



토종실용닭의 암수 간 산육 능력 및 스트레스 반응 정도 비교

손시환^{1†} · 조은정² · 김기곤² · 신가빈³ · 이슬기³

¹경상국립대학교 동물생명융합학부 교수, ²경상국립대학교 동물생명융합학부 연구원, ³경상국립대학교 동물생명융합학부 대학원생

Comparison of Growth Performance and Stress Response between Male and Female Korean Native Commercial Chickens

Sea Hwan Sohn^{1†}, Eun Jung Cho², Ki Gon Kim², Ka Bin Shin³ and Seul Gy Lee³

¹Professor, Division of Animal Bioscience and Integrated Biotechnology, Gyeongsang National University, Jinju 52725, Republic of Korea

²Researcher, Division of Animal Bioscience and Integrated Biotechnology, Gyeongsang National University, Jinju 52725, Republic of Korea

³Graduate Student, Division of Animal Bioscience and Integrated Biotechnology, Gyeongsang National University, Jinju 52725, Republic of Korea

ABSTRACT This study compared the production and physiological characteristics of male and female Korean native commercial chickens. We investigated the growth performance, vitality, and stress response of 479 male and 608 female chickens from 1 d to 12 weeks of age. The body weight, feed consumption and feed conversion ratio were measured as growth performance. The survival rate, amount of telomeric DNA, DNA damage rate, heterophil-lymphocyte ratio (H/L ratio), and heat shock protein (*HSP*)-70, *HSP-90α*, and *HSP-90β* gene expression levels were analyzed as indicators of vitality and stress response. Body weight was significantly higher in male chickens than in female chickens after 2 weeks of age ($P<0.01$). Feed intake was higher in male chickens than in female chickens, whereas the feed conversion ratio showed the opposite trend. The survival rate was significantly higher in female chickens than in male chickens (82.8% vs. 73.8%, $P<0.05$). Stress response analysis revealed no differences between male and female chickens in terms of telomeric DNA content, DNA damage rate, H/L ratio, and *HSP* gene expression levels. Taken together, it was concluded that there was a significant difference in the growth performance and survival rate between male and female Korean native commercial chickens, whereas there was no difference in the degree of stress response between them. Therefore, in terms of the productivity of Korean native commercial chickens, it is judged that separate-sex rearing is much more advantageous than mixed rearing, regardless of the physiological characteristics of males and females.

(Key words: growth performance, stress response, male and female, Korean native commercial chickens)

서론

최근 육류 소비량 증가와 더불어 닭고기 소비량도 증가하면서 우리 입맛에 맞는 토종닭의 선호도가 높아지고 있다. 토종닭의 높은 선호도에 반해 생산량은 극히 제한적인데 (Korea Native Chicken Association, 2022), 이는 브로일러에 비해 낮은 생산성 때문인 것으로 생각된다. 토종닭의 생산성 저하의 주된 요인은 산육성이 낮아 더욱 긴 사육 기간이 소요되고, 출하 시 상품의 균일도가 낮기 때문이다. 특히 출하 때 토종닭 암수 간의 큰 체중 편차가 균일성 저하의 한 원인으로 작용한다(Cha et al., 2016; Sohn et al., 2021b). 닭

은 배아 시기부터 암컷과 수컷 간 근육의 발육 양상이 다르고 발생 장기의 무게도 차이가 있다고 알려져 있다(Burke and Sharp, 1989; Henry and Burke, 1998). 또한 초기 성장 단계 이후부터 암컷과 수컷 간의 성장률, 사료 섭취량 및 사료효율의 차이가 현격히 나타난다고 한다(Gous et al., 1999; Da Costa et al., 2017; Kalita et al., 2018; Cui et al., 2021). 브로일러의 경우 4주령 이후부터 암수 간 체중의 차이가 유의하게 나타나고(Kalita et al., 2018), 도체중이나 가식 부위별 중량의 차이도 있다고 하였다(Ikusika et al., 2020). 또한 암수 간 산육 능력뿐만 아니라 체 조성분의 차이도 나타나는데 체 단백질이나 체 수분은 수컷이 암컷보다 높았지만

[†] To whom correspondence should be addressed : shsohn@gnu.ac.kr

체 지방은 암컷이 수컷에 비해 높다고 하였다(Gous et al., 1999; Cui et al., 2021). 한편, 암수 간 성장 능력의 차이는 있지만, 이들 간 도체 품질이나 장내 소화 흡수의 기능적 차이는 없다고 하였다(Goo et al., 2019). 이처럼 닭의 암수 간 성장률이나 사료 이용성의 차이가 있음에도 불구하고 토종 닭의 경우, 암수에 따른 생산능력이나 생리적 특성에 관한 연구들은 상대적으로 미흡하고 성별에 따른 사육 기준도 명확히 구분되어 있지 않다. 그나마 토종닭 암수 간의 성장 특성에 관해서는 다소의 연구들이 있으나 이들 간의 스트레스 반응 정도나 강건성과 같은 생리적 특성에 대한 비교 연구는 매우 제한적이다(Jung et al., 2009; Sohn et al., 2014, 2015; Cho et al., 2020). 닭의 스트레스 정도나 생존율은 생산성과 밀접한 관련이 있는 것으로 사육 환경과 같은 외적 요인에 의해서 주로 영향을 받지만, 품종이나 계통과 같은 유전적 요인에 따라서도 많은 차이가 있는 것으로 알려져 있다(Soleimani et al., 2011; de Hass et al., 2013; Sohn et al., 2015; Cho et al., 2016). 따라서 토종실용닭의 생산성 향상을 위한 바람직한 사육 기준 설정을 위해서는 암수 성별에 따른 성장 양상이나 사료 이용성과 같은 생산 특성의 구명뿐만 아니라 이들 간의 스트레스 반응 정도나 강건성과 같은 생리적 특성의 비교 연구도 이루어져야만 하겠다.

