



토종닭의 산란능력 개량을 위한 이면교배조합 검정시험

손시환^{1†} · 김기곤² · 신가빈³ · 이슬기³ · 이준호⁴ · 장수용⁴ · 허정민⁵ · 추효준⁶

¹경상국립대학교 동물생명융합학부 교수, ²경상국립대학교 동물생명융합학부 연구원,
³경상국립대학교 동물생명융합학부 대학원생, ⁴경상국립대학교 동물생명융합학부 학부생,
⁵충남대학교 동물자원과학부 교수, ⁶국립축산과학원 가금연구소 농업연구사

Diallel Cross Combination Test for Improving the Laying Performance of Korean Native Chickens

See Hwan Sohn^{1†}, Kigon Kim², Ka Bin Shin³, Seul Gy Lee³, Junho Lee⁴,
 Suyong Jang⁴, Jung Min Heo⁵ and Hyo Jun Choo⁶

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
⁴Student, Division of Animal Bioscience and Integrated Biotechnology, Gyeongsang National University, Jinju 52725, Republic of Korea
⁵Professor, Department of Animal Science and Biotechnology, Chungnam National University, Daejeon 34134, Republic of Korea
⁶Researcher, Poultry Research Institute, National Institute of Animal Science, Pyeongchang 25342, Republic of Korea

ABSTRACT We conducted a 5 × 5 diallel cross-combination test using 1,060 chickens from pure lines of Korean Rhode-C, -D, Korean Leghorn-F, -K, and Korean Native Yellowish-brown chicken (KNC-Y) to develop a new Korean native chicken layer breeder. The laying performance and combining ability, including livability, body weight, age of first egg-laying, hen-day egg production, and egg weight, were analyzed. The livability from birth to 48 weeks was 72.1±24.0%, with the highest observed in the YC and the lowest in the DK combination ($P<0.01$). The YC combination exhibited the highest general combining ability (GCA), while the YD combination showed the highest specific combining ability (SCA). Regarding body weight, combinations involving Leghorn showed lighter weights compared to combinations with Rhode and KNC-Y ($P<0.01$). Additionally, the offspring from the KNC-Y combination reached sexual maturity earlier than those from the Rhode combination. The hen-day egg production was 70.7±12.0%, with the highest seen in the CK combination at 86% ($P<0.01$). The effects of GCA and SCA on hen-day egg production were similar, with the SCA being highest in the YD combination and the GCA being highest in the Rhode-C. Significant differences in egg weight were observed among the combinations, with the eggs from Rhode and Leghorn combinations being heavier than those from combinations with KNC-Y ($P<0.01$). In conclusion, the YC and YD combinations, characterized by excellent livability, are highly desirable paternal strains, while the CF and CK combinations, with excellent laying performance and moderate egg weight, are preferred maternal strains for Korean native chicken layer breeders.

(Key words: Korean native chicken, diallel cross-combination, combining ability, laying performance, livability)

서 론

최근 농림축산식품 통계자료에 의하면 2021년 기준으로 국내 달걀 총생산량은 137억 개이고, 국민 1인당 달걀 소비량은 281개이다(Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, 2022). 국내 소비되는 달걀 대부분은 거의 같은 품종의 산란전용실용계가 생산하고 있다. 그러나 이들의 종계

는 단지 서너 개의 외국 글로벌 육종회사에서만 생산 공급함으로 국내의 모든 산란전용실용계의 종계는 전량 외국으로부터 수입에 의존하고 있는 실정이다(Fuglie et al., 2011). 종계의 높은 해외 의존도와 독과점은 국제 정세 변화에 따라 우리나라의 전반적인 양계 산업뿐만 아니라 달걀 수급 조절에 심각한 문제점을 초래할 수 있다. 이러한 상황을 극복하기 위해서는 국산 산란종계의 개발과 토종산란계로부

