



개별 사육 방식을 적용한 토종 실용 산란계 교배조합과 Hy-Line Brown의 산란 성능 및 계란 품질 비교 분석

최현지¹ · 유명환² · 오켓치² · 산² · 차투랑가² · 베르나² · 베누스테² · 서은수² · 이제석² · 박해은² · 허정민^{3*}

¹충남대학교 동물자원과학부 학부생, ²충남대학교 축산학과 대학원생, ³충남대학교 동물자원과학부 교수

Comparison of Laying Performance and Egg Quality in Crossbred Korean Native Commercial Layers and Hy-Line Brown Raised in Individual Cages

Hyunji Choi¹, Myunghwan Yu², Elijah Ogola Oketch², Shan Randima Nawarathne², Nuwan Chamara Chathuranga², Bernadette Gerpacio Sta. Cruz², Venuste Maniraguha², Eunsoo Seo², Jeseok Lee², Haeun Park² and Jung Min Heo^{3*}

¹Undergraduate Student, Division of Animal and Dairy Science, Chungnam National University, Daejeon 34134, Republic of Korea

²Graduate Student, Department of Animal Science and Biotechnology, Chungnam National University, Daejeon 34134, Republic of Korea

³Professor, Department of Animal Science and Biotechnology, Chungnam National University, Daejeon 34134, Republic of Korea

ABSTRACT This study assessed the laying performance and egg quality of a commercial layer breed (Hy-Line Brown) compared to 12 crossbred strains (i.e., CFCK, CFYC, CFYD, CKCF, CKYC, CKYD, YCYD, YCCF, YCCK, YDCF, YDCK, and YDYC) of Korean Native Chicken (KNC) during the laying period. A total of 130 hens were housed in individual cages. The results revealed that the body weight of the KNC crossbreeds was significantly lower than that of the Hy-Line Brown ($P < 0.05$). YDCF crossbreed exhibited a survival rate of 100%. The CFYC demonstrated an earlier age at first egg (127 days) and age at 50% egg production (150 days), while YCCF had a shorter interval between these ages. YCCF sustained a 100% laying rate from 28 to 40 weeks and maintained a 75% laying rate at 64 weeks. At 32 weeks, egg weight was numerically higher in the CKCF and YCCF. Eggshell strength was numerically higher in YCCK and YCCF at 24 weeks and in YDCK, YCCK, and YCCF at 32 weeks. No significant differences in yolk color were observed between the Hy-Line Brown and KNC crossbreeds. In conclusion, YCCF demonstrated strong potential for further development and refinement in commercial egg production, given its consistently high laying performance and advantageous egg quality traits.

(Key words: egg quality, individual cage, Korean native chicken, laying hens, laying performance)

서론

계란은 필수 아미노산을 균형 있게 포함하고 있어 단백질 함량이 높으며, 비타민과 무기질 등 다양한 영양소가 풍부한 경제적인 단백질 공급원으로, 국민 건강에 중요한 식품 자원으로 자리 잡고 있다(Ahnen and Slavin, 2019; Réhault-Godbert et al., 2019). 농림축산식품 주요통계(2023)에 따르면, 2011년 한국의 1인당 계란 소비량은 232개였으며, 2021년에는 281개로 약 21% 증가하였다. 또한, 계란 생산량은 2010년 59만 톤에서 2020년에는 73.45만 톤으로 24%가량 증가하여 계란의 소비와 생산이 꾸준히 증가하고 있음을 보여준다(Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, 2022). 국민소득의 증가와

외식 산업의 확대에 따라 계란을 포함한 축산물 소비는 앞으로도 지속적으로 증가할 것으로 예상된다(Lim et al., 2023).

그러나 국내에서 소비되는 대부분의 계란은 몇 가지 주요 실용산란계 품종에서 생산되고 있다(Sohn et al., 2023a). 이들 품종은 주로 Hyline, ISA, Lohmann, DekalbWarren 등으로 제한되며, 외국계 글로벌기업에서 수입된 종계가 95% 이상을 점유하고 있어, 국내 양계산업은 국제 정서에 따라 큰 취약성을 지닌다(Fuglie et al., 2011; KNCA, 2022). 종계의 높은 해외 의존도와 독점적 구조는 국제 정세 변화에 따라 국내 양계 산업, 특히 계란 수급에 심각한 문제를 초래할 위험이 있다. 실제로, 2021년 네덜란드에서 발생한 고병원성 조류인플루엔자 여파로 2022년 국내 산란종계 입식 수가 감

* To whom correspondence should be addressed : jmheo@cnu.ac.kr

소하였고, 이로 인해 계란 생산량 감소와 가격 상승의 우려가 제기되었다(Chestakova et al., 2023).

또한, 육용 토종닭이 주목을 받으면서 토종닭 계란에 대한 소비자들의 관심도 증가하였다. 토종닭 계란은 일반 계란에 비해 난황 비율이 높아 영양 성분 차이가 있으며, 이러한 이유로 높은 가격대에도 불구하고 꾸준한 수요가 유지되고 있다(Kim et al., 2021). 그러나 현재 산란용 토종닭 종자 라인이 확립되지 않아 공급이 수요를 따라가지 못하여 높은 가격이 유지되고 있는 실정이다. 이러한 문제에 대응하기 위해 국립축산과학원에서는 한국 토종닭을 활용해 식량 자급률을 향상시키고 산란용 토종닭 품종을 고정하기 위한 연구가 진행 중이다(Ogola et al., 2021; Hong et al., 2022). 1992년 농촌진흥청 축산시험장에서는 한국 토종닭의 복원 및 개량 작업을 위한 기초 계군을 조성하였으며, 그 결과 2011년에 한국재래닭 5품종을 완성하였다(Jin et al., 2017; Park et al., 2024). 이 토종닭들은 문화적, 역사적 가치를 지니고 있으나, 일반 실용계에 비해 낮은 성장률과 산란능력으로 인해 경제적 측면에서 상업적 활용에 어려움을 겪고 있다(Lim et al., 2023).

이러한 한계를 극복하기 위해, 닭의 성장 및 산란능력을 향상시키는 방법으로 잡종강세가 일반적으로 이용되고 있으며, 이를 통해 상업적 활용이 가능한 토종 실용산란계를 구축하기 위한 다양한 연구들이 진행 중이다(Isa et al., 2020; Soliman et al., 2020). 잡종교배는 서로 다른 계통 간의 유전적 조합을 통해 보다 우수한 성장 특성과 산란능력을 확보하는 방식으로, 산업적 활용 가능성이 높은 품종을 선발에 중요한 역할을 한다(Kang et al., 2010; Kang et al., 2011). 따라서 본 연구는 선행 연구에서 선발된 종계를 바탕으로 12개의 토종닭 교배 조합을 구성하고, 각 조합의 유전적 특성을 보다 정확하게 파악하기 위해 케이지 당 한 마리씩 사육하는 방식을 적용하였다. 이를 통해 환경적 요인을 최소화하고, 각 조합의 산업적 활용 가능성을 평가하고자 하였다(Bedere et al., 2022). 특히, 본 연구에서는 산란기에 중점을 두어 토종 실용산란계 조합의 체중, 생존율, 산란능력, 계란 품질 등을 평가하며, 이를 산업에서 주로 이용되는 Hy-Line Brown과의 비교 분석을 통해 우수한 토종 실용산란계 조합을 구축하는 것을 목표로 한다.

