



## 토종닭의 이면교배조합 시험을 이용한 신품종 종계 개발

손시환<sup>1†</sup> · 최은식<sup>2</sup> · 김기곤<sup>3</sup> · 박병호<sup>4</sup> · 추효준<sup>5</sup> · 허정민<sup>6</sup> · 오기석<sup>7</sup>

<sup>1</sup>경상국립대학교 동물생명과학과 교수, <sup>2</sup>경상국립대학교 동물생명과학과 박사후 연구원, <sup>3</sup>국립축산과학원 가금연구소 석사후연구원, <sup>4</sup>국립축산과학원 가금연구소 농업연구관, <sup>5</sup>국립축산과학원 가금연구소 농업연구사, <sup>6</sup>충남대학교 동물자원과학부 교수, <sup>7</sup>한협원종 대표이사

### Development of a New Synthetic Korean Native Chicken Breed using the Diallel Cross-Mating Test

Sea Hwan Sohn<sup>1†</sup>, Eun Sik Choi<sup>2</sup>, Ki Gon Kim<sup>3</sup>, Byeongho Park<sup>4</sup>,  
 Hyo Jun Choo<sup>5</sup>, Jung Min Heo<sup>6</sup> and Ki Suk Oh<sup>7</sup>

<sup>1</sup>Professor, Department of Animal Science and Biotechnology, Gyeongsang National University, Jinju 52725, Republic of Korea

<sup>2</sup>Post-Doc., Department of Animal Science and Biotechnology, Gyeongsang National University, Jinju 52725, Republic of Korea.

<sup>3</sup>Post-Master Researcher, Poultry Research Institute, National Institute of Animal Science, Pyeongchang 25342, Republic of Korea

<sup>4</sup>Senior Researcher, Poultry Research Institute, National Institute of Animal Science, Pyeongchang 25342, Republic of Korea

<sup>5</sup>Researcher, Poultry Research Institute, National Institute of Animal Science, Pyeongchang 25342, Republic of Korea

<sup>6</sup>Professor, Department of Animal Science and Biotechnology, Chungnam National University, Daejeon 34134, Republic of Korea

<sup>7</sup>CEO, Hanhyup Pure Line Co. Ltd., Danyang 27001, Republic of Korea

**ABSTRACT** We conducted a 4 × 4 diallel cross-mating test using 934 chickens from four grandparent stock lines to develop a new synthetic breed of Korean native chicken. The mean values, combining ability, and reciprocal effects on survival rate, body weight, and hen-day egg production were analyzed. In phenotypes, most chickens have yellowish-brown, reddish-brown and mixed color feathers. The average survival rate was 86.8±12.3%, with the highest in YH combination. Specific combining ability (SCA) had a greater effect on survival rate than general combining ability (GCA), and the SCA of HY combination was the highest. The 16 cross-combinations were distinctly divided into three weight groups according to their genetic characteristics. At 12 weeks of age, GCA showed a greater effect on weight than SCA, and the SCA of FH combination was the highest. The age at first egg laying was 157 days, and the crosses reached sexual maturity faster than the pure lines. The egg production rate was highest in SY at 79.5±2.1%. The GCA and SCA for hen-day egg production were similar, and the SCA was highest in the HS and FY combinations. The reciprocal effect showed that the offspring's egg production rate was high when S and Y were maternal parents in almost all combinations. In conclusion, FH and HF combinations, which have excellent growth performance, are the most desirable paternal parent stock strains, and FY, FS, HY, and SY combinations, which have excellent laying performance with moderate weight, are the preferred maternal strains.