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

터 생산한 달걀의 보급과 확대가 필요하다. 현재 국내 토종 닭은 산육성 위주의 육용형 닭으로 개량 방침을 정하고 있는데, 이는 토종닭이 우리의 식성에 맞는 맛과 우수한 관능 성적을 가질 뿐만 아니라 브로일러와 차별화된 육질 특성을 지니고 있기 때문이다(Choe et al., 2010; Lee et al., 2018; Jeong et al., 2020). 그러나 토종닭의 우수한 육질 특성에도 불구하고 브로일러에 비해 성장률과 사료 효율이 떨어져 생산성 저하가 큰 문제점으로 남아 있다(Kang et al., 2012; Lee et al., 2013; Cha et al., 2016; Sohn et al., 2021b). 한편, 토종닭의 산란능력은 지난 25년간 국립축산과학원의 한국 재래닭 5계통의 산란 성적을 기준으로 시산일령은 147일, 270일 평균 산란지수는 77.3개, 평균 산란율은 64.4%, 평균 난중은 51.2 g 정도으로써(Kim et al., 2019b) 현재 사육 중인 국내 대표적인 실용 산란계인 Hy-line Brown의 60주까지 산란지수 260개와는 거의 비교할 수 없을 정도로 낮은 산란능력을 보이고 있다(Hy-Line International, 2020). 따라서 토종 닭을 이용한 산란성 위주의 실용닭으로 개량하고자 하는 시도는 거의 이루어지지 않고 있는데, 다만 토종닭의 낮은 산란능력을 향상시키기 위해 극히 일부의 교잡 시험들이 보고된 바 있다(Kang et al., 2011; Kim et al., 2012). 일반적으로 닭의 산란능력 개량을 위한 교배 방법으로는 잡종강세 현상을 이용한 잡종교배법이 가장 유효하게 이용되고 있다(Williams et al., 2002; Ahmed et al., 2020; Isa et al., 2020). 이러한 잡종교배법을 이용하여 국립축산과학원은 국내 보존 중인 토착화된 외래 검용종과 한국재래종 간의 이원 및 삼원교배조합 시험으로 토종닭 산란능력의 개량 효과를 살펴 보았다. 교잡 결과, 교배조합들의 56주령 평균 산란지수는 이원교잡종이 185.4개, 삼원교잡종이 184.6개였고, 30주령 평균 난중은 이원교잡종이 49.3 g, 삼원교잡종이 53.5 g으로 교잡에 따른 개량의 효과가 유의하게 나타났지만 교배 조합 간의 차이는 거의 없는 것으로 보고하였다(Kang et al., 2011; Kim et al., 2012). 한편, 교배조합 간 어떠한 조합이 최적의 능력을 가지는가를 알기 위하여 조합 간 결합능력(combining ability)의 분석이 필요한데 닭의 생산능력 개량을 위한 각종 형질에 대한 계통 간 결합능력을 추정하여 우수한 교배조합을 제시하기도 하였다(Ohh et al., 1986; Razuki and Al-Shaheen, 2011; Choi et al., 2017; Sohn et al., 2021a), 따라서 본 연구는 국내 보존 중인 토착화된 토종닭 종자를 기반으로 산란능력의 개량을 위해서 다양한 교배조합을 구성하고 이들 간 산란능력의 비교와 더불어 교배조합 간의 결합능력 추정으로 산란능력이 우수한 토종 산란형 종계 조합을 제시하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 공시동물 및 시험설계

본 시험은 국립축산과학원에서 국가유전자원으로 보존 중인 외래 토착 토종닭인 토착로드종-C(Korean Rhode Island-C strain; Rhode-C), 토착로드종-D(Korean Rhode Island-D strain; Rhode-D), 토착레그혼종-F(Korean White Leghorn-F strain; Leghorn-F) 및 토착레그혼종-K(Korean White Leghorn-K strain; Leghorn-K) 계통과 고유재래종인 한국재래닭 황갈색종(Korean Native Yellowish-brown Chicken strain; KNC-Y), 총 5개 계통을 대상으로 이들 간 이면교배(diallel cross)로 생산한 10개 조합의 암컷 1,060수를 공시하고 이들의 산란능력을 검정하였다. 이면교배조합의 구성과 조합별 검정 수수는 Table 1과 같다.

2. 사양관리

공시계의 능력 검정은 경상국립대학교 종합농장 내 육추사 및 종계사에서 발생 후 총 48주간 실시하였다. 공시계들은 육성기(0-15주) 동안 강제환기 및 자동 온도조절시스템이 완비된 무창계사 내 3단 2열 배터리형 케이지에서 사육하였고(74 × 60 × 35 cm/cage, 220 cm²/bird), 16주령에 종계사로 이송한 후 2단 4열 군사 케이지(90 × 90 × 71 cm/cage, 675 cm²/bird)에서 케이지당 약 12수씩, 조합별로 5~8반복으로 48주령까지 사육하였다. 사료 급여는 사육 단계별로 산란계 사양관리 지침에 따라 시판용 초생추 사료(ME 3,020 kcal/kg, CP 21%), 어린병아리 사료(ME 3,040 kcal/kg, CP 20%), 큰 병아리 사료(ME 2,650 kcal/kg, CP 13%), 산란 초기 사료(ME 2,750 kcal/kg, CP 16%) 및 산란중기 사료(ME 2,750 kcal/kg, CP 17%)를 급여하였고, 4주령 이후부터

Table 1. The diallel cross combinations using Korean native chicken strains

	♀	KNC-Y	Rhode-C	Rhode-D	Leghorn-F	Leghorn-K
♂						
KNC-Y			YC(110)	YD(109)	YF(102)	YK(107)
Rhode-C				CD(87)	CF(105)	CK(110)
Rhode-D					DF(110)	DK(110)
Leghorn-F						FK(110)

Brackets are the number of chicks. KNC-Y; Korean Native Yellowish-brown Chicken strain, Rhode-C; Korean Rhode Island-C strain, Rhode-D; Korean Rhode Island-D strain, Leghorn-F; Korean White Leghorn-F strain, Leghorn-K; Korean White Leghorn-K strain.

체중별 국립축산과학원에서 제시한 산란중계 권장 급여량으로 제한 급여를 실시하였다. 점등 관리는 산란계 표준 점등프로그램에 따라 실시하였고, 사양 기별 백신 접종은 국립축산과학원의 표준 백신 접종프로그램에 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 규정에 따라 시행하였다.

3. 조사항목

1) 생존율

조합별 생존율은 발생 후 육성기(0-15주령)와 산란기(16-48주령)로 구분하여 조사하였다. 생존율은 입실 수 대비 총 생존 수를 백분율로 나타내었다.

2) 체중

체중은 발생 시부터 10주 간격으로 개체별 전수의 체중을 측정하였다.

3) 산란 형질

산란 형질로 초산일령, 산란율 및 난중을 조사하였다. 초산일령은 교배 조합별 검정계의 산란율이 5%에 도달한 평균 일령으로 하였다. 일계산란율(Hen-day production)은 21주령부터 검정종료일까지 주간별 연 생존 수수에 대한 총산란 수의 비율로 나타내었다. 난중은 초산 시 및 40주령에 산란한 교배 조합별 달걀의 전수에 대한 평균 난중으로 하였다.