재료 및 방법

본 연구는 산란용 토종닭의 육성기에 대한 연구를 진행한 Seo et al.(2023)의 후속 연구로 산란용 토종닭의 산란기에 대한 연구를 진행하였다. 또한, 본 연구는 충남대학교 동물윤리위원회 심의규정(202206-CNU-085)에 의해 검토된 후

수행되었다. 공시된 닭의 사양은 본 대학교 닭 사육 관리 지침에 따랐으며, 동물의 관리 및 취급은 본 대학 동물실험윤리위원회의 규정을 준수하고, 승인을 받았다.

1. 공시동물 및 실험설계

본 연구는 국립축산과학원 가금연구소에서 보유 중인 순계 5계통[한국로드아일랜드레드(C,D), 한국화이트레그혼(F, K), 재래종토종닭(Y)]을 이면교배조합하여 진행된 Hong et al.(2022)의 선행연구 결과를 참고하여 실용계 조합을 위한 4개 계통(CF, CK, YC, YD)을 선정한 후, 경남과학기술대학교에서 산란용 토종닭 실용계를 생산하였다. 각 교배조합은 서로 같은 계통과는 교배를 진행하지 않아 총 12개의 교배조합(i.e., CFCK, CFYC, CFYD, CKCF, CKYC, CKYD, YCYD, YCCF, YCCK, YDCF, YDCK, and YDYC)을 구성하고, 안성에 위치한 일반 부화장에서 생산된 Hy-Line Brown을 대조구로 하여 총 130수에 대한 능력을 검증하였다. 교배조합의 구성은 Table 1과 같다.

2. 사양관리

공시계는 18주령부터 64주령까지 총 46주간 무창계사의 battery cages(60 × 25 × 45 cm³ = 가로 × 세로 × 높이)당 1수씩 수용하여 사육하였다. 사료 급여는 사육 단계별로 한국가축사양표준(National Institute of Animal Science, 2022)을 참고하여 18-28주령과 29-64주령으로 구분하여 배합하였다(Table 2). 사료 급여의 경우 산란계의 주령 및 체중을 기준으로 일일 급여량을 제한하였으며, 음수는 무제한 급여하였다. 점등관리는 전 기간 광도 15 lux로 16시간 점등(16L:8D)하였다. 그 외 사양관리는 한국가축사양표준의 산란계의 사양관리(National Institute of Animal Science, 2022)에 준하여 실시하였다.

Table 1. The diallel cross combinations using Korean native chicken strains and control from week 18 to 64

Female	CK	CF	YC	YD
Male				
CK		CKCF	CKYC	CKYD
CF	CFCK		CFYC	CFYD
YC	YCCK	YCCF		YCYD
YD	YDCK	YDCF	YDYC	
Control	Hy-Line Brown			

¹ C, D: Korean Rhode Island; F, K: Korean Leghorn; Y: Korean domestic chicken.

Table 2. Composition of the experimental diets (% as-fed basis) in the laying phase

Ingredient	Diets	
	Week 18-28	Week 29-64
Corn	58.20	61.46
Soybean meal	22.78	20.42
Corn gluten meal	4.53	5.00
Soybean oil	2.50	1.26
Monocalcium phosphate	1.38	1.21
Limestone	9.65	10.00
Salt	0.25	0.25
L-lysine	0.20	0.03
DL-methionine	0.21	0.07
Vitamin-mineral premix ¹	0.30	0.30
Chemical composition		
Metabolizable energy (kcal/kg)	2,859	2,800
Crude protein (%)	18.20	17.50
Calcium (%)	4.10	4.20
Available phosphorus (%)	0.40	0.37

¹ Vitamin and mineral mixture provided the following nutrients per kg of diet: vitamin A, 24,000 IU; vitamin D₃, 6,000 IU; vitamin E, 30 IU; vitamin K, 4 mg; thiamin, 4 mg; riboflavin, 12 mg; pyridoxine, 4 mg; folacin, 2 mg; biotin, 0.03 mg; vitamin B8 0.06 mg; niacin, 90 mg; pantothenic acid, 30 mg; Fe, 80 mg (as FeSO₄ · H₂O); Zn, 80 mg (as ZnSO₄ · H₂O); Mn, 80 mg (as MnSO₄ · H₂O); Co, 0.5 mg (as CoSO₄ · H₂O); Cu, 10 mg (as CuSO₄ · H₂O); Se, 0.2 mg (as Na₂SeO₃); I, 0.9 mg (as Ca(IO₃) · 2H₂O).

3. 조사항목

1) 체중

체중은 18주에 측정 후, 20주부터는 4주 간격으로 64주령까지 개체별 전수의 체중을 측정하였다.

2) 생존율

조합별 생존율은 18주에 측정 후, 20주부터는 4주 간격으로 64주령까지 측정하였다. 생존율의 분석은 교배 조합별 입식 수 대비 생존 수수에 대한 백분율로 나타내었다.

3) 산란능력

산란 능력으로 시산일령, 초산일령, 산란율, 난중, 난각색,

난각 강도, 난각 두께 및 난황색을 측정하였다. 시산일령은 교배 조합별 반복수당 시험계의 첫 산란 개시 일령을 조사하고 이의 평균을 산출하였다. 초산일령은 50% 이상의 산란율을 연속 2일간 나타내었을 때의 일령을 나타내었다. 일계 산란율(hen-day production)은 20주부터 검정종료일까지 주간별 연 생존 수수에 대한 총 산란수의 비율로 계산하여 4주 간격으로 집계하여 표시하였다. 계란 품질 분석은 사료 전환기를 기준으로 24주령과 32주령에 산란한 계란을 이용하였다. 계란 수집은 파각란 및 연란 등과 같은 비정상적인 계란을 제외하였으며, 5일 동안 24주차에는 반복 수당 4개, 32주에는 반복 수당 5개의 계란을 이용하여 처리구당 6반복으로 진행하였다. 따라서 24주차는 총 312개, 32주차는 총 390개의 계란을 분석하였다. 난중은 분석용 저울(OHAUS explorer E12140, Ohaus Corp., USA)을 이용하여 측정하였다. 난각색은 QCR color reflectometer(Technical Services and Supplies Ltd., York, England)을 이용하여 측정하였으며, 난황색은 QCC Yolk Color automated device(Technical Services and Supplies Ltd., York, England)을 이용하여 Roche Color Fan Score(1: 연노랑~15: 주황)로 값을 나타내었다. 난각 강도는 TA-XT Plus texture analyzer(Texture Technologies Corp., Scarsdale, NY, USA)를 이용하여 g 단위로 측정하였다. 난각 두께의 경우에는 난각막을 제거한 후, QCT shell thickness micrometer(Technical Services and Supplies Ltd., York, England)를 이용하여 10 µm(0.001 cm) 단위로 측정하였다.