그러므로 본 연구에서는 토종실용닭 암컷과 수컷 간의 산육 능력 비교 분석과 더불어 생존율, 텔로미어 함유율, 세포 내 DNA 손상률, heterophil-lymphocyte 비율(H/L ratio) 및 열충격단백질(heat shock protein; HSP) 유전자 발현율을 분석하여 성별에 따른 스트레스 반응 정도와 강건성을 비교 제시하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 공시동물 및 사양관리

본 시험에 공시한 닭은 (주)한협원종이 생산한 신품종 토종 실용닭으로 암컷 608수와 수컷 479수, 총 1,087수를 분석 대상으로 하였다. 시험계의 능력 검정은 경상국립대학교 종합농장 내 시험 계사에서 초생추 입식 후 12주간 실시하였다. 시험계는 육성 전기(0~8주)와 후기(9~12주)로 나누어 전기는 강제 환기 및 자동 온도조절 시스템이 완비된 육추사에서 3단 2열 배터리형 케이지에 사육하였고(220 cm²/1수), 후기는 동일 시스템이 완비된 중계사에서 2단 4열 군사 케이지(580 cm²/1수)에 암수 각 13 반복씩 배치 사육하였다. 사료 급여는 시중 육계 배합 사료로 자유 급여하고 발육 시기

에 따라 초이, 전기 및 후기 사료를 급여하였다. 점등 관리는 전 기간 23L:1D로 하였고, 사양 기별 백신 접종은 한협 토종닭 백신 프로그램에 따라 수행하였다. 그 밖의 사양 관리는 경상국립대학교 닭 사육관리지침에 따라 실시하였고, 시험에 관련된 닭의 관리 및 취급은 본 대학 동물실험윤리위원회(IACUC, No. 2020-5)의 승인을 얻은 후 본 규정을 준수하여 시행하였다.

2. 조사항목 및 분석 방법

1) 생존율

시험계의 생존율은 1일령부터 12주간 육성 전기(0~8주)와 후기(8~12주)로 나누어 조사하였다. 생존율의 분석은 암컷과 수컷 각 입식 수 대비 생존 수수에 대한 백분율로 나타내었다.

2) 체중

체중의 측정은 공시한 암수 전 개체를 대상으로 1일령부터 12주령까지 2주 간격으로 측정하였다.

3) 사료 섭취량 및 사료요구율

개체별 사료 섭취량은 암수별 및 반복별 주간 총섭취량을 조사하였고, 사료요구율은 반복별 전체 사료 섭취량을 해당 구의 증체량으로 나눈 중량비로 나타내었다.

4) 텔로미어 함량 분석

텔로미어 함량 분석은 2주령 및 12주령에 공시된 개체 중 수컷 121수와 암컷 131수의 익 정맥에서 채혈한 혈액으로부터 백혈구를 분리하여 이용하였다. 닭의 백혈구 세포에 대한 텔로미어 분석은 형광접합법인법(Fluorescence *in situ* Hybridization)을 이용하여 Cho et al.(2022)이 제시한 방법으로 시행하였다. 표본 슬라이드는 RNase(Boehringer Mannheim, Indianapolis, IN, USA)로 처리한 후 hybridization 용액(13 μL formamide, 5 μL hybridization buffer)과 200 ng의 telomeric DNA probe를 혼합하여 85℃에서 5분간 변성시키고, 38℃에서 12시간 이상 접합하였다. 이후 72℃의 2×SSC 용액과 PN buffer(0.1% sodium phosphate, 0.1% Nonidet P-40)로 세척하고 anti-digoxigenin-fluorescein(Boehringer Mannheim)으로 형광 접합한 다음 propidium iodide solution(Sigma Chem)으로 염색하였다. 과정을 마친 표본은 형광현미경(Model AX-70, Olympus, Tokyo, Japan)으로 관찰한 후 개체 별 100 개 이상의 핵을 디지털카메라(Model DP-70, Olympus, Tokyo,

Japan)로 촬영하였다. 촬영한 상은 이미지 분석프로그램 (MetaMorph[®], UIC, Pennsylvania, USA)을 이용하여 telomeric DNA의 상대적 함량을 분석하였다.

5) 세포 내 DNA 손상률 분석

세포 내 DNA 손상률의 분석은 Comet assay 방법으로 Cho et al.(2016)이 시행한 방법에 따라 실시하였다. 표본은 12주령 암수 각 73수의 혈액으로부터 백혈구만을 분리하여 제작하였다. 제작한 표본에 0.5% low melting point agarose(LMPA)를 도포하고 냉장 상태로 굳힌 다음 다시 1% LMPA에 침지하였다. 이후 4°C lysis solution(2.5 M NaCl, 100 mM disodium EDTA, 10 mM Trizma base)으로 60분간 처리한 다음 25 V, 300 mA로 30분간 전기영동 하였다. 처리를 마친 슬라이드는 neutralization buffer(0.4 M Tris-HCl)로 세척한 후 70% 에탄올로 탈수하였다. 건조된 슬라이드는 propidium iodide solution(Sigma Chem)으로 염색하고 형광 현미경으로 관찰하였다. 개체별 50개의 세포를 대상으로 Comet Score software 1.5(TriTek Corp. Sumerduck, VA, USA)를 이용하여 tail내 DNA 함유율(% DNA in tail), tail 내 DNA 생성률(tail moment) 및 올리브 모먼트(olive moment)를 분석하였다.

6) Heterophil-Lymphocyte 비율 분석

개체의 heterophil-lymphocyte의 비율(H/L ratio) 측정은 comet assay에 이용한 표본과 같은 시료로서 Jeong et al.(2020)이 제시 방법과 동일하게 분석하였다. 제작된 백혈구 표본은 25% Giemsa stain solution(Sigma Chem., St Louis, MO, USA)으로 염색한 후 광학현미경(Model BX-50, Olympus, Tokyo, Japan, obj. x40)으로 관찰하고 무작위로

30개의 관측 상을 선정한 후 단위 면적당 heterophil과 lymphocyte 수를 측정하였다.