4. 분석 방법

1) 생산 능력 분석

교배 조합별 형질 측정값 간의 차이에 대한 통계 분석은 SAS 통계패키지(SAS Institute Inc., Cary, NC, USA)의 one-way ANOVA procedure를 이용하였고, 측정치 간의 유의성 검정은 Tukey's HSD 방법을 이용하였다.

2) 결합능력 분석

결합능력의 추정치는 이면교배에서 사용되는 Griffing's Method I(Griffing, 1956)의 Model I을 사용하였고, Diallel Analysis R statistical packages 프로그램(v3.3.1)을 이용하였다. 본 분석에 대한 선형모형은 다음과 같다.

$$X_{ijkl} = \mu + g_i + g_j + s_{ij} + \frac{1}{bc} \sum_k \sum_l e_{ijkl}$$

$$\begin{cases} i, j = 1, \dots, p, \\ k = 1, \dots, p, \\ l = 1, \dots, p, \end{cases}$$

여기서,

X_{ijkl} = 양친 i 와 j 사이에서 태어난 k 번째 교잡구의 l 번째 자손의 평균 능력

μ = 집단 평균

$g_i(g_j)$ = 양친 i 와 j 각각의 일반결합능력(GCA effect)

s_{ij} = 양친 i 와 j 사이의 특정결합능력(SCA effect, $s_{ij} = s_{ji}$)

e_{ijkl} = Error term (environmental effect)

결합능력 요소에서 다음과 같은 제한을 두었다.

$$\sum_i e_i = 0 \text{ and } \sum_i s_{ij} = 0 \text{ (for each } j)$$

3) 조합가 추정

결합능력을 이용한 조합가의 추정은 다음과 같은 수식으로 계산하였다.

$$M_{xy} = GCA_x + GCA_y + SCA_{xy}$$

여기서,

M_{xy} = x 계통과 y 계통 간 교잡에서 생산된 자손의 평균능력

GCA_x = x 계통의 일반결합능력

GCA_y = y 계통의 일반결합능력

SCA_{xy} = xy 교배조합의 특정결합능력

결과 및 고찰

1. 생존율

조합별 생존율은 병아리의 발육 과정에 따라 육성기 및 산란기로 구분하여 측정하고 이의 결과를 Table 2에 제시하였다. 분석 결과, 입식 대비 15주령까지의 평균 생존율은 $92.7 \pm 8.9\%$ 로 조합 간 유의한 차이를 보이고 있고, 이들 조합 중 DK조합이 다른 조합구에 비해 특히 낮은 생존율을 나타내었다($P < 0.05$). 16주령 이후 산란기의 평균 생존율은 $77.2 \pm 23.5\%$ 정도로 육성기에 비해 낮은 생존율을 보이며, YC조합이 98%로 가장 높은 생존율을 보인 반면 DK조합은 35.4%로 매우 낮은 생존율을 나타내었다. 이를 종합하여 사육 전 기간 생존율의 차이를 살펴본 바 조합 간 고도의 유의적 차이를 보이면서 YC조합이 95.5%로 가장 우수한 생존능력을 보인 반면 DK조합은 29.4%로 지극히 불량한 생존

Table 2. Survival rates of Korean native chicken cross combinations

Cross combinations	Survival rates		
	Growing period (birth-week 15)	Laying period (week 16-48)	Total period (birth-week 48)
YC	97.9±3.6 ^a	98.0±3.2 ^a	95.5±4.7 ^a
YD	97.8±5.8 ^a	94.7±7.1 ^{ab}	91.8±11.3 ^{ab}
YF	94.8±5.3 ^a	76.3±25.6 ^c	72.9±22.7 ^c
YK	95.8±6.0 ^a	56.2±24.6 ^d	53.0±22.3 ^{de}
CD	93.4±6.9 ^a	93.3±4.2 ^{abc}	86.1±7.1 ^{abc}
CF	89.7±11.6 ^{ab}	76.9±18.7 ^c	69.1±20.0 ^{cd}
CK	92.8±8.1 ^a	85.2±6.2 ^{abc}	77.4±12.4 ^{bc}
DF	89.4±12.5 ^{ab}	50.2±14.5 ^{de}	46.7±12.1 ^e
DK	82.0±10.5 ^b	35.4±7.7 ^e	29.4±8.3 ^f
FK	92.3±8.4 ^a	78.4±15.1 ^{bc}	69.8±17.0 ^{cd}
Means	92.7±8.9	77.2±23.5	72.1±24.0

Values are mean±standard deviation.

The different letters of superscript within the column significantly differ ($P<0.05$).