4. 통계처리

본 실험에서 얻어진 모든 데이터는 SPSS 26.0(SPSS Inc. Chicago, USA)의 GLM program(general linear model, one-way ANOVA procedure, SPSS Inc., Chicago, USA)을 이용하여 분석하였다. 각 처리구간 평균값의 사후 검정은 체중의 경우 Scheffe의 다중검정을 이용하였고, 계란 품질은 Tukey's test를 이용하여 95% 신뢰수준에서 검정하였다.

결과 및 고찰

1. 체중

이면교배된 모든 개체의 체중을 평균 시산 주령인 20주와 사료 전환기인 28주를 기준으로 구분하여, 각 조합별로 18-20주, 24-28주, 32-64주 기간 동안의 평균 체중을 Table 3에 제시하였다. 전 기간 동안 교배조합된 12가지 토종닭과 Hy-Line Brown 간에는 유의미한 차이가 나타나지 않았으며

($P>0.05$), 토종닭 중 CKCF, CFCK, YCYD 조합의 체중은 Hy-Line Brown보다 수치적으로 더 높게 나타났다. 18-64 주 동안의 조합 전체 평균 체중은 Park et al.(2024)에서 1,698 g으로 보고된 반면, 본 연구에서는 동일한 기간 동안 2,021 g으로 측정되어 기존 연구보다 더 높은 체중을 기록하였다. 이는 Saki et al.(2012)의 결과와 유사하며, 높은 케이지 밀도로 인해 사료 섭취 공간에 대한 경쟁이 치열해져 체중이 더 낮게 나타난 것으로 사료된다. 모든 처리구가 전 기간 동안 Hy-Line International(2019)에 명시된 Hy-Line Brown의 주령별 목표 체중을 초과하였으나, 토종닭 품종별

주령에 따른 목표 체중에 대한 기준이 설정되어 있지 않다. 따라서 향후 연구를 통해 이를 규명할 필요가 있다고 사료된다.

2. 생존율

교배 조합별 64주까지의 생존율은 Table 4에 제시되었다. 분석 결과, 28주령까지 모든 토종닭 조합에서 100%의 높은 생존율이 나타났으며, 전 기간 동안 평균 생존율은 95%에 달했다. 특히, YDCF가 전 기간 동안 100%의 생존율을 기록하여 가장 뛰어난 결과를 보였다. CFCK와 YDYC 조합은

Table 3. Comparison of body weight between crossbred Korean native chickens and Hy-Line Brown from week 18 to 64

Period	Treatment ¹												Hy-Line Brown	SEM ²	P-value
	CFCK	CFYC	CFYD	CKCF	CKYC	CKYD	YCCF	YCCK	YCYD	YDCF	YDCK	YDYC			
Week 18-20	1,721.33 ^{abc}	1,630.00 ^{abc}	1,648.00 ^{abc}	1,803.86 ^c	1,683.43 ^{abc}	1,551.86 ^a	1,625.63 ^{abc}	1,629.67 ^{abc}	1,735.44 ^{bc}	1,593.7 ^{ab}	1,621.22 ^{abc}	1,659.89 ^{abc}	1,655.22 ^{abc}	7.613	<0.001
Week 24-28	2,217.89 ^{ab}	2,001.38 ^a	1,998.71 ^a	2,323.71 ^b	2,049.86 ^{ab}	1,988.71 ^a	2,101.5 ^{ab}	2,081.5 ^{ab}	2,088.44 ^{ab}	2,046.9 ^{ab}	2,144.89 ^{ab}	2,076.89 ^{ab}	2,183.44 ^{ab}	16.708	0.008
Week 32-64	2,168.11 ^{ab}	1,988.63 ^a	2,061.57 ^{ab}	2,223.43 ^b	2,061.57 ^{ab}	2,015.86 ^a	2,099.25 ^{ab}	2,013.33 ^a	2,134.11 ^{ab}	2,051.3 ^{ab}	2,084.11 ^{ab}	2,104.67 ^{ab}	2,084.22 ^{ab}	11.893	0.019
Week 18-64	2,106.78 ^{ab}	1,935.13 ^a	1,988.29 ^a	2,174.29 ^b	2,001.57 ^a	1,940.14 ^a	2,026.75 ^{ab}	1,964.67 ^a	2,065.67 ^{ab}	1,980.1 ^a	2,022.33 ^{ab}	2,032.00 ^{ab}	2,033.33 ^{ab}	10.344	0.001

^{a-c} Values in a row with different superscripts differ significantly ($P<0.05$).

¹ C, D: Korean Rhode Island; F, K: Korean Leghorn; Y: Korean domestic chicken.

² SEM, standard error of the means.

Table 4. Comparison of survivability between crossbred Korean native chickens and Hy-Line Brown from week 18 to 64

Treatment ¹	Survivability (%)												Hy-Line Brown	
	CFCK	CFYC	CFYD	CKCF	CKYC	CKYD	YCCF	YCCK	YCYD	YDCF	YDCK	YDYC		
Week 18	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Week 20	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Week 24	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Week 28	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Week 32	100	100	100	100	90	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Week 36	100	100	100	100	90	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Week 40	100	100	100	100	90	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Week 44	100	100	100	100	90	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Week 48	100	100	100	100	90	100	90	90	100	100	100	100	100	100
Week 52	100	80	90	80	80	80	90	90	100	100	100	100	100	100
Week 56	100	80	90	80	80	80	90	90	100	100	100	100	100	100
Week 60	100	80	70	70	80	70	80	60	90	100	90	100	100	100
Week 64	90	80	70	70	70	70	80	60	90	100	90	90	90	90

¹ C, D: Korean Rhode Island; F, K: Korean Leghorn; Y: Korean domestic chicken.