7) HSP 유전자 발현율 분석

HSP 유전자 발현율 분석을 위해 12주령 수컷 69수와 암컷 73수의 혈액으로부터 RNA를 추출한 후 cDNA를 합성하였다. HSP 분석은 HSP-70, HSP-90a 및 HSP-90β 유전자를 대상으로 하여 Q-PCR 방법으로 mRNA의 발현율을 조사하였다. 본 분석에 사용한 primers와 Real-time PCR의 방법은 Cho et al.(2016)이 시행한 방법과 동일하게 실시하였다. HSP의 Tm값은 LightCycler[®] 480 software v1.5(Roche Diagnostics, GmbH, Mannheim, Germany)를 이용하여 분석하고 각 유전자의 상대적 정량 값은 Livak and Schmittgen(2001)이 제시한 $2^{-\Delta\Delta Ct}$ 방법으로 분석하였다.

3. 통계분석

체중을 포함한 각종 생산능력과 텔로미어 함량, comet 지표, H/L ratio 및 HSP 유전자 발현율 분석 값에 대한 통계분석은 SAS 통계 패키지(SAS Institute Inc., Cary, NC, USA)의 Student *t*-test procedure를 이용하여 암수 간 평균값 차이에 대한 유의성을 검정하였다.

결과 및 고찰

1. 암수 간 산육 능력 비교

1) 체중

토종실용닭의 암수 간 체중과 성장 양상을 Table 1과 Fig. 1에 제시하였다. 분석 결과, 발생시 체중을 제외한 모든 주

Table 1. Comparison of body weights and weight differences between male and female Korean native commercial chickens

Age (days)	Male (g)	Female (g)	P-value	Weight difference between male and female (g)
1	40.8±3.43	40.5±3.37	0.2038	0.3
14	188.8±33.39 ^a	178.7±30.13 ^b	<0.0001	10.1
28	558.4±74.15 ^a	504.8±64.87 ^b	<0.0001	53.6
42	1,102.7±120.28 ^a	947.4±107.82 ^b	<0.0001	155.3
56	1,587.4±173.62 ^a	1,394.3±148.83 ^b	<0.0001	193.1
70	2,149.9±281.49 ^a	1,811.2±222.03 ^b	<0.0001	338.7
84	2,719.4±369.28 ^a	2,239.5±251.40 ^b	<0.0001	479.5

Values are mean±standard deviation.

The different letters of superscript within the row significantly differ ($P<0.01$).

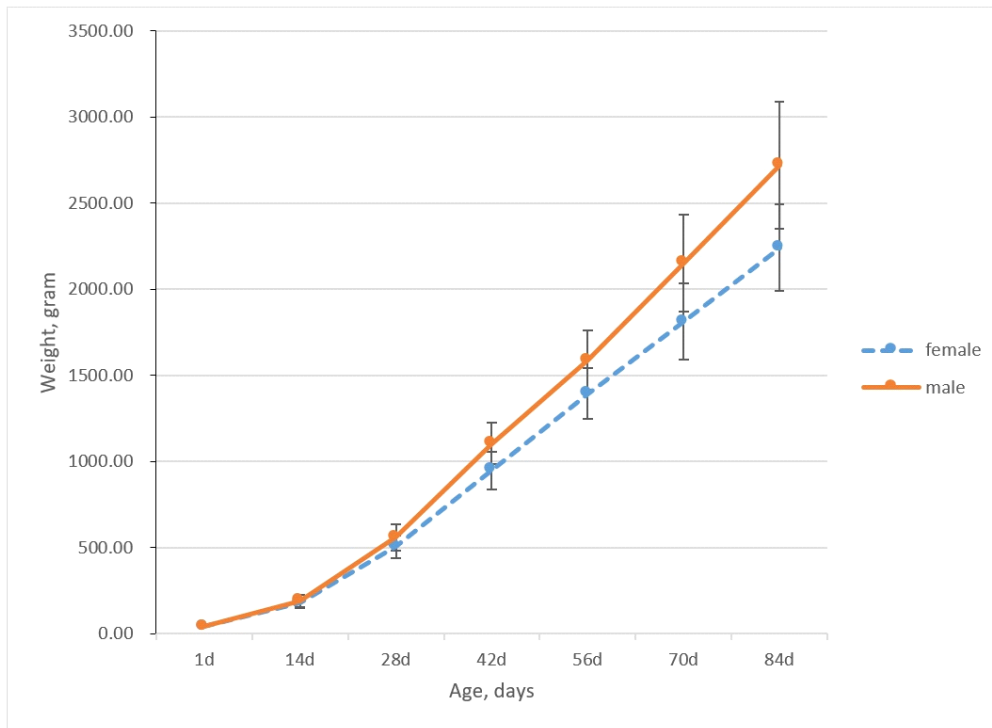


Fig. 1. Growth curve of male and female Korean native commercial chickens.

령에서 암수 간 유의한 체중의 차이를 보이며($P<0.01$) 전 기간 수컷이 암컷보다 높은 체중을 나타내었다. 암수 간 체중의 편차는 성장이 진행되면서 점진적으로 커지는데 2주령 때 암컷 대비 수컷의 체중이 106%에 불과하던 것이 12주령 때는 121%로 증가하면서 암수 간 체중의 차이가 급격히 증가하는 것으로 나타났다. 토종닭의 암수 간 성장 양상은 많은 연구에서 본 결과와 거의 같은 양상을 보고하고 있는데 (Ogola et al., 2021; Sohn et al., 2021a) 특히 신품종 토종닭 생산을 위한 교배조합 검정 시험에서 모든 조합의 토종닭이 12주령이 증가함에 따라 암수 간 체중의 차이가 벌어지면서 10주령 체중에서 수컷은 2,334 g, 암컷은 1,876 g으로 암수 간에 458 g의 차이를 보인다고 하였다(Sohn et al., 2021b). 이처럼 출하 시점에서 토종실용닭의 암수 간 큰 체중의 편차는 상품 균일성 저하의 주된 원인이 되고 있다. 따라서 토종실용닭의 경우 체중의 균일도 및 상품의 균일성을 높이기 위해서는 반드시 암수 분리 사육이 필요하다고 사료된다.