율을 나타내었다($P<0.01$). 이는 원종계 계통에 따라서 조합 간 생존율의 차이가 현저히 나타나는 것으로 보여지는데 KNC-Y나 Rhode-C를 양친으로 사용한 조합의 경우 양호한 생존율을 보인 반면 Leghorn-K 및 -F를 양친으로 이용한 조합은 매우 낮은 생존율을 보였다. 이러한 결과는 토착 육용종, 토착 검용종 및 한국재래종을 이용한 이면교배조합 시험에서 12주령까지 자손들의 육성률은 76~92%(Kang et al., 2012), 삼원교배조합 시험에서 84~91%(Park et al., 2010)로 보고한 성적보다는 다소 높은 결과이나 육성기와 산란기를 포함한 사육 전 기간의 생존율은 다른 연구에 비해 다소 저조한 편이다. 국가 보존 유전자원 한국토종닭의 생산능력 고찰에서 원종계인 Rhode-C의 생존율은 88.1%, Rhode-D는 92.2%, Leghorn-F는 72.2%, Leghorn-K는 75.2%, KNC-Y는 87.6%라 하여(Kim et al., 2019a) 본 시험의 각 조합 자손들의 생존율과 원종계의 생존율 간에는 밀접한 관련이 있는 것으로 보여지는데 이는 양친의 생존율이 자손의 생존율에 매우 큰 영향을 미친다는 것을 의미하는 결과이다. 본 연구에서 특정 조합의 낮은 생존율은 거의 대부분 카니발리즘(cannibalism) 발생으로 인한 폐사가 원인이다. 따라서 토종 산란계의 생존율 향상을 위해서 품종별 카니발리즘의 습성에 대한 유전학적 연구와 육종학적 고려가 재인식되어야 할 것으로 사료된다.

2. 체중

교배 조합별 전 개체를 대상으로 발생 때부터 40주령까지의 체중을 10주 간격으로 조사하여 조합별 체중의 변화 양상을 Fig. 1에 제시하였다. 분석 결과, 검정 기간 모든 측정 주령에서 교배조합 간 유의한 체중의 차이를 보였다($P<0.01$). 10주령 이후부터 조합 간 체중의 편차가 커지면서 토착 Leghorn종과의 조합 자손들이 토착 Rhode종 및 한국재래닭과의 조합 자손들보다 낮은 체중을 보였다. 성계 체중인 20주령의 조합 전체의 평균 체중은 1,773 g으로 YC조합 자손들이 1,964 g으로 가장 높은 반면 FK조합 자손들은 1,511 g으로 가장 낮게 나타났다. 이러한 체중 양상은 산란형 토종닭 생산을 위한 2원교배조합 자손의 평균 체중 1,719 g(Kim et al., 2012)과 거의 일치하는 결과이고, 3원교배조합종의 1,505 g(Kang et al., 2011)보다는 다소 높은 결과이다. 한편, 원종계의 20주령 체중은 Rhode(Rhode-C, -D)의 경우 1,807 g, Leghorn(Leghorn-K, -F)은 1,499 g, 한국재래닭 황갈종(KNC-Y)은 1,559 g으로 보고한 바 있는데(Kim et al., 2019a) 본 연구에서 이들 간 교배조합 자손들의 체중이 원종계보다 다소 높은 것으로 나타났다. 토종 종계에서 육성 후기 및 성숙 시 체중이 이후 이들의 산란능력에 매우 큰 영향을 미친다고 하고 육성 후기 때 평균 체중 이상을 유지한 개체들의 산란 성적이 더욱 높다고 하였는데(Sohn et al., 2023) 본 연구에서도 이와 비슷한 양상을 보이고 있어 토종닭의 산란 직전 체중 관리가 매우 중요한 것으로 사료된다.

3. 산란능력

교배 조합별 자손들의 초산일령을 Table 3에 제시하였다. 전체 교배조합구의 평균 초산일령은 144.4±4.1일로 조합 간 유의한 차이가 있었으며, YD조합 개체들이 140일로 가장 빨랐고 CD조합 개체들이 149일로 가장 늦었다($P<0.01$). 전

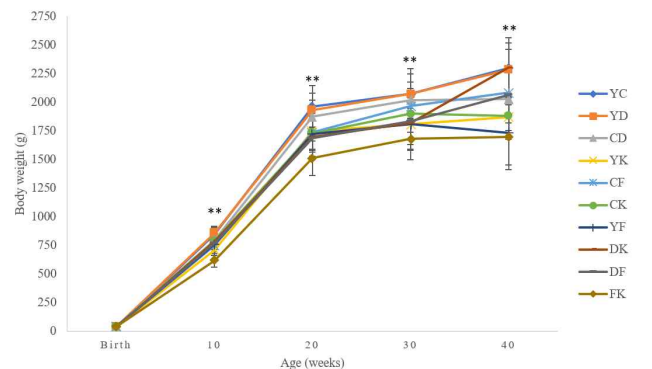


Fig. 1. Body weights of Korean native chicken cross combinations (** $P<0.01$).

Table 3. Age of first egg laying and egg weights in Korean native chicken cross combinations

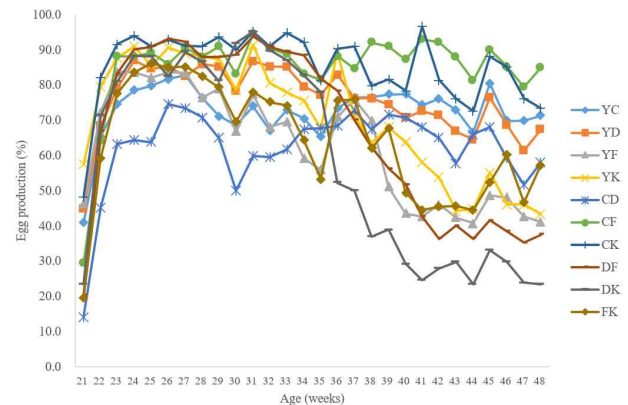
Cross combinations	Age of first egg laying (days)	Egg weight (g)	
		First egg	Week 40
YC	142.8±2.4 ^{cde}	42.5±7.8 ^{bcd}	55.0±3.2 ^c
YD	140.0±4.1 ^e	43.5±6.7 ^{abc}	54.9±3.0 ^c
YF	140.8±4.2 ^{de}	41.6±5.6 ^{cd}	55.9±3.8 ^c
YK	142.2±2.5 ^{cde}	40.1±4.3 ^d	56.8±4.5 ^c
CD	149.0±2.8 ^a	43.9±6.4 ^{abc}	56.0±4.0 ^c
CF	143.8±2.9 ^{cde}	45.3±6.1 ^a	61.9±3.4 ^{ab}
CK	145.0±2.0 ^{bc}	45.0±7.1 ^{ab}	60.3±3.6 ^b
DF	147.8±1.9 ^{ab}	45.3±4.3 ^a	62.9±2.5 ^a
DK	148.2±1.9 ^{ab}	46.1±3.5 ^a	61.8±3.3 ^{ab}
FK	144.4±4.0 ^{bcd}	44.3±5.1 ^{ab}	62.7±2.9 ^a
Means	144.4±4.1	43.8±6.2	58.6±4.7