실험 기간 동안 평균 생존율이 99%로 Hy-Line Brown과 동일한 수준을 나타냈다. 반면, 동일 기간 CKYC 조합의 평균 생존율은 89%로 가장 낮은 수치를 기록하였다. Shin et al. (2023)의 연구에서도 YDYC 조합은 높은 생존율을 보였으며, 이는 카니발리즘 발생 빈도가 낮았기 때문이라고 분석되었다. 이와 유사하게, Park et al.(2024)의 연구에서는 케이지당 2-5마리씩 사육된 토종닭 교배조합의 평균 생존율이 88%로, 개별 케이지에서 사육된 토종닭 교배조합의 평균 생존율인 95%에 비해 낮은 결과를 나타냈다. 이러한 생존율의 차이는 산란계 내에서 발생하는 사회적 우위와 밀접한 연관이 있는 것으로 보인다. 사회적 우위에 있는 개체들은 먹이와 공간을 독점하려는 경향이 있으며, 이로 인해 적대적 행동, 특히 카니발리즘과 같은 문제를 초래하여 생존율에 부정적인 영향을 미칠 수 있다(Bhanja and Bhaduria, 2018). 따라서 개별 케이지 사육 방식이 개체 간 상호작용을 최소화하여 더 높은 생존율을 유지하는 데 기여했을 가능성이 높다. 또한, 개별 케이지의 사용으로 각 교배조합이 카니발리즘 등 환경적 요인에 영향을 덜 받았기에 각 교배조합의 생존율 특성을 보다 명확하게 파악할 수 있었다.

3. 산란능력

토종닭 조합별 시산일령과 초산일령을 Table 5에 제시하였다. 토종닭 조합 중 CFYC의 시산일령은 127일로 가장 빨랐으며 초산일령 또한 150일로 가장 빠르게 나타났다. 토종닭 조합들의 평균 시산일령과 초산일령은 각각 136일과 156일로 Hy-Line Brown의 시산과 초산에 비해 상대적으로 늦은 경향을 보였다. Hy-Line International(2019)에 따르면 Hy-Line Brown의 평균 시산과 초산 시기는 각각 19주와 21주로 토종닭의 평균 시기와 비교했을 때 큰 차이를 보이지 않았다. 선행 연구 Hong et al.(2022)의 결과를 살펴보았을 때 종계의 시산일령과는 큰 차이가 없지만 초산일령까지 도

달하는 기간이 짧아진 것을 확인할 수 있었다. Park et al.(2024)의 연구에서는 본 연구와 마찬가지로 토종닭 조합 중 CFYC의 시산일령이 가장 빠르게 나타났으며, YCCF 조합은 시산일령에서 초산일령에 이르는 기간이 가장 짧았다. 또한, 체중이 높은 닭들은 일반적으로 초산일령이 늦게 나타나며, 체중이 낮은 닭들은 초산일령이 빠른 경향을 보인다. 연구 결과들이 제시되고 있다(Choi et al., 2017; Sohn et al., 2021). 본 연구에서도 초산일령이 가장 빠른 CFYC 조합이 실험 기간 동안 가장 낮은 체중을 보였으며, 초산일령이 가장 느린 YCYD 및 YDYC 조합은 더 높은 체중을 기록했다. 토종닭의 시산일령과 초산일령이 119일, 136일, 163일 등 다양하게 보고되고 있으며, 이러한 차이는 연구마다 계통별 반복 수와 사양 환경의 차이, 그리고 유전적 특성이 아직 안정화되지 않은 점에서 비롯된 것으로 보인다(Choi et al., 2017; Kim et al., 2019b; Kim et al., 2021; Sohn et al., 2023b). 또한, 연구마다 시산 및 초산일령의 조사 방식이 다르게 적용되어 결과에 일관성이 부족한 것으로 판단된다(Choi et al., 2017; Kim et al., 2019a; Shin et al., 2023; Sohn et al., 2023a; Sohn et al., 2023b). 따라서 향후 연구에서는 표준화된 조사 기준을 적용하여 보다 일관된 데이터를 수집하는 것이 중요할 것으로 사료된다.

20주령부터 64주령까지의 토종닭 조합과 Hy-Line Brown의 일계산란율(Hen-day egg production)은 Fig. 1에 제시되었다. 토종닭 조합의 피크 산란율 평균은 95%로 나타났으며, 모든 조합에서 90% 이상의 피크 산란율을 기록하였다. 반면, 교배에 이용된 종계의 평균 피크 산란율은 82%에 그쳤다(Hong et al., 2022). 이러한 결과는 유전적 배경이 상이한 종계 간의 교잡이 잡종강세를 유도하여 교배조합의 산란 성능이 개선되었음을 시사한다(Shin et al., 2023). 토종닭 조합들은 28주와 32주에 가장 높은 산란율을 보였고, Hy-Line Brown과 YCCF 조합은 이 시기에 100% 산란율을 기록하였

Table 5. Comparison of age of first egg laying and age of 50% egg production between crossbred Korean native chickens and Hy-Line Brown

Items	Treatments ¹												Hy-Line Brown
	CFCK	CFYC	CFYD	CKCF	CKYC	CKYD	YCCF	YCKK	YCYD	YDCF	YDCK	YDYC	
Age of first egg laying (days)	130	127	139	130	130	134	140	135	141	147	137	146	119
Age of 50% egg production (days) ²	155	150	156	152	155	154	152	154	158	156	156	158	137

¹ C, D: Korean Rhode Island; F, K: Korean Leghorn; Y: Korean domestic chicken.

² Values observed over two consecutive days refer to that of the first day.

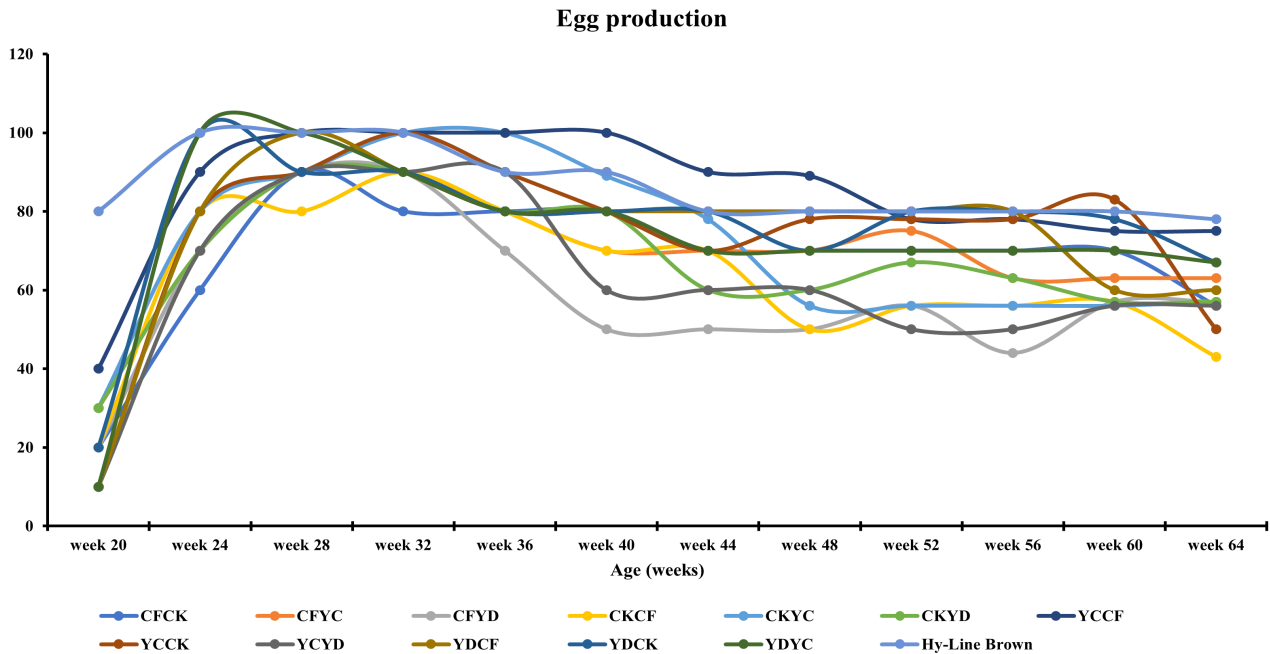


Fig. 1. Comparison of egg production between crossbred Korean native chickens and Hy-Line Brown from 20 to 64-week after hatching.

