밀도가 높아짐에 따라 선형 및 2차 함수 형태로 증가하였으나($P<0.05$), arachidonic acid(C20:4n6) 함량은 감소하였다($P<0.05$). SFA와 TUFAs는 처리구 사이에서 유의적인 차이를 보이지 않았으나, 사육밀도가 높아짐에 따라 MUFA는 선형으로 증가하였으며($P<0.05$), PUFA는 선형으로 감소하였다($P<0.05$). 본 연구의 결과들은 사육밀도가 토종오리에 미치는 영향에 대한 기초자료로 활용될 수 있다.

(색인어: 토종오리, 사육밀도, 이화학적성상, 지방산 함량)

사 사

본 연구는 농촌진흥청 공동연구사업(과제번호: PJ01259002)에 의해 이루어진 것으로 이에 감사드립니다.

ORCID

Eui-Chul Hong	https://orcid.org/0000-0003-1982-2023
Bo-Seok Kang	https://orcid.org/0000-0002-3438-8379
Hwan-Ku Kang	https://orcid.org/0000-0002-4286-3141
Jin-Joo Jeon	https://orcid.org/0000-0001-7585-4746
Hyun-Soo Kim	https://orcid.org/0000-0001-8887-1318
Jiseon Son	https://orcid.org/0000-0002-5285-8186
Chan-Ho Kim	https://orcid.org/0000-0003-2121-5249

REFERENCES

- Aberle ED 2001 Principles of Meat Science. 4th. ed. Dubuque Ia: Kendall Hunt Publishing Co.
- AOAC 2016 Official Method of Analysis. 20th. ed. Association of Official Analytical Chemists, Washington DC.
- AWCS 2016 Duck's Animal Welfare Certification Standards. Animal Protection Management System.
- Bilgili SF, Hess JB 1995 Placement density influences broiler carcass grade and meat yield. J Appl Poult Res 4(4): 384-389.
- Buijs S, Keeling L, Rattenbacher S, Van Poucke E, Tuytens Fam 2009 Stocking density effects on broiler welfare: identifying sensitive ranges for different indicators. Poult Sci 88(8):1536-1543.
- Castellini C, Mugnai C, Dal Bosco A 2002 Effect of organic production system on broiler carcass and meat quality. Meat Sci 60(3):219-225.
- Cengiz O, Koksal BH, Tatli O, Sevim O, Ahsan U, Uner AG, Ulutas PA, Beyaz D, Buyukyuruk S, Yakan A, Onol AG 2015 Effect of dietary probiotic and high stocking density on the performance, carcass yield, gut microflora, and stress indicators of broilers. Poult Sci 94(10):2395-2403.
- Chae HS, Hwangbo J, Ahn CN, Yoo YM, Cho SH, Lee JM, Choi YI 2004 Effect of dietary brown rice on the carcass and meat quality of broiler chicken. Korean J Poult Sci 37(3):165-170.
- Duncan DB 1955 Multiple range and multiple F tests. Biometrics 11:1-42.
- Enforcement Decree of Livestock Law 2020 Number of Ducks Per Unit Area.
- Estevez I 2007 Destiny allowances for broilers: where to set the limits? Poult Sci 86(6):1265-1272.
- Feddes JJR, Emmanuel EJ, Zuidhof MJ 2002 Broiler performance, bodyweight variance, feed and water intake, carcass quality at different stocking densities. Poult Sci 81(6): 774-779.
- Folch JM, Lee M, Sloan Stanley GH 1957 A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. J Biol Chem 226(1):497-509.
- Goo D, Park GH, Han GP, Choi HS, Kim JH, Kil DY 2019 Effect of stocking density and sex on growth performance, meat quality, and intestinal barrier function in broiler chickens. Poult Sci 98(3):1153-1160.
- Hong E, Kang BS, Kang HK, Jeon JJ, Kim HS, Son JS, Kim CH 2019 Effect of different stocking densities in plastic wired-floor house on performance and uniformity of Korean native commercial ducks. Korean J Poult Sci