Values are mean±standard deviation.

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

반적으로 한국재래닭 황갈색종과의 교잡 자손들의 초산일령이 빠르고, 토착 Rhode종과의 교잡 자손들이 다소 늦은 것으로 나타났다. 산란형 토종닭의 2원교배조합 시험에서 조합구별 시산일령은 125~129일로 조합 간 차이는 없다고 하여

(Kim et al., 2012) 본 결과보다 시산이 20여 일 빠른 것으로 나타났다. 이러한 차이는 초산일령 측정 방법에 따른 차이로써 본 시험의 초산일령은 조합별 검정계의 산란율이 5%에 도달한 일령으로 제시하였고, 2원교배조합 시험의 경우 조합별 산란을 시작한 첫날의 일령을 제시하였기 때문이다. 교배조합별 일계산란율(Hen-day egg production)은 21주령부터 검정종료일까지 연 생존수수에 대한 총 산란수의 비율을 나타낸 것으로 산란 이후 4주 간격의 성적을 Table 4에, 각 교배 조합별 산란곡선을 Fig. 2에 제시하였다. 전체 조합의 평균산란율은 70.7±12.0%로써 CF, CK 조합이 80% 이상의 높은 산란율을 보이며, YC, YD 조합이 70%대의 산란율을 보

**Fig. 2.** Egg production curve of Korean native chicken cross combinations.**Table 4.** Hen-day egg production (%) in Korean native chicken cross combinations

Cross combinations	wk 21-24	wk 25-28	wk 29-32	wk 33-36	wk 37-40	wk 41-44	wk 45-48	Total (wk 21-48)
YC	64.9±7.9 ^{bc}	80.2±5.5 ^c	70.4±16.4 ^{de}	70.3±8.3 ^b	77.0±7.2 ^{bc}	72.5±9.0 ^{bc}	72.9±10.1 ^{ab}	72.5±5.2 ^{bc}
YD	69.8±5.9 ^{abc}	84.6±2.5 ^{abc}	83.9±5.7 ^{abcd}	81.0±3.1 ^a	74.5±12.1 ^{bcd}	68.9±19.2 ^{bc}	68.5±12.9 ^{bc}	76.5±6.1 ^b
YF	71.5±6.5 ^{ab}	81.4±8.6 ^{bc}	73.8±14.4 ^{cd}	69.5±12.6 ^b	59.5±8.7 ^e	43.8±8.4 ^e	46.2±10.6 ^{ef}	62.8±3.7 ^d
YK	78.6±3.8 ^a	88.4±9.5 ^{ab}	85.2±15.3 ^{abcd}	79.8±14 ^a	66.7±1.0 ^{cde}	50.2±5.6 ^{de}	47.7±5.6 ^{def}	67.5±3.6 ^{cd}
CD	46.8±13.6 ^d	70.7±9.5 ^d	58.6±27.3 ^e	66.5±12.5 ^b	70.7±14.7 ^{cde}	64.3±11.0 ^{cd}	59.3±8.7 ^{cd}	62.5±10.0 ^d
CF	67.4±6.0 ^{bc}	88.6±4.2 ^{ab}	89.7±4.0 ^{ab}	85.1±4.9 ^a	88.8±6.0 ^a	88.7±7.1 ^a	85.0±9.1 ^a	84.2±2 ^a
CK	78.9±7.8 ^a	91.4±4.0 ^a	92.5±2.7 ^a	89.7±2.6 ^a	82.7±10.2 ^{ab}	82.2±6.7 ^{ab}	80.8±13.0 ^{ab}	86.0±2.5 ^a
DF	65.1±11.2 ^{bc}	91.2±1.2 ^a	90.3±2.7 ^{ab}	84.0±6.4 ^a	60.2±14.4 ^e	39.1±17.7 ^{ef}	38.3±16.8 ^{fg}	65.0±7.7 ^d
DK	62.9±10.8 ^{bc}	86.6±7.4 ^{abc}	87.9±3.7 ^{abc}	67.5±7.6 ^b	38.8±6.1 ^f	26.5±9.1 ^f	27.7±6.6 ^g	48.5±5.6 ^e
FK	60.1±4.5 ^c	84.8±5.4 ^{abc}	75.7±7.5 ^{bcd}	67.6±8.4 ^b	64.2±9.4 ^{de}	45.8±26.1 ^e	54.1±11.1 ^{de}	64.0±4.8 ^d
Means	67.3±11.5	84.9±8.1	81.2±15.3	76.9±11.5	70.4±16.1	61.7±22.7	61.3±20.6	70.7±12.0

Values are mean±standard deviation.