다. 특히 YCCF 조합은 28주에서 40주까지 100% 산란율을 유지하였으며, 64주령에도 75%의 산란율을 기록하며 우수한 산란 성과를 보였다. Park et al.(2024)의 연구에서는 YCCF 조합이 100%의 산란율로 산란 피크 시기에 가장 빠르게 도달했으며 32주령에 이르기까지 80% 이상의 산란율을 유지하는 성과를 보였다. 또한, Shin et al.(2023)에서도 피크 산란 시기가 28-30주로 유사하게 나타났으며, YCCF 조합이 피크 산란율 90%를 상회하는 것으로 확인되었다. YCCF 조합은 다른 교배조합과 비교하여 두드러진 산란 성능을 보였으며, 특히 장기적으로 안정적인 산란율을 유지한 것이 큰 특징이다. 12개의 토종닭 교배조합 중에서도 일관된 산란 성과를 기록했기에, 산란 능력을 기준으로 평가한다면 YCCF 조합이 향후 산란용 토종닭으로서 가장 적합한 후보로 판단된다.

4. 계란 품질

난중, 난각색, 난각 두께, 난각 강도는 사료 전환기를 기준으로 24주령과 32주령에 측정되었으며, 분석 결과는 Table 6에 제시되었다. 난중의 경우, 24주령에는 CKCF와 YDCF 조합이 Hy-Line Brown과 유의적인 차이가 나타나지 않았고($P>0.05$), 32주령에는 CKCF와 YCCF 조합이 Hy-Line Brown과 유의한 차이를 보이지 않았다($P>0.05$). 이러한 결과는 32주령에 CKCF와 YCCF 조합이 Hy-Line Brown

과 유의한 차이를 보이지 않고, 종합적으로 높은 난중을 보인 Park et al.(2024)의 연구와 일치하며, Shin et al.(2023)의 연구에서도 YCCF 조합의 난중이 대체로 무거운 경향을 보였다는 동일한 결과가 보고되었다. 또한, 한국로드아일랜드 레드와 한국화이트레그혼간의 교잡 자손의 계란이 재래종 토종닭과 교잡된 자손의 계란보다 더 무거웠다는 결과와 같은 양상으로, 산란능력이 우수하고 난중과 생존율이 양호한 CF조합이 모계로 사용되어 CKCF, YCCF, YDCF 조합의 난중이 상대적으로 높게 측정된 것으로 사료된다(Sohn et al., 2023a). 24주와 32주 모두 토종닭 조합의 난중이 Hy-Line Brown보다 낮았으나, Hy-Line International(2019)에 따르면 24주령의 난중은 56.6 g으로 토종닭 조합의 평균 난중은 56 g으로 동일한 수준을 나타낸다. 반면, 32주령 토종닭의 평균 난중은 58 g으로 Hy-Line International(2019)에 제시된 32주령 난중인 61.3 g에 미치지 못한 것으로 확인되었다. 같은 환경에서 사육된 Hy-Line Brown의 난중이 65.87 g인 것을 고려할 때, 토종닭이 Hy-Line Brown보다 낮은 난중 특성을 가졌다고 볼 수 있다. 그러나, CKCF와 YCCF 조합의 32주령 난중이 각각 64.36 g, 60.35 g으로 상업적으로 사용되는 계란의 난중에 근접하며, 24주령은 기준 난중 값을 상회하였기에 상업적 경쟁력을 지니며, Hy-Line Brown과 유사한 성과를 낼 수 있는 잠재력이 있는 조합으로 판단된다.

난각색의 경우, 24주령과 32주령 모두 토종닭 조합이 Hy-

Table 6. Comparison of egg quality between crossbred Korean native chickens and Hy-Line Brown from 24 to 64 week after hatching

Period	Treatment ¹												Hy-Line Brown	SEM ²	P-value
	CFCK	CFYC	CFYD	CKCF	CKYC	CKYD	YCCF	YCCK	YCYD	YDCF	YDCK	YDYC			
Week 24															
Egg weight (g)	47.90 ^a	54.45 ^b	56.06 ^{bc}	61.98 ^{de}	48.72 ^a	56.29 ^{bc}	59.17 ^{bcd}	58.08 ^{bcd}	56.17 ^{bc}	59.80 ^{cde}	57.81 ^{bcd}	55.84 ^{bc}	64.38 ^e	0.275	<0.001
Eggshell color	47.70 ^{cd}	53.70 ^{efg}	51.40 ^{def}	50.10 ^{def}	47.50 ^{cde}	48.80 ^{cde}	57.70 ^g	38.70 ^{bc}	47.00 ^{cd}	52.30 ^{defg}	56.10 ^{fg}	43.80 ^{bc}	24.50 ^a	0.362	<0.001
Eggshell thickness (mm)	0.300 ^b	0.323 ^g	0.307 ^c	0.324 ^g	0.318 ^f	0.309 ^{cd}	0.310 ^d	0.302 ^b	0.315 ^e	0.309 ^{cd}	0.309 ^{cd}	0.295 ^a	0.375 ^h	0.0002	<0.001
Eggshell strength (kg)	4.29 ^a	4.52 ^{cd}	4.26 ^a	4.46 ^{bc}	4.54 ^{cd}	4.51 ^c	4.62 ^{de}	4.67 ^e	4.52 ^{cd}	4.40 ^b	4.53 ^{cd}	4.29 ^a	5.92 ^f	0.006	<0.001
Yolk color	7.3	7.6	7.8	7.6	7.7	7.7	7.7	7.9	7.6	7.6	7.8	7.5	7.3	0.042	0.176
Week 32															
Egg weight (g)	56.49 ^a	58.29 ^a	56.33 ^a	64.26 ^{bc}	56.46 ^a	57.20 ^a	60.35 ^{abc}	59.61 ^{ab}	56.18 ^a	57.17 ^a	57.98 ^a	56.97 ^a	65.87 ^c	0.339	<0.001
Eggshell color	50.40 ^{cd}	55.00 ^d	48.10 ^{bcd}	50.80 ^{cd}	45.50 ^{bcd}	50.60 ^{cd}	47.00 ^{bcd}	51.90 ^d	37.10 ^b	44.20 ^{bcd}	44.80 ^{bcd}	39.40 ^{bc}	24.10 ^a	0.663	<0.001
Eggshell thickness (mm)	0.312 ^a	0.306 ^a	0.299 ^a	0.330 ^a	0.328 ^a	0.317 ^a	0.314 ^a	0.299 ^a	0.313 ^a	0.309 ^a	0.327 ^a	0.299 ^a	0.374 ^b	0.002	<0.001
Eggshell strength (kg)	4.66 ^a	4.33 ^a	4.34 ^a	4.70 ^a	4.62 ^a	4.61 ^a	4.69 ^a	4.70 ^a	4.69 ^a	4.57 ^a	4.91 ^a	4.42 ^a	6.00 ^b	0.050	<0.001
Yolk color	7.1	7.6	7.2	7.3	7.7	7.5	7.5	7.7	7.9	7.8	7.6	8.0	7.1	0.061	0.057