2) 사료 이용성

토종실용닭 암컷과 수컷의 주령별 수당 1일 평균 사료 섭취량 및 사료요구율을 Table 2에 제시하였다. 분석 결과, 암수 간 주령별 수당 사료 섭취량은 전 사육 기간 모두 유의한 차이가 있는 것으로 나타났고($P<0.01$), 사료요구율은 4주령

까지 누적 사료요구율을 제외한 모든 기간에서 유의한 차이를 보였다($P<0.05$). 12주간 수당 1일 평균 사료 섭취량은 수컷이 93.6 g, 암컷은 82.4 g으로 수컷이 암컷보다 평균 10 g 이상의 사료를 더 섭취하였고, 누적 사료요구율은 수컷이 2.76, 암컷은 2.97로 암컷이 수컷보다 0.2 정도 높은 것으로 나타났다. 이러한 결과는 브로일러 및 토종닭의 사육 형태에 따른 시험에서도 비슷한 결과를 보이는데 수컷 분리 사육구가 훨씬 많은 사료를 섭취하고 높은 사료 이용성을 보이는 반면 암컷 분리 사육구는 수컷보다 적은 사료를 섭취하고 낮은 사료 이용성을 보였다고 하였다(Da Costa et al., 2017; Ogola et al., 2021; Sohn et al., 2021a).

이상 산육 능력에 대한 분석 결과를 종합할 때, 토종실용닭 암수 간 체중 및 사료 이용성의 차이가 명확하게 존재하므로 상품의 균일도 및 사양관리의 효율성을 제고할 때 암컷과 수컷을 분리 사육하는 것이 토종실용닭의 생산성 향상을 위한 바람직한 사육 방법으로 사료된다.

2. 암수 간 강건성 및 스트레스 반응 정도 비교

1) 생존율

입식 이후 12주령까지 토종실용닭의 암수 간 생존율을 육성 전기와 후기로 나누어 조사하고 이의 결과를 Fig. 2에 제

Table 2. Comparison of feed utility between male and female Korean native commercial chickens

Feed utility	Sex	2 weeks	4 weeks	6 weeks	8 weeks	10 weeks	12 weeks
Average daily feed intake (g/chick)	Male	32.59±1.68 ^a	44.32±4.56 ^a	86.10±8.89 ^a	97.68±9.43 ^a	142.77±9.44 ^a	158.09±16.92 ^a
	Female	32.12±1.75 ^b	39.46±1.56 ^b	77.41±6.91 ^b	92.52±7.55 ^b	117.74±6.27 ^b	135.30±8.79 ^b
	<i>P</i> -value	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Cumulative feed conversion ratio (g/g)	Male	1.97±0.11 ^b	1.81±1.14	2.00±0.10 ^b	2.22±0.10 ^b	2.45±0.10 ^b	2.76±0.09 ^b
	Female	2.05±0.07 ^a	1.82±0.07	2.10±0.04 ^a	2.32±0.08 ^a	2.61±0.06 ^a	2.97±0.06 ^a
	<i>P</i> -value	0.0316	0.7909	0.0058	0.0051	<0.0001	<0.0001

Values are mean±standard deviation.

The different letters of superscript within the column significantly differ ($P<0.01$).

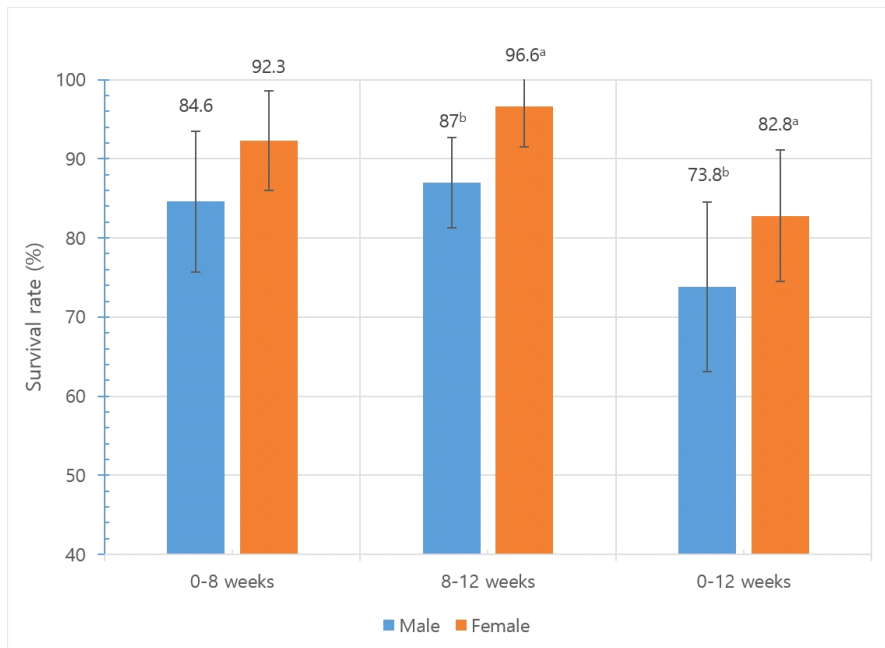


Fig. 2. Survival rates of male and female Korean native commercial chickens. The different letters of superscript within the column significantly differ ($P<0.05$).

시하였다. 분석 결과, 12주령까지 전 기간 수컷의 생존율은 73.8%, 암컷은 82.8%로 암수 간에 유의한 차이를 보였다 ($P<0.05$). 특히 육성 후기에 암수 간 생존율의 차이가 두드러지게 나타나는데 이는 수컷 간 싸움으로 인한 폐사율의 증가가 수컷 생존율에 크게 영향을 미친 것으로 보인다. 이러한 결과는 브로일러의 암수 간 생존율과 면역 반응 비교 시험에서 2주령 이후부터 출하일령까지 수컷 폐사율이 암컷보다 유의하게 높았고, 암컷의 면역 반응이 수컷보다 훨씬 높게 나타났다는 보고와 잘 일치되는 결과이다(Leitner et al., 1989; Yerpes et al., 2020). 그러나 일부 브로일러 사육 시험에서 수컷과 암컷 간 폐사율의 차이는 없다는 보고(Beg

et al., 2016)와 토종닭의 암수 분리 사육 시험에서 12주령까지 수컷의 생존율은 96.9%, 암컷의 생존율은 98.8%로서 이들 간의 차이가 유의하지 않다는 결과(Sohn et al., 2021a)와는 다소 차이가 있다. 닭의 생존율은 주로 사육 환경적 요인에 의해 크게 영향을 받지만, 품종이나 계통에 따른 유전적 요인에 의한 영향도 있고(Kim et al., 2019; Cho et al., 2020; Sohn et al., 2021b) 성별에 따른 생리적 차이도 영향을 미치는 것으로 판단된다.