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

였다. 반면에 YF, YK, CD, DF, FK 조합은 60%대의 산란율을 나타내었고, DK조합의 경우 평균 48%의 매우 저조한 산란율을 나타내었다. CF, CK, YC, YD 조합을 제외한 나머지 대부분 조합의 낮은 산란율은 산란피크기 이후 37주령부터 급격한 산란 저하에 따른 것으로 이들 조합 내 카니발리즘 발생 빈도의 증가가 그 원인인 것으로 사료된다. 조합별 피크 산란시기는 YC, YD, YF, CD, FK 조합의 경우 24~27주이고 평균 피크산란율은 83%인 반면, YK, CF, CK, DF, DK 조합은 31주로 평균피크산란율은 94%로써 그룹 간의 뚜렷한 차이를 보이는데 대체적으로 토착 Rhode종과 토착 Leghorn종 간의 교잡 자손들이 한국재래종과의 교잡 자손들에 비해 피크산란기가 늦고, 높은 피크산란율을 나타내었다. 이는 초산일령과 관련이 있는 것으로 초산일령이 빠른 조합들이 대체적으로 빠른 피크산란기를 보이고 낮은 피크산란율을 나타내었다. 이러한 산란 성적은 산란형 토종닭 실용계 생산을 위한 3원교배조합 시험 결과와 비교하였을 때, 피크산란시기인 25~32주령 때 본 교배조합 개체들의 평균산란율은 83% 정도인 반면 3원교배조합의 평균산란율은 78% 정도로 초기 산란율은 본 교배조합이 우수하였으나 피크 이후 33주령부터 48주령까지 산란 후기가 진행되면서 본 교잡종의 산란율이 이들보다 6% 이상 저하되는 것으로 나타났다(Kang et al., 2011). 이러한 원인은 토종닭 3원교잡종의 교배조합 구성은 부계로 Rhode-C를, 모계로 Rhode-C와 한국재래계 계통 간 교잡종을 이용함으로써 교배조합 간의 변이가 크지 않을 뿐

만 아니라 Rhode-C의 산란성이 우수하였기 때문이다. 이에 반해 본 시험에서는 다양한 토종닭 품종의 조합 구성으로 조합 간의 유전적 특성이 다양하여 이들 간 능력의 차이도 큰 것으로 나타났다. 특히, 본 교배조합 중 CF나 CK 자손들의 산란율은 검정 기간 내 지속적으로 높은 산란율을 보여 토종닭의 여러 교배조합시험 결과보다 훨씬 우수한 산란 성적을 나타내었다. 한편, 교배조합별 난중을 시산 때와 40주령 때에 측정하여 이의 결과를 Table 3에 제시하였다. 산란한 달걀 전체의 평균 시산 난중은 43.8 ± 6.2 g이었고, 40주령 난중은 58.6 ± 4.7 g이었으며 측정 시점 모두에서 조합 간 유의한 차이를 보였다($P < 0.01$). 조합별로 토착 Rhode종과 토착 Leghorn종 간의 교잡 자손들의 달걀이 한국재래종과의 교잡 자손들의 달걀보다 훨씬 무거웠는데 이러한 결과는 시산 때와 40주령 때 거의 같은 양상이었다. 토종닭의 2원교배조합 시험에서 시산 시 및 40주령 난중은 36.7 g 및 55.2 g이었고(Kim et al., 2012), 3원교배조합에서는 40.6 g 및 58.8 g이었는데(Kang et al., 2011) 이는 본 시험의 결과보다 다소 낮은 것으로 2원 및 3원교배조합 시험에 공시된 개체들이 모두 한국재래계 계통과의 교배조합이었기 때문인 것으로 생각된다.

4. 교배조합 간 결합능력

교배조합 간 생존율, 일계산란율 및 난중의 결합능력을 추정하여 Table 5에 제시하였다. 분석 결과, 생존율의 경우 YC 및 YD조합이 상대적으로 높은 조합가를 보였는데, YC

Table 5. The combining abilities and mean values of livability, egg production and egg weight in a 5×5 diallel crosses of Korean native chicken strains

Cross combinations	Survival rate (birth-week 48)				Hen-day egg production (week 21-48)				Egg weight (week 40)			
	GCA ¹ (sire)	GCA (dam)	SCA ²	Mean ³	GCA (sire)	GCA (dam)	SCA	Mean	GCA (sire)	GCA (dam)	SCA	Mean
YC	15.4	22.6	-0.1	37.9	1.2	9.8	-7.4	3.6	-4.2	-0.7	1.1	-3.8
YD	15.4	-7.6	20.4	28.2	1.2	-7.8	14.2	7.6	-4.2	0.1	0.2	-3.9
YF	15.4	-9.4	-3.1	2.9	1.2	0.1	-7.4	-6.1	-4.2	2.7	-1.4	-2.9
YK	15.4	-21.0	-17.1	-22.7	1.2	-3.3	0.7	-1.4	-4.2	2.1	0.1	-2.0
CD	22.6	-7.6	9.9	24.9	9.8	-7.8	-8.4	-6.4	-0.7	0.1	-2.2	-2.8
CF	22.6	-9.4	-13.3	-0.1	9.8	0.1	5.4	15.3	-0.7	2.7	1.1	3.1
CK	22.6	-21.0	3.6	5.2	9.8	-3.3	10.5	17.0	-0.7	2.1	0.1	1.5
DF	-7.6	-9.4	-13.7	-30.7	-7.8	0.1	3.7	-4.0	0.1	2.7	1.2	4.0
DK	-7.6	-21.0	-16.6	-45.2	-7.8	-3.3	-9.4	-20.5	0.1	2.1	0.8	3.0
FK	-9.4	-21.0	30.1	-0.3	0.1	-3.3	-1.7	-4.9	2.7	2.1	-0.9	3.9

¹ General combining ability, ² Specific combining ability, ³ $M_{ij} = GCA_x + GCA_y + SCA_{xy}$.