^{a-h} Values in a row with different superscripts differ significantly ($P < 0.05$).

¹ C, D: Korean Rhode Island; F, K: Korean Leghorn; Y: Korean domestic chicken.

² SEM, standard error of the means.

Line Brown에 비해 유의적으로 높은($P < 0.001$) 값을 나타내었다. 24주령에는 YCCF 조합이 가장 밝은 백색 계열의 난각색을 보였고, YCCK 조합이 가장 짙은 갈색 난각색을 나타냈다. 32주령에는 CFYC 조합이 계란이 가장 밝은 난각색을, YCYD 조합이 가장 짙은 난각색을 보였다. 24주령의 난각색은 Park et al.(2024)에 제시된 난각색과 차이를 보였고, 특히 YDCK 조합은 32주령에서도 상당한 차이를 보였다. 이는 교배조합을 통해 생산된 토종닭의 난각색이 유전적으로 아직 완전히 고정되지 않았다고 판단된다. 난각색은 유전적 요인뿐만 아니라 환경적 조건에도 영향을 받으며 다양한 변동성을 보일 수 있다(Samiullah et al., 2015). 따라서 이러한 변동성을 고려한 추가적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

난각 두께 측정 결과, 토종닭 조합이 24주령과 32주령 모두 Hy-Line Brown에 비해 유의적으로 낮은 값을 보였다($P < 0.001$). 특히, 토종닭 조합 중 CKCF 조합은 가장 두꺼운 난각을, YDYC 조합은 가장 얇은 난각을 나타냈다. 이는 Park et al.(2024) 연구에서도 유사한 결과가 보고되었는데, 같은 시기에 토종닭 조합이 Hy-Line Brown보다 얇은 난각을 보였으며, YDYC 조합의 난각 두께가 특히 얇게 나타났다. 또한, Shin et al.(2023)의 연구에서는 40주령 토종 실용산란계 평균 난각 두께가 0.330 mm로 보고되었으며, 6개의 토종 실용산란계 조합 중 YDYC 조합이 가장 얇은 난각 두

께를 가진 것으로 확인되었다. Shin et al.(2023)의 연구에서 보고된 평균 난각 두께는 본 연구에서 관찰된 값보다 다소 두꺼웠지만, 같은 주령과 비슷한 환경에서 사육한 Park et al.(2024)의 평균 난각 두께와는 큰 차이가 없는 것으로 보아 이는 주령과 사양 환경의 차이로 인해 값이 다르게 나타난 것으로 파악된다. 비록 각 연구 간의 평균 난각 두께에 차이는 있지만, 조합별 난각 두께를 비교한 결과 YDYC 조합이 유전적으로 얇은 난각을 가질 가능성이 높음을 알 수 있다. 일반적으로 토종닭의 난각 두께는 Hy-Line Brown에 비해 낮은 것으로 보고되었다(Lim et al., 2023). 난각 두께는 난각 파괴강도와 양의 상관관계를 가지므로 두께를 증가시키는 것이 파괴강도를 높이는 중요한 전략으로 제안되어 왔다. 그러나 토종닭의 제한된 품종은 교배조합 측면에서 유전자 다양성의 한계를 가지며, 이로 인해 난각 두께 증가에는 어려움이 따른다(Lim et al., 2023). 이에 따라 최근 연구는 난각 두께 균일성이 난각 파괴강도에 중요한 영향을 미친다는 사실이 밝혀졌다. Sun et al.(2012)에 따르면, 난각 두께의 균일성은 파괴강도와 양의 상관관계를 가지며, 더 균일한 난각 두께가 난각 품질을 향상시키는 데 기여한다. 따라서 난각 두께를 단순히 증가시키는 것만 아니라 난각 두께의 균일성을 향상시키는 것이 보다 효과적인 난각 품질 개선 전략이 될 수 있다. 이러한 점을 고려할 때, 토종닭의 난각 품질을 개선하기 위해서는 두께와 균일성을 동시에 향상시키

는 연구가 필요하다고 사료된다.

난각 강도는 난각 품질을 평가하는 중요한 지표 중 하나로, 파손된 계란의 비율이 높아지면 경제적 손실이 발생하기에 계란 생산자에게 매우 중요한 요소로 간주된다(Ketta and Tůmová, 2016). 난각 강도 또한 난각 두께와 마찬가지로 24주령과 32주령 모두 토종닭 조합이 Hy-Line Brown에 비해 유의적으로 낮은 값을 보였다($P < 0.001$). 토종닭 조합 중에선 24주령의 YCCK, YCCF 조합의 난각 강도가 유의적으로 높았으며($P < 0.001$), 32주령에서는 YDCK, YCCK, YCCF 조합이 수치적으로 높은 난각 강도를 보였다. 상업용 계란의 평균 난각 강도는 3.60 kg으로 보고되었으며(Sun et al., 2012), 본 연구에서 토종닭 조합의 평균 난각 강도는 24주령과 32주령 각각 4.47 kg, 4.60 kg으로 상업용 계란으로 활용하기에 적합한 수준으로 판단된다. 일반적으로 난각 두께와 난각 강도는 양의 상관관계를 가진다는 것이 여러 연구에서 보고되었으나(Ketta and Tůmová, 2018; Kim et al., 2020), 본 연구에서는 상관관계를 명확하게 파악할 수 없었다. 이는 Park et al.(2024)의 연구결과와도 일치하며, 측정 방법의 차이가 원인일 것으로 사료된다. 본 연구에서는 마이크로미터를 사용하여 난각 두께를 측정하였고, 이는 기계 자동 측정 방식에 비해 정확도가 다소 떨어질 수 있어 난각 두께와 강도 간 상관관계에서 일부 오차가 발생했을 가능성이 있다. 이러한 이유로 난각 두께와 난각 강도 간 상관관계에 일부 오차가 발생했을 가능성이 있다고 판단된다. 난각 품질은 품종, 계통마다 차이가 있어 적절한 유전자형을 선택하거나 유전적 선발을 통해 품질을 개선하는 것이 중요하므로 이에 대해 추가적인 연구가 필요하다고 사료된다(Ketta and Tůmová, 2016).