(Key words: Korean native chicken, production performance, combining ability, diallel cross-mating)

## 서 론

국내 닭고기 소비량의 증가 추세와 맞물려 매년 닭고기 생산량도 증가하고 있는데, 2020년도 기준 국내 육계의 총 생산수는 11억 수 정도로 이들 중 브로일러가 10억7천만 수 정도이고, 토종닭은 3천7백만수 정도이다(Korea Broiler Council,

2021; Korea Native Chicken Association, 2021). 전용 육용계인 브로일러의 종계는 EW Group(Germany), Groupe Grimaud(France), Cobb-Vantress(USA)와 같은 3개의 글로벌 닭 육종 기업이 전 세계 시장의 95%를 점유하고 있고, 우리나라 브로일러 종계 역시 대부분 이들 회사로부터 수입하고 있다(Fuglie et al., 2011). 브로일러 종계의 높은 해외 의존도는 닭고기의 해외 예측이란 문

<sup>†</sup> To whom correspondence should be addressed : shsohn@gntech.ac.kr

체점과 더불어 국내 종계 시장에 글로벌 육종 회사의 과점이나 독점의 위험을 상재시키고 있다. 따라서 이러한 문제점을 극복하기 위하여 하루 빨리 고유의 국산 종계 개발이 필요한 시점이다. 한편, 우리 정부는 품종 보존 및 개량을 통해 글로벌 종자 강국을 이루는 것을 목적으로 한 Golden Seed Project(GSP)를 기획하고 2012년부터 시행하고 있는데, 대상 종자 중 닭은 품종보호 전략 종자로서 수입대체 효과와 글로벌 수출시장 진입이 가능한 신품종 토종 종자의 개발을 목표로 하고 있다. 우리나라 토종닭 유전자원은 국립축산과학원, (주)한협원종, 소래영농조합법인과 같은 3개의 기관 및 기업과 일부 개별 농가에서 보존하고 있으며, 나름의 육종방식으로 순계를 유지하고 있는데, GSP 종축사업단은 (주)한협원종이 보유하고 있는 토종닭 종자를 이용하여 산육성과 육질이 우수한 신품종 토종 종계 개발을 추진하고 있다.

닭의 산업적 생산 체계는 유전적으로 고정된 순계(pure line; PL)로부터 원종계(grandparents stock; GPS)를 선발하고, 이들 간 교잡으로 조합능력이 우수한 부계와 모계 종계(parents stock; PS)를 구성한 다음, 종계 간 교잡으로 잡종강세를 극대화할 수 있는 실용계(commercial chicken; CC)를 생산한다. 그러므로 국산 종계 개발을 위해서는 우수한 원종계의 선정 과정이 필요하며, 원종계 간 교잡 시험으로 최적의 종계 조합을 구성하여야 하고, 더불어 능력을 극대화할 수 있는 생산체계를 구축하여야 한다. 이러한 생산 체계는 근본적으로 잡종강세효과를 이용한 개량 방법으로 잡종강세란 혈연관계가 없는 개체 간의 교배에서 생긴 자손은 여러 생산 능력에 있어서 그 양친에 비해 우수한 경향이 있다는 것을 일컫는 것으로 유전적으로 비 상가적 유전 효과에 기인하여 나타나는 현상이다(Shull, 1914). 한편, 잡종강세를 효과적으로 이용하기 위하여 조합 간 결합능력(combining ability)의 분석이 필요하다(Hull, 1945; Griffing, 1956; Jakubek et al., 1987). 닭에 있어서 산란계의 경우, 산란능력에 대한 계통 간 결합능력을 추정하여 최적의 교배조합을 제시한

많은 보고들과 더불어(Hill and Nordskog, 1958; Goto and Nordskog, 1959; Wearden et al., 1967; Ohh et al., 1986; Razuki and Al-Shaheen, 2011), 육용종 및 국내 토종닭의 경우 산육성에 대한 최적의 교배조합을 설정하고자 계통 간 결합능력을 추정한 다양한 연구들이 있다(Choi, 2002; Mohammed et al., 2005; Saadey et al., 2008; Adebambo et al., 2011; Razuki and Al-Shaheen, 2011; Musa et al., 2015; Choi et al., 2017b).