- 46(4):215-221.
- Li W, Yuan J, Ji Z, Wang L, Sun C, Yang X 2018 Correlation search between growth performance and flock activity in automated assessment of pekin duck stocking density. *Comp Elect Agric* 152:26-31.
- Li YZ, Kerr BJ, Kidd MT, Gonyou HW 2006 Use of supplementary tryptophan to modify the behavior of pigs. *J Anim Sci* 84(1):212-220.
- Liu Y, Yuan JM, Zhang LS, Cai SM, Yu JH, Xia ZF 2015 Effects of tryptophan supplementation on growth performance, antioxidative activity, and meat quality of ducks under high stocking density. *Poult Sci* 94(8):1894-1901.
- MFARA 2017 Feed standard analysis method. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs Notice No. 2017-28.
- Morrison WR, Smith LM 1964 Preparation of fatty acid methyl esters and dimethylacetals from lipids with boron fluoride-methanol. *J Lipid Res* 5(4):600-608.
- NLRI 2001 Feed Standard Analysis Methods. National Livestock Research Institute.
- Osman AMA 1993 Effect of the stocking rate on growth performance, carcass traits and meat quality of male peking ducks. *J Agric Rural Dev Trop* 94(2):147-156.
- Puron D, Santamaria R, Segura JC, Alamilla JL 1995 Broiler performance at different stocking densities. *J Appl Poult Res* 4(1):55-60.
- Ravindran V, Thomas DV, Thomas DG, Morel PCH 2006 Performance and welfare of broilers as affected by stocking density and zinc bacitracin supplementation. *Anim Sci J* 77(1):110-116.
- SAS 2012 SAS/STAT Software for PC. Release 9.1, Sas Institute, Cary, NC, USA.
- Simitzis PE, Kalogeraki E, Goliomytis M, Charismiadou MA, Triantaphyllopoulos K, Ayoutanti A, Niforou K, Hager-Theodorides AL, Deligeorgis SG 2012 Impact of stocking density on broiler growth performance, meat characteristics, behavioural components and indicators of physiological and oxidative stress. *Br Poult Sci* 53(6):721-730.
- Simsek UG, Cerci IH, Dalkilic B, Yilmaz O, Ciftci M 2009 Impact of stocking density and feeding regimen on broilers: chicken meat composition, fatty acids. and serum cholesterol levels. *J Appl Poult Res* 18(3):514-520.
- Simsek UG, Dalkilic B, Ciftci M, Yuge A 2009 The influences of different stocking densities on some welfare indicators, lipid peroxidation (MDA) and antioxidant enzyme activities (Gsh, Gsh-Px, CAT) in broiler chickens. *J Anim Vet Adv* 8(8):1568-1572.
- Szabo E, Romvari R, Hedving F 2002 Training-induced alteration of the fatty acid profile of rabbit muscle. *Acta Vet Hung* 50(3):357-364.
- Tang S, Yu J, Zhang M, Bao E 2013 Effects of different heat stress periods on various blood and meat quality parameters in young arbor acer broiler chickens. *Can J Anim Sci* 93(4):453-460.
- Thomas DG, Ravindran V, Thomas DV, Camden BJ, Cottam YH, Morel PC, Cook CJ 2004 Influence of stocking density on the performance, carcass characteristics and selected welfare indicators of broiler chickens. *New Zealand Vet J* 52(2):76-81.
- Tong HB, Lu J, Jou JM, Wang Q, Shi SR 2012 Effects of stocking density on growth performance, carcass yield, and immune status of a local chicken breed. *Poult Sci* 91(3):667-673.
- Uzum MH, Toplu HD 2013 Effects of stocking density and feed restriction on performance, carcass, meat quality characteristics and some stress parameters in broilers under heat stress. *Revue Med Vet* 164(12):546-554.
- Vanhonacker F, Verbeke W, Van Poucke, Buijs S, Tuytens Fam 2008 Social concern related to stocking density, pen size and group size in farm animal production. 113(2-3): 123-132.
- Wang B, Min Z, Yuan J, Zhang B, Guo Y 2014 Effects of dietary tryptophan and stocking density on the performance, meat quality, and metabolic status of broilers. *J Anim Sci & Biotech* 5(1):44(1-7).
- Wang KH, Shi SR, Dou TC, Sun HJ 2009 Effect of free-range raising system on growth performance, carcass yield, and meat quality of slow-growing chicken. *Poult Sci* 88(10):2219-2223.
- Xie M, Jiang Y, Tang J, Wen ZG, Huang W, Hou SS 2014 Effects of stocking density on growth performance, carcass traits, and foot pad lesions of White Pekin ducks. *Poult Sci* 93(7):1644-1648.

Zhang J, Chu Q, Zhang Y, Liu H, Liu H 2016 Influence factors and variation trends of muscle pH in chickens after slaughter. *Agric Sci Technol* 2016(3):674-677.

Zhang YR, Zhang LS, Wang Z, Liu Y, Li FH, Yuan JM, Xia ZF 2018 Effects of stocking density on growth performance, meat quality and tibia development of Pekin ducks. *Anim Sci J* 89(6):925-930.

Zuowei S, Yan L, Yuan L, Jiao H, Song Z, Guo Y, Lin H 2011 Stocking density affects the growth performance of broilers in a sex-dependent fashion. *Poult Sci* 90(7):1406-1415.

Received May 13, 2020, Revised May 28, 2020, Accepted Jun. 2, 2020