난황색의 경우, 24주, 32주령 모두 Hy-Line Brown과 토종닭 간의 유의적인 차이는 나타나지 않았다($P > 0.05$). 난황색은 주로 품종, 사육환경, 사료성분 등이 영향을 미친다(Grashorn, 2016; Mori et al., 2020). 본 연구에서는 대체로 토종닭의 난황색이 더 진한 경향을 보였으며, Park et al.(2024)의 연구에 보고된 난황색보다 진했다. 이러한 차이는 사료 속 포함된 카로티노이드 색소가 난황색을 결정하는 주요요인으로 작용한 것으로 판단된다(Kljak et al., 2021). 본 연구에서 한 케이지 당 한 마리씩 사육된 개체들은 사료 경쟁이 적었기에 더 많은 사료를 섭취할 수 있었고, 그로 인해 체중이 더 높아지면서 난황색도 더욱 진해진 것으로 사료된다.

종합적으로 평가했을 때, YCCF 조합이 성장 성능과 계란 품질 측면에서 산업적 가치가 가장 높은 것으로 사료된다.

이 조합은 Hy-Line International(2019)이 제시한 산업용 산란계의 권장 체중을 초과하였으며, 실험 기간 동안 평균 95%의 높은 생존율을 유지하였다. 비록 시산일령은 빠르지 않았지만, 초산일령에 신속히 도달하여 산란 안정성을 빠르게 확보하는 특징을 보였다. 특히 64주령에도 우수한 산란율을 유지하여 장기적인 산란 성과에서도 뛰어난 결과를 나타냈다. 계란 품질 측면에서도 난중과 난각강도가 우수하여 상업적 계란으로서 충분한 품질을 보였다. 따라서 YCCF 조합은 고품질 계란을 안정적이고 지속적으로 생산할 수 있는 높은 산업적 잠재력을 가진 조합으로 판단된다.

적 요

본 연구는 선행연구 결과를 참고하여 토종 실용산란계 조합을 위한 4개 계통(CF, CK, YC, YD)을 선발하여 12개의 교배조합을 구성하고, 이들의 산란성능 및 계란 품질을 상업용 산란계인 Hy-Line Brown과 비교 분석하였다. 18주령부터 64주령까지 총 130수를 대상으로 체중, 생존율, 시산일령, 초산일령, 산란율, 난중, 난각색, 난각두께, 난각강도, 난황색을 평가하였다. 분석결과, 토종 교배조합의 체중은 Hy-Line Brown에 비해 유의적으로 낮았으나 상업용 산란계의 목표 체중에는 도달하였다. 생존율은 YDCF 조합이 100%로 가장 우수했다. CFYC 조합의 시산일령과 초산일령이 각각 127일과 150일로 가장 빠르게 나타났으며, YCCF 조합은 시산일령에서 초산일령에 이르는 기간이 가장 짧게 나타났다. 일계산란율은 YCCF 조합이 28주부터 40주까지 100% 산란율을 유지했으며, 64주령에도 75%의 산란율을 기록해 탁월한 산란 성과를 보였다. 난중은 24주령에서 CKCF와 YDCF 조합이, 32주령에서는 CKCF와 YCCF 조합이 가장 무거웠다. 난각색의 경우 24주령과 32주령 사이에 조합별로 일관되지 않은 변화를 보였다. 난각 두께는 CKCF 조합이 두꺼웠고, YDYC 조합이 가장 얇았다. 난각강도는 24주령에는 YCCK, YCCF 조합이, 32주령에서는 YDCK, YCCK, YCCF 조합이 높은 값을 나타냈다. 난황색의 경우 Hy-Line Brown과 유의미한 차이를 보이지 않았다. 종합적으로 YCCF 조합은 일계산란율에서 28부터 40주까지 100% 산란율을 유지하는 뛰어난 성과를 보였으며, 시산일령과 초산일령 사이 기간이 짧아 조기에 산란 성숙에 도달하면서도 높은 난중과 강력한 난각강도를 유지하는 우수한 특성을 나타냈다. 또한, 상대적으로 높지 않은 체중은 적당한 사료 섭취량을 가능하게 할 것으로 판단되며, 체중 대비 난중이 높아 전반적인 사료 효율도 우수할 것으로 판단된다. 이러한

특성으로 인해 YCCF 조합은 산란 능력과 계란 품질을 동시에 확보할 수 있는 잠재력을 지니고 있으며, 향후 토종 실용 산란계로서 유망한 교배조합으로 사료된다.

(색인어 : 계란 품질, 개별 사양, 토종닭, 산란계, 산란 성능)

사 사

본 연구는 농촌진흥청 연구사업(과제번호 RS-2021-RD009516 [PJ-016216])의 지원에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

ORCID

Hyunji Choi <https://orcid.org/0009-0006-3328-9316>
 Myunghwan Yu <https://orcid.org/0000-0003-4479-4677>
 Elijah Ogola Oketch <https://orcid.org/0000-0003-4364-460X>
 Shan Randima Nawarathne
<https://orcid.org/0000-0001-9055-9155>
 Nuwan Chamara Chathuranga
<https://orcid.org/0000-0003-1002-4068>
 Bernadette Gerpacio Sta. Cruz
<https://orcid.org/0000-0002-1663-7714>
 Venuste Maniraguha <https://orcid.org/0000-0002-5615-3036>
 Eunsoo Seo <https://orcid.org/0000-0002-0207-7381>
 Jeseok Lee <https://orcid.org/0000-0002-6829-029X>
 Haeun Park <https://orcid.org/0000-0003-3244-0716>
 Jung Min Heo <https://orcid.org/0000-0002-3693-1320>