2) 암수 간 텔로미어 함량 비교

토종실용닭 암컷과 수컷의 생리활성도 및 스트레스 반응

정도를 비교하고자 telomeric DNA의 상대적 함량 값을 분석하였다. 공시된 암수 개체들에 대한 2주령 및 12주령의 텔로미어 함유율과 두 측정 기간 텔로미어의 감축률을 Table 3에 제시하였다. 분석 결과, 암수 공히 연령이 증가함에 따라 텔로미어 함량이 감소하였고 감축의 정도는 12주령 때 2주령 대비 약 14% 정도 감소한 것으로 나타났다. 그러나 2주령과 12주령의 텔로미어 함유율 및 이 기간 감축을 모두 암수 간의 차이는 없는 것으로 나타났다. 텔로미어는 염색체 양 말단부를 지칭하는 것으로 세포 분열 때마다 일정량의 DNA의 소실이 일어나고 이에 따라 대부분의 생물체에서 연령이 증가함에 따라 텔로미어 길이는 감소하게 된다 (Harley et al., 1990, 1992). 그러나 텔로미어 길이의 감축 정도는 품종이나 계통과 같은 유전적 요인에 의한 영향뿐만 아니라 사육 조건과 같은 환경적 요인에 의해서도 많은 영향을 받는 것으로 알려져 있다(Sohn and Subramani, 2014; Sohn et al., 2015; Cho et al., 2022). 특히 내외적 스트레스는 텔로미어 길이의 감축을 현격히 촉진함으로써 텔로미어 함량이나 감축 정도를 개체의 스트레스 반응 표지로 이용한다 (Beloor et al., 2010; Sohn et al., 2012). 따라서 토종실용닭 암수 간의 텔로미어 분석 결과를 바탕으로 성별 간 생리활성도와 스트레스 반응 정도의 차이는 없다고 판단된다.

3) 암수 간 DNA 손상률 비교

백혈구 세포 내 DNA 손상 정도를 단일 세포 전기영동 방

법인 comet assay로 분석하였다. Comet assay는 세포 내 DNA 손상 정도를 검출할 수 있는 단순한 기술로서 파손된 DNA를 전기영동한 후 이미지를 정량하는 방법인데 형광 염색된 세포 형상이 혜성의 모습을 닮아 붙여진 이름이다 (Singh et al., 1988). Comet assay 분석 지표로는 전체 핵 대비 DNA 파손율을 나타내는 % DNA in tail, tail 내 DNA 생성률을 제시하는 tail moment 및 DNA 파손 분포와 정도를 상대적으로 나타내는 Olive moment가 있다(Ryu et al., 1997; Mozaffarieh et al., 2008; Kumaravel et al., 2009). 토종실용닭 암수 간 DNA의 손상 정도를 이들 표지로서 분석하고 이의 결과를 Table 4에 제시하였다. 분석 결과, 암수 간 모든 표지에서 차이가 없는 것으로 나타나 암컷과 수컷 간의 DNA 손상 정도는 같다고 판단된다. 생명체의 내외적 스트레스는 세포의 사멸 및 DNA 손상을 촉진한다고 알려져 있다(Chen et al., 2007). 특히, 닭에 있어 산화 스트레스가 DNA 손상률을 가속한다고 보고한 이래 가금에서 스트레스 반응 척도를 가늠하는 표지로 유용하게 활용되고 있다 (Faullimel et al., 2005; Sohn et al., 2012). 닭의 DNA 손상 정도는 암수 혼합 사육한 개체들이 분리 사육한 개체보다 높고(Jeong et al., 2020), 케이지 사육 개체가 평사 사육 개체보다 높다고 하여(Choi et al., 2020) 스트레스 적 환경이 DNA 손상을 촉진함과 더불어 동일 사양 조건에서 품종 간의 차이도 있다고 하였다(Sohn et al., 2014; Cho et al., 2016). 그러나 본 연구 결과, 토종실용닭 암컷과 수컷 간의

Table 3. Comparison of the telomeric DNA content and telomere shortening ratio between male and female Korean native commercial chickens

Sex	2 weeks (A) (%)	12 weeks (B) (%)	Telomere shortening ratio ¹ (%)
Male	3.11±0.13	2.68±0.13	14.18±4.42
Female	3.10±0.16	2.68±0.12	13.30±5.97
<i>P</i> -value	0.5364	0.9195	0.2246

Values are mean±standard deviation

¹Telomere shortening ratio (%)=(A-B)/A×100

Table 4. Comparison of the intra-cellular nuclear DNA damage rates and H/L ratio between male and female Korean native commercial chickens

Sex	% DNA in tail	Tail moment	Olive moment	H/L ratio
Male	14.02±3.22	5.46±4.00	10.55±4.43	0.25±0.07
Female	13.68±3.07	4.79±2.31	10.00±2.93	0.26±0.07
<i>P</i> -value	0.5186	0.2167	0.3803	0.3253

Values are mean±standard deviation.

DNA 손상 정도는 차이가 없는 것으로 나타나 암수 간의 스트레스 반응 정도는 비슷하다고 판단된다.

4) 암수 간 Heterophil-Lymphocyte 비율 분석

실용토종닭 암수 간의 스트레스 반응 정도를 비교하기 위하여 혈액 내 H/L ratio를 분석하고 이의 결과를 Table 4에 제시하였다. 분석 결과, 암수 간의 H/L ratio 값은 거의 비슷한 수치로서 이들 간의 차이는 없는 것으로 나타났다. H/L ratio는 스트레스 반응 표지 중 하나로 혈액 내 heterophil과 lymphocyte의 비율을 나타내는 것으로 스트레스가 증가할수록 혈액 내 heterophil의 수는 증가하고 lymphocyte의 수는 감소한다(Gross and Siegel, 1983; Gross, 1989; McFarlane and Curtis, 1989). 닭의 경우 고온이나 밀사와 같은 스트레스 적 환경에서 사육된 개체들의 H/L ratio 값이 증가하였고(Campo et al, 2007; Cotter, 2015), 암수 혼합 사육이나 케이지 사육과 같은 스트레스 적 요인도 H/L ratio를 증가시킨다고 하였다(Choi et al., 2020; Jeong et al., 2020). 반면 동일 사양 조건에서 품종 간 H/L ratio 값의 차이도 보고하고 있는데 Cornish 종이 Rhode 종보다 월등히 높은 H/L ratio 값을 보인다고 하였다(Cho et al., 2020). 그러나 토종실용닭의 암수 간 H/L ratio 분석에서 성별에 따른 차이는 없는 것

로 나타나 이들 간 스트레스 반응 정도의 차이는 없는 것으로 사료된다.