조합은 Y 및 C의 일반결합능력이, YD조합은 Y와 D계통 간의 특정결합능력이 우수한데 기인한 것으로 나타났다. 생존율의 일반결합능력은 Y와 C계통은 양(+)의 값으로, D, F, K계통은 부(-)의 값으로 추정되면서 계통 간 상가적 유전 효과의 차이가 매우 큰 것으로 나타났다. 또한 이들 간의 특정결합능력도 조합 간에 매우 큰 차이를 보이는데 FK, YD조합은 높은 양의 값을, YK, DF, DK조합은 높은 부의 값을 보임으로 비 상가적 유전 효과도 크게 작용하는 것으로 나타났다. 특히 DF, DK조합의 경우 계통의 일반결합능력 및 조합 간의 특정결합능력 모두가 부의 값을 지님으로 생존율에 매우 좋지 않은 교배조합이라 사료된다. 교배 조합별 산란율의 일반결합능력, 특정결합능력 및 조합가를 분석한 결과 CF조합과 CK조합의 조합가가 가장 우수하였다. CF조합의 경우 일반결합능력, 특정결합능력이 모두 양호하였고, CK조합은 조합 간 특정결합능력이 특히 우수하였다. 산란율의 일반결합능력은 C계통이 가장 우수하였고, D계통이 가장 불량하였다. 이는 동일 Rhode종이면서 계통 간 상가적 유전 능력의 차이가 매우 크다는 것을 나타내고 있다. 조합 간 특정결합능력에서는 YD조합이 가장 우수하였고, CD 및 DK조합이 좋지 않은 것으로 나타났다. 산란율은 일반결합능력의 추정 범위나 특정결합능력의 추정 범위가 거의 비슷한 값을 나타내고 있는데, 이는 산란율에 대한 유전 양상은 상가적 유전 효과나 비 상가적 유전 효과가 거의 비슷하게 작용함을 의미한다. 난중의 결합능력 추정에서 DF조합과 FK조합의 조합가가 가장 높았는데 이는 F와 K계통의 높은 일반결합능력과 D와 F계통 간의 특정결합능력이 높았기 때문이다. 난중의 일반결합능력은 F계통이 가장 높았고, Y계통이 가장 낮았다. 난중은 일반결합능력의 추정 범위가 특정결합능력의 추정 범위보다 훨씬 크므로 이는 상가적 유전 효과의 영향이 비 상가적 유전 효과보다 더욱 크다는 것을 의미한다.

이상 토종닭 조합의 산란능력과 결합능력의 분석 결과를 바탕으로 산란형 토종닭 생산을 위한 최적의 중계 조합으로 부 계통은 생존율이 우수하고 산란율이 양호한 YC, YD조합이, 모 계통은 산란능력이 우수한 조합 중 난중과 생존율이 양호한 CF, CK조합이 가장 바람직한 조합으로 판단된다.

적 요

본 연구는 산란능력이 우수한 토종 산란형 중계를 개발하기 위하여 토착 로드종(Rhode-C, -D), 토착 레그혼종(Leghorn-F, -K) 및 한국재래계 황갈색종(KNC-Y), 총 5계통을 이용하여 5

× 5 이면교배조합(diallel cross-mating) 검정시험을 실시하였다. 생산능력의 검정은 10개 교배조합 1,060수를 대상으로 생존율, 체중, 초산일령, 난중 및 산란율을 조사하고, 조합별 생산능력 및 결합능력을 분석하였다. 분석 결과, 발생 후부터 48주령까지 전체 조합의 평균 생존율은 72.1±24.0%이고, 조합 간 유의적 차이를 보이며 YC조합의 생존율이 가장 높았고, DK조합의 생존율이 가장 낮았다($P<0.01$). 결합능력 분석 결과, YC조합의 일반결합능력이 가장 높게 추정되었고, YD조합은 두 계통 간 특정결합능력이 가장 높았다. 체중의 경우, 모든 측정 주령에서 조합 간 유의한 차이가 있었는데 토착 Leghorn종과의 조합 자손들이 토착 Rhode종 및 한국재래계와의 조합 자손들보다 낮은 체중을 보였다($P<0.01$). 초산일령 또한 조합 간 유의한 차이를 보이며 KNC-Y와의 교잡 자손들이 토착 Rhode종과의 교잡 자손들보다 대체로 빠른 초산을 나타내었다($P<0.01$). 산란율에 있어, 평균 일계산란율은 70.7±12.0%로써, 조합 간에 유의한 차이를 보이며 이들 중 CK조합이 86%로 가장 높은 산란율을 나타내었다($P<0.01$). 산란율의 일반결합능력과 특정결합능력이 조합가에 미치는 영향은 거의 비슷한 것으로 일반결합능력은 Rhode-C가 가장 우수하였고, 교배조합 간 특정결합능력은 YD조합이 가장 높게 나타났다. 시산 및 40주령 난중 모두 조합 간의 유의한 차이를 보였고($P<0.01$), 토착 Rhode종과 토착 Leghorn종 간 교잡 자손의 달걀이 KNC-Y 교잡 자손들의 달걀보다 무거웠다. 이상의 결과에 따라 산란형 토종닭 중계로서 부계는 생존율이 우수하고 산란율이 양호한 YC나 YD조합이, 모계는 산란능력이 우수하며 적절한 난중을 지닌 CF와 CK조합이 가장 바람직한 조합으로 사료된다.