REFERENCES

- Ahnen RT, Slavin JL 2019 Eggs as part of a healthy eating pattern. In: Eggs as Functional Foods and Nutraceuticals for Human Health. Wu, J. (ed). The Royal Society of Chemistry. Pages 1-21.
- Bedere N, Berghof TV, Peeters K, Pinaud-van Der Laan MH, Visscher J, David I, Mulder HA 2022 Using egg production longitudinal recording to study the genetic background of resilience in purebred and crossbred laying hens. *Genet Sel Evol* 54(1):26.
- Bhanja S, Bhadauria P 2018 Behaviour and welfare concepts in laying hens and their association with housing systems. *Indian J Poult Sci* 53(1):1-10.
- Chestakova IV, van der Linden A, Bellido Martin B, Caliendo V, Vuong O, Thewessen S, Hartung T, Bestebroer T, Dekker J, Jonge Poerink B 2023 High number of HPAI H5 virus infections and antibodies in wild carnivores in the Netherlands, 2020 - 2022. *Emerg Microbes Infect* 12(2):2270068.
- Choi ES, Bang MH, Kim KG, Kwon JH, g OY, Sohn SH 2017 Production performances and heterosis effects of Korean native chicken breed combinations by diallel crossing test. *Korean J Poult Sci* 44(2):123-134.
- Fuglie K, Heisey P, King JL, Day-Rubenstein K, Schimmelpfennig D, Wang SL, Pray CE, Karmarkar-Deshmukh R 2011 Research investments and market structure in the food processing, agricultural input, and biofuel industries worldwide. USDA-ERS Economic Research Report Pages 1-147 No. 130.
- Grashorn M 2016 Feed additives for influencing chicken meat and egg yolk color. In: Handbook on Natural Pigments in Food and Beverages. Woodhead Publishing. Pages 283-302.
- Hong JS, Yu M, Oketch EO, Nawarathne SR, Lee DH, Kim M, Heo JM 2022 Evaluation of the body weight and laying performance of diallel crossed Korean native chicken layers from hatch to 40 weeks of age. *Korean J Agric Sci* 49(4):1033-1040.
- Isa AM, Sun Y, Shi L, Jiang L, Li Y, Fan J, Wang P, Ni A, Huang Z, Ma H 2020 Hybrids generated by crossing elite laying chickens exhibited heterosis for clutch and egg quality traits. *Poult Sci* 99(12):6332-6340.
- Jin S, Jayasena D, Jo C, Lee J 2017 The breeding history and commercial development of the Korean native chicken. *World's Poult Sci J* 73(1):163-174.
- Kang BS, Hong EC, Kim HK, Kim CD, Heo KN, Choo HJ, Suh OS, HwangBo J 2011 Productivity and performance test of egg-type commercial Korean native chickens. *Korean J Poult Sci* 38(4):331-338.
- Kang BS, Hong EC, Kim HK, Yu DJ, Park MN, Seo BY, Choo HJ, Na SH, Seo OS, HwangBo J 2010 Hatching and growing performance of three-way crossbreds of Korean native chickens (KNC). *Korean J Poult Sci* 37(4):399-404.
- Ketta M, Tůmová E 2016 Eggshell structure, measurements, and quality-affecting factors in laying hens: a review. *Czech J Anim Sci* 61(7):299-309.
- Ketta M, Tůmová E 2018 Relationship between eggshell

- thickness and other eggshell measurements in eggs from litter and cages. *Italian J Anim Sci* 17(1):234-239.
- Kim K, Kwon I, Choo H, Park B, Cha J 2020 Egg Quality Traits and Their Correlations in 12 Strains of Korean Native Chicken. *Korean J Poult Sci* 47(3):181-188.
- Kim K, Park B, Jeon I, Choo H, Cha J 2021 Comparison of body weight and egg production ability across nine combinations of Korean indigenous chicken breeds. *Korean J Poult Sci* 48(4):161-168.
- Kim KG, Choi ES, Kwon JH, Jung HC, Sohn SH 2019a Production performance of 12 Korean domestic chicken varieties preserved as national genetic resources. *Korean J Poult Sci* 46(2):105-115.
- Kim KG, Kang BS, Park BH, Choo HJ, Kwon I, Choi ES, Sohn SH 2019b A study on the change of production performance of 5 strains of Korean native chicken after establishment of varieties. *Korean J Poult Sci* 46(3):193-204.
- Kljak K, Carović-Stanko K, Kos I, Janječić Z, Kiš G, Duvnjak M, Safner T, Bedeković D 2021 Plant carotenoids as pigment sources in laying hen diets: effect on yolk color, carotenoid content, oxidative stability and sensory properties of eggs. *Foods* 10(4):721.
- Korean Native Chicken Association (KNCA) 2022 Korean Native Chicken Slaughter Status in Statistical Data. Seoul, Korea.
- Lim CI, Kim YS, Son JS, Kim HK, You AS, Heo KN, Choo HJ 2023 Eggs quality characteristics of four-way crossbred Korean native hens and Hyline Brown hens in late laying period. *J Agric Life Sci* 57(3):97-102.
- Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs 2022 Statistics for Agriculture, Forestry and Livestock in 2022. Issue No. 11-1543000-000128-10.
- Mori H, Takaya M, Nishimura K, Goto T 2020 Breed and feed affect amino acid contents of egg yolk and eggshell color in chickens. *Poult Sci* 99(1):172-178.
- 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. *Korean J Agric Sci* 48(1):171-178.
- Park H, Yu M, Seo E, Oketch EO, Nawarathne SR, Chaturanga NC, Cruz BGS, Maniraguha V, Lee J, Choi H 2024 A comparative study on the laying performance and egg quality of the Korean native commercial chicken and Hy-Line Brown. *Korean J Poult Sci* 51(2):83-95.
- Réhault-Godbert S, Guyot N, Nys Y 2019 The golden egg: nutritional value, bioactivities, and emerging benefits for human health. *Nutrients* 11(3):684.
- Saki AA, Zamani P, Rahmati M, Mahmoudi H 2012 The effect of cage density on laying hen performance, egg quality, and excreta minerals. *J Appl Poult Res* 21(3):467-475.
- Samiullah S, Roberts JR, Chousalkar K 2015 Eggshell color in brown-egg laying hens—a review. *Poult Sci* 94(10):2566-2575.
- Seo E, Yu M, Oketch E, Nawarathne S, Chaturanga N, Cruz B, Maniraguha V, Hong J, Lee D, Kim M 2023 Comparison of the growth performance of 12 crossbred Korean native chickens and commercial layer from hatch to 16 weeks. *Korean J Poult Sci* 50(4):303-310.
- Shin K, Lee S, Kim K, Lee J, Jang S, Heo J, Choo H, Sohn S 2023 Production of a new synthetic Korean native commercial layer using crossbreeding among native chicken breeders. *Korean J Poult Sci* 50(4):203-212.
- Sohn SH, Choi ES, Cho EJ, Kim BG, Shin KB, Lee SG, Oh KS 2021 Crossbreeding combination test for the production of new synthetic Korean native commercial chickens. *Korean J Poult Sci* 48(3):101-110.
- Sohn SH, Kim K, Shin K, Lee S, Lee J, Jang S, Heo J, Choo H 2023a Diallel cross combination test for improving the laying performance of Korean native chickens. *Korean J Poult Sci* 50(3):133-141.
- Sohn SH, Kim K, Choi ES, Oh S-H 2023b Effect of body weight in growing period on laying performance of Korean native chicken breeders. *Korean J Poult Sci* 50(1):15-22.
- Soliman MA, Khalil MH, El-Sabroun K, Shebl MK 2020 Crossing effect for improving egg production traits in chickens involving local and commercial strains. *Veterinary World* 13(3):407.
- Sun C, Chen S, Xu G, Liu X, Yang N 2012 Global variation and uniformity of eggshell thickness for chicken eggs. *Poult Sci* 91(10):2718-2721.