5) 암수 간 HSP 유전자 발현율 분석

토종실용닭 암수 간의 스트레스 반응 정도를 살펴보고자 *HSP-70*, *HSP-90 α* 및 *HSP-90 β* 유전자 발현율을 분석하고, 이의 결과를 Fig. 3에 제시하였다. 분석 결과, *HSP-70* 유전자 발현율을 제외하고 암수 간의 *HSP* 유전자 발현율 차이는 없는 것으로 나타났다. *HSP-70* 유전자 발현율은 암컷이 수컷보다 1.5배 정도 높게 나타났으나 *HSP-90 α* 와 *HSP-90 β* 유전자 발현율은 암수 간 유의적 차이가 없는 것으로 분석되었다. *HSP*는 열 반응 합성 단백질 군으로 개체들이 고온 스트레스에 노출되면 이의 발현율이 증가한다고 알려져 있다(Lindquist, 1986; Schlesinger, 1986). 닭에 있어서도 스트레스 반응 표지로 *HSP*가 유용하게 사용되는데 열 스트레스 뿐만 아니라 외부 스트레스 적 환경에 노출되었을 때도 *HSP*의 발현율은 상승한다고 하였다(Zulkifli et al., 2002; Beloor et al., 2010; Sohn et al., 2012). *HSP*의 발현율 정도는 환경적 요인뿐만 아니라 유전적 요인에 의해서도 영향을 받는 것으로 알려져 있는데 닭의 품종 및 계통 간에도 이들의 차이가 있는 것으로 보고하고 있다. 국내 토종닭 품종들에

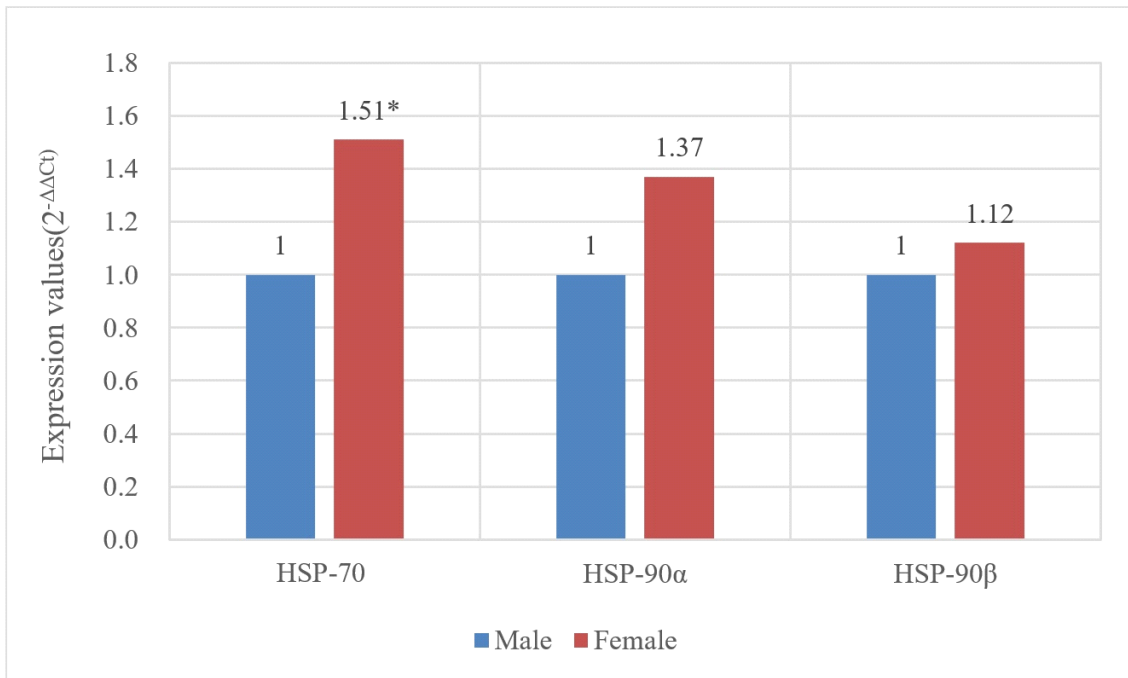


Fig. 3. Comparison of HSP gene expression levels between male and female Korean native commercial chickens. The expression values are $2^{-\Delta\Delta Ct}$ which indicate the fold change in gene expression relative to the control. A superscript of an asterisk (*) within a column indicates a significant difference ($P < 0.05$).

대한 *HSP* 발현을 분석 결과 토착코니시 종의 발현율이 가장 높았고, 재래황갈 종 및 토착로드 종의 발현율이 상대적으로 낮았다고 하였고(Sohn et al., 2015; Cho et al., 2020) 토종닭 교배조합 시험에서 경량 종 계통의 교잡계가 고체중 계통의 교잡계보다 발현율이 낮다고 하였다(Cho et al., 2016). 그러나 본 시험에서 암수 간 *HSP* 발현율의 차이는 없는 것으로 나타나 본 발현율에 따른 토종실용닭 암수 간 스트레스 반응 정도의 차이는 없는 것으로 사료된다. 이상 토종실용닭의 암수 간 생존율 및 텔로미어 함유율, 세포 내 DNA 손상률, H/L ratio, *HSP* 유전자 발현율을 비교·분석한 결과, 암컷이 수컷보다 생존율은 높으나 스트레스 지표 간의 차이는 없는 것으로 나타나 이들 간 스트레스 반응 정도의 차이는 없는 것으로 사료된다.