(색인어 : 한국토종닭, 이면교배조합, 결합능력, 산란능력, 생존율)

사 사

본 논문은 농촌진흥청 가축유전자원 관리기관 지정운영 2023 사업(RS-2023-00259596)의 지원으로 수행되었음.

ORCID

Sea Hwan Sohn	https://orcid.org/0000-0001-6735-9761
Kigon 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

Junho Lee <https://orcid.org/0009-0007-5295-0170>
 Suyong Jang <https://orcid.org/0009-0001-6104-4951>
 Jung Min Heo <https://orcid.org/0000-0002-3693-1320>
 Hyo Jun Choo <https://orcid.org/0000-0002-7747-5077>

REFERENCES

- Ahmed SM, Hassan KM, El-Sabroun K, Kamel SM 2020 Crossing effect for improving egg production traits in chickens involving local and commercial strains. *Vet World* 13(3):407-412.
- 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.
- Choe JH, Nam K, Jung S, Kim B, Yun HJ, Jo C 2010 Difference in the quality characteristics between Korean native chickens and broilers. *Korean J Food Sci An* 30(1):13-19.
- Choi ES, Bang MH, Kim KG, Kwon JH, Chung 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 KO, Heisey PW, King JL, Pray CE, Day-Rubenstein K, Schimmelpennig D, Wang SL, Karmarkar-Deshmukh R 2011 Research Investments and Market Structure in the Food Processing, Agricultural Input, and Biofuel Industries Worldwide. Economic Research Report No. 130. Pages 90-108. USDA, USA.
- Griffing B 1956 Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crosses. *Aust J Biol Sci* 9(4):463-493.
- Hy-Line International 2020 Hy-Line Brown performance summary. <https://www.hyline.com/literature/brown>. Accessed on July 1, 2023.
- Isa AM, Sun Y, Shi L, Jiang L, Li Y, Fan J, Wang P, Ni A, Huang Z, Ma H, Li D, Chen J 2020 Hybrids generated by crossing elite laying chickens exhibited heterosis for clutch and egg quality traits. *Poult Sci* 99(12):6332-6340.
- Jeong HS, Utama DT, Kim J, Barido FH, Lee SK 2020 Quality comparison of retorted Samgyetang made from white semi-broilers, commercial broilers, Korean native chickens, and old laying hens. *Asian-Australas J Anim Sci* 33(1):139-147.
- 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, Kim HK, Kim CD, Heo KN, Choo HJ, Hwangbo J, Suh OS, Hong EC 2012 Performance of growing period of two-crossbreed parent stock Korean native chickens for producing of Korean native commercial chickens. *Korean J Poult Sci* 39(1):71-76.
- Kim CD, Choo HJ, Kang BS, Kim HK, Heo KN, Lee MJ, Son BR, Suh OS, Choi HC, Hong EC 2012 Performance of laying period of two-way crossbreed parent stock to produce laying-type Korean native commercial chickens. *Korean J Poult Sci* 39(2):245-252.
- 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.
- Lee MJ, Kim SH, Heo KN, Kim HK, Choi HC, Hong EC, Choo HJ, Kim CD 2013 The study on productivity of commercial chickens for crossbred Korean native chickens. *Korean J Poult Sci* 40(40):291-297.
- Lee SY, Park JY, Hyun JM, Jung S, Jo C, Nam KC 2018 Comparative analysis of meat quality traits of new strains of native chickens for Samgyetang. *Korean J Poult Sci* 45(3):175-182.
- Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs 2022 Statistics for Agriculture, Forestry and Livestock in 2022. Issue No. 11-1543000-000128-10.
- Ohh BK, Han JY, Sohn SH, Park TJ 1986 Estimation of genetic variations and selection of superior lines from diallel crosses in layer chicken. *Korean J Poult Sci* 13(1):1-14.
- Park MN, Hong EC, Kang BS, Kim HK, Seo BY, Choo HJ, Na SH, Seo OS, Han JY, Hwangbo J 2010 The study on production and performance of crossbred Korean Native

- Chickens (KNC). *Korean J Poult Sci* 37(4):347-354.
- Razuki WM, Al-Shaheen SA 2011 Use of diallel cross to estimate crossbreeding effects in laying chickens. *Int J Poult Sci* 10(3):197-204.
- Sohn SH, Choi ES, Kim KG, Park B, Choo HJ, Heo JM, Oh KS 2021a Development of a new synthetic Korean native chicken breed using the diallel cross-mating test. *Korean J Poult Sci* 48(2):69-80.
- Sohn SH, Choi ES, Cho EJ, Kim BG, Shin KB, Lee SG, Oh KS 2021b 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, Choi ES, Oh S 2023 Effect of body weight in growing period on laying performance of Korean native chicken breeders. *Korean J Poult Sci* 50(1):15-22.
- Williams SM, Price SE, Siegel PB 2002 Heterosis of growth and reproductive traits in fowl. *Poult Sci* 81(8):1109-1112.
-
- Received Aug. 8, 2023, Revised Sep. 4, 2023, Accepted Sep. 4, 2023