적 요

본 연구는 토종실용닭 암수 간의 생산 특성 및 생리적 특성을 비교하고자 이들의 산육 능력, 강건성 및 스트레스 반응 정도를 살펴보았다. 시험은 토종실용닭 암컷 608수와 수컷 479수를 대상으로 1일령부터 12주간 실시하였다. 산육 능력의 평가는 체중, 사료 섭취량, 사료요구율을 조사하였고, 강건성 및 스트레스 반응 정도의 측정은 생존율, 텔로미어 함유율, DNA 손상률, heterophil-lymphocyte 비율, *HSP-70*, *HSP-90 α* 및 *HSP-90 β* 유전자 발현율을 분석하였다. 시험 결과, 암수 간의 체중은 2주령부터 시험 종료 시까지 수컷이 암컷보다 유의하게 높았고($P < 0.01$), 사료 이용성은 시험 전 기간 수컷이 암컷보다 많은 사료를 섭취한 반면 낮은 사료 요구율을 보였다. 시험 전 기간 생존율은 암컷이 82.8%, 수컷이 73.8%로 암컷이 수컷보다 유의하게 높았다($P < 0.05$). 스트레스 반응 지표 분석 결과, 텔로미어 함유율, DNA 손상률, heterophil-lymphocyte 비율 및 *HSP* 유전자 발현율 모두에서 암컷과 수컷 간의 차이는 없는 것으로 나타났다. 이상의 결과를 종합할 때, 토종실용닭 암수 간의 산육 능력과 생존율의 차이는 있으나 스트레스 반응 정도의 차이는 없는 것으로 판단된다. 따라서 토종실용닭의 생산성 측면에서 암수의 생리적 특성과 무관하게 암컷과 수컷을 분리하여 사육하는 것이 바람직한 것으로 사료된다.

(색인어 : 산육 능력, 스트레스 반응, 암수, 토종실용닭)

사 사

본 논문은 농촌진흥청 가축유전자원 관리기관 지정 운영

2022 사업(PJ016554)의 지원으로 수행되었음.

ORCID

Sea Hwan Sohn	https://orcid.org/0000-0001-6735-9761
Eun Jung Cho	https://orcid.org/0000-0003-1416-0884
Ki Gon Kim	https://orcid.org/0000-0003-0174-520X
Ka Bin Shin	https://orcid.org/0000-0002-4466-0057
Seul Gy Lee	https://orcid.org/0000-0002-2548-8554

REFERENCES

- Beg M, Islam S, Aftabuzzaman M, Mahbub A 2016 Effect of separate sex growing on performance and metabolic disorder of broilers. *Int J Anim Res* 1(1):19-26.
- Beloor J, Kang HK, Kim YJ, Subramani VK, Jang IS, Sohn SH, Moon YS 2010 The effect of stocking density on stress related genes and telomeric broiler chickens. *Asian-Aust J Anim Sci* 23(4):437-443.
- Burke WH, Sharp PJ 1989 Sex differences in body weight of chicken embryos. *Poult Sci* 68(6):805-810.
- Campo JL, Gil MG, Davila SG, Munoz I 2007 Effect of lighting stress on fluctuating asymmetry, heterophil-to-lymphocyte ratio, and tonic immobility duration in eleven breeds of chickens. *Poult Sci* 86(1):37-45.
- Cha JB, Hong EC, Kim SH, Kim CD, Heo KN, Choo HJ, Oh KS, Kang BS 2016 Economic performance test of commercial chickens (CC) crossbred with parent stock (PS) of Korean Native Chicken (KNC). *Korean J Poult Sci* 43(4):207-212.
- Chen JH, Hales CN, Ozanne SE 2007 DNA damage, cellular senescence and organismal ageing: causal or correlative? *Nucleic Acids Res* 35:7417-7428.
- Cho EJ, Choi ES, Jeong HC, Kim BK, Sohn SH 2020 Production traits and stress responses of five Korean native chicken breeds. *Korean J Poult Sci*. 47(2):95-105.
- Cho EJ, Kim BG, Sohn SH 2022 Comparison of telomere length and vitality among Korean native chicken breeds. *Korean J Poult Sci* 49(1):15-23.
- Cho EJ, Park JA, Choi ES, Sohn SH 2016 Comparison of stress response in diallel crossed Korean domestic chicken

- breeds. *Korean J Poult Sci* 43(2):77-88.
- Choi ES, Cho EJ, Jeong HC, Kim BK, Sohn SH 2020 Comparison of production performance and stress response of White Leghorns kept in conventional cages and floor pens. *Korean J Poult Sci* 47(3):189-197.
- Cotter PF 2015 An examination of the utility of heterophil-lymphocyte ratios in assessing stress of caged hens. *Poult Sci* 94(3):512-517.
- Cui L, Zhang X, Cheng R, Ansari AR, Elokil AA, Hu Y, Chen Y, Nafady AA, Liu H 2021 Sex differences in growth performance are related to cecal microbiota in chicken. *Microb Pathog* 150:104710.
- Da Costa MJ, Zaragoza-Santacruz S, Frost TJ, Halley J, Pesti GM 2017 Straight-run vs. sex separate rearing for 2 broiler genetic lines Part 1: live production parameters, carcass yield, and feeding behavior. *Poult Sci* 96(8):2641-2661.
- de Haas EN, Kemp B, Bolhuis JE, Groothuis T, Rodenburg TB 2013 Fear, stress, and feather pecking in commercial white and brown laying hen parent-stock flocks and their relationships with production parameters. *Poult Sci* 92(9):2259-2269.
- Faullimel C, Ennahar S, Aoude-Werner D, Guterl P, Marchioni E 2005 DNA comet assay for the detection of time-temperature abuse during the storage of poultry. *J Food Prot* 68(7):1414-1420.
- Goo D, Kim JH, Choi HS, Park GH, Han GP, 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.
- Gous R, Moran E, Stilborn H, Bradford G, Emmans G 1999 Evaluation of the parameters needed to describe the overall growth, the chemical growth, and the growth of feathers and breast muscles of broilers. *Poult Sci* 78(6):812-821.
- Gross WB 1989 Factors affecting chicken thrombocyte morphology and the relationship with heterophil:lymphocyte ratios. *Br Poultry Sci* 30(4):919-925.
- Gross WB, Siegel HS 1983 Evaluation of the heterophil/lymphocyte ratio as a measure of stress in chickens. *Avian Dis* 27(4):972-979.
- Harley CB, Futcher AB, Greider CW 1990 Telomere shorten during ageing of human fibroblasts. *Nature* 345(6274):458-460.
- Harley CB, Vaziri H, Counter CM, Allsopp RC 1992 The telomere hypothesis of cellular aging. *Exp Gerontol* 27(4):375-382.
- Henry MH, Burke WH 1998 Sexual dimorphism in broiler chick embryos and embryonic muscle development in late incubation. *Poult Sci* 77(5):728-736.
- Ikusika OO, Falowo AB, Mpendulo CT, Zindove TJ, Okoh AI 2020 Effect of strain, sex and slaughter weight on growth performance, carcass yield and quality of broiler meat. *Open Agri* 5(1):607-616.
- Jeong HC, Choi ES, Kwon JH, Cho EJ, Sohn SH 2020 Effect of mixed rearing of male and female chickens on the stress response of Korean native chickens. *Korean J Poult Sci* 47(1):29-37.
- Jung KC, Hoque MR, Seo DW, Park BK, Choi KD, Lee JH 2009 Genotype analysis of the major histocompatibility complex region in Korean native chicken. *Korean J Poult Sci* 36(4):317-322.
- Kalita S, Kalita KP, Kalita N, Mahanta JD 2018 Performance of commercial broiler chicken under sex separate rearing in deep litter system. *Inter J Live Res* 8(5):129-135.
- Kim KG, Choi ES, Kwon JH, Jung HC, Sohn SH 2019 Production performance of 12 Korean domestic chicken varieties preserved as national genetic resources. *Korean J Poult Sci* 46(2):105-115.
- Korea Native Chicken Association 2022 Statistics of Korean native chicken production in 2020. <http://www.knca.kr/sub05/stat03.html>. Accessed on March 5, 2022.
- Kumaravel TS, Vilhar B, Faux SP, Jha AN 2009 Comet assay measurements: a perspective. *Cell Biol Toxicol* 25(1):53-64.
- Leitner G, Heller ED, Friedman A 1989 Sex-related differences in immune response and survival rate of broiler chickens. *Vet Immunol Immunopathol* 21(3-4):249-260.
- Lindquist S 1986 The heat-shock response. *Annu Rev Biochem* 55:1151-1191.
- Livak KJ, Schmittgen TD 2001 Analysis of relative gene expression data using real-time quantitative PCR and the 2(-Delta Delta C(T)) method. *Methods* 25(4):402-408.

- McFarlane JM, Curtis SE 1989 Multiple concurrent stressors in chicks. 3. Effects on plasma corticosterone and the heterophil:lymphocyte ratio. *Poult Sci* 68(4):522-527.
- Mozaffarieh M, Schoetzau A, Sauter M, Grieshaber M, Orgül S, Golubnitschaja O, Flammer J 2008 Comet assay analysis of single-stranded DNA breaks in circulating leukocytes of glaucoma patients. *Mol Vis* 14:1584-1588.
- Ogola OE, Cho HM, Hong JS, Kim YB, Nawarathne SR, Yu M, Heo JM, Yi YJ 2021 Mixed and separate gender feeding influenced the growth performance for two lines of Korean native chickens when compared to a white semi-broiler and a commercial broiler from day 1 to 35 post-hatch. *Kor J Agri Sci* 48(1):171-178.
- Ryu JC, Kim HJ, Seo YR, Kim KR 1997 Single cell gel electrophoresis (comet assay) to detect DNA damage and apoptosis in cell level. *Environ Mutagens & Carcinogens* 17:71-77.
- Schlesinger MJ 1986 Heat shock proteins: the search for functions. *J Cell Biol* 103(2):321-325.
- Singh NP, McCoy MT, Tice RR, Schneider EL 1988 A simple technique for quantitation of low levels of DNA damage in individual cells. *Exp Cell Res* 175(1):184-191.
- Sohn SH, Cho EJ, Park DB, Jang IS, Moon YS 2014 Comparison of stress response between Korean native chickens and single comb white leghorns subjected to a high stocking density. *Korean J Poult Sci* 41(2): 115-125.
- Sohn SH, Cho EJ, Park JA, Hong YH, Kim CD 2015 Analysis of stress response of domestic chicken breeds for the development of a new synthetic parent stock. *Korean J Poult Sci* 42(2):157-167.
- Sohn SH, Choi ES, Cho EJ, Kim BG, Shin KB, Lee SG, Lee SH 2021a Effect of separate-sex and straight-run rearing on the productivity of Korean native chickens. *Korean J Poult Sci* 48(3):123-131.
- Sohn SH, Choi ES, Cho EJ, Kim BG, Shin KB, Lee SG, Oh KS 2021b Crossbreeding combination test for production of new synthetic Korean native commercial chickens. *Korean J Poult Sci* 48(3): 101-110.
- Sohn SH, Subramani VK 2014 Dynamics of telomere length in the chicken. *World's Poultry Science Journal* 70:721-735.
- Sohn SH, Subramani VK, Moon YS, Jang IS 2012 Telomeric DNA quantity, DNA damage, and heat shock protein gene expression as physiological stress markers in chickens. *Poult Sci* 91(4):829-836.
- Soleimani AF, Zulkifli I, Omar AR, Raha AR 2011 Physiological responses of 3 chicken breeds to acute heat stress. *Poult Sci* 90(7):1435-1440.
- Yerpes M, Llonch P, Manteca X 2020 Factors associated with cumulative first-week mortality in broiler chicks. *Animals* 10(2):310.
- Zulkifli I, Norma MTC, Israf DA, Omar AR 2002 The effect of early-age food restriction on heat shock protein 70 response in heat-stressed female broiler chickens. *Br Poult Sci* 43(1):141-145.

Received Apr. 21, 2022, Revised May 21, 2022, Accepted May 24, 2022