따라서 본 연구에서는 GSP 종축사업의 일환으로 우수 토종닭 생산을 위한 새로운 종계를 개발하고자 원종계 간 이면교배조합(diallel cross-mating) 검정 시험을 실시하여 최적의 결합능력을 가진 부계 및 모계의 종계 조합을 선정하고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 공시동물 및 시험설계

본 연구에서는 (주)한협원종이 토종닭으로 인정받은 10개 계통의 순계 중 산육성 위주의 2개 계통(H, F)과 산란성 위주의 2개 계통(S, Y)을 이용하였다. 이들 공시 계통은 (주)한협원종이 1962년부터 외국으로부터 Cornish, White Plymouth Rock, Barred Plymouth Rock, Patridge Rock, Rhode Island Red 및 Hampshire 종을 도입하여 토착종으로 개량하였고, 이들로부터 10개의 토종닭 순계 계통을 확립한 것 중 일부이다. 원종계(GPS)의 교배조합 검정 시험은 공시된 4개 계통을 4 × 4 이면교잡하여 생산한 16개 조합의 암컷 934수를 대상으로 실시하였다. 교배조합의 구성과 조합별 검정 수수는 Table 1과 같다.

### 2. 사양관리

종계의 능력 검정은 경상국립대학교 종합농장 내 육추사 및 증계사에서 2016년 7월부터 2017년 4월까지 수행하였다.

**Table 1.** The 4 × 4 diallel cross combinations using Korean native chicken grandparent stock strains

♀ \ ♂	H	F	S	Y
H	HH(53)	FH(59)	SH(55)	YH(60)
F	HF(59)	FF(59)	SF(59)	YF(60)
S	HS(58)	FS(60)	SS(59)	YS(58)
Y	HY(59)	FY(60)	SY(59)	YY(57)

Brackets are the number of chicks.

공시계들은 육성기(0~15주) 동안 강제 환기 및 자동 온도조절시스템이 완비된 무창계사 내 3단 2열 배터리형 케이지에 사육하였고(220 cm<sup>2</sup>/1수), 16주령에 종계사로 이송한 후 2단 4열 케이지(580 cm<sup>2</sup>/1수)에서 40주령까지 사육하였다. 사료 급여는 사육 단계별로 종계 사양관리 지침에 따라 시판용 초이사료, 병아리 육성기 사료, 산란기 사료를 급여하고, 3주령 이후부터 체중별 상위, 중위, 하위 그룹으로 나누어 (주)한협원종이 제시한 육용 종계 권장 급여량으로 제한 급여하였다. 점등 관리는 종계 표준 점등프로그램에 따라 실시하였고, 사양 기별 백신 접종은 (주)한협원종의 표준 백신 접종 프로그램에 따라 수행하였으며, 7일령에 부리다듬기를 실시하였다. 그 밖의 사양관리는 경상국립대학교 닭 사육관리지침에 따라 실시하였고, 시험에 관련된 닭의 관리 및 취급은 본 대학 동물실험윤리위원회(IACUC, No. 2018-7)의 승인을 얻은 후 규정에 따라 시행하였다.

### 3. 조사항목

#### 1) 외모형태

교배 조합별 12주령 또는 16주령 때 개체의 벃 모양과 깃털 색을 조사하고, 조합별 깃털 색의 분포 빈도를 분석하였다.

#### 2) 생존율

조합별 생존율은 발생 후(0~15주령) 중추기까지와 대추기 이후 산란기(16~40주령) 동안으로 구분하여 조사하였다. 생존율은 시기별 입실 수 대비 총 생존 수에 대한 백분율로 나타내었다.

#### 3) 체중

체중 측정은 발생 시 체중을 시작으로 20주령까지는 2주간격으로 전수에 대한 개체별 체중을 측정하였고, 20주령부터 40주령까지는 4주 간격으로 측정하였다.

#### 4) 산란형질

산란형질로 초산일령, 산란율 및 난중을 조사하였다. 초산일령은 교배 조합별 검정계의 산란율이 5%에 도달한 평균 일령으로 하였다. 일계산란율(Hen-day production)은 25주령부터 검정종료일까지 주간별 연 생존 수수에 대한 총 산란수의 비율을, 산란지수(Hen-housed production)는 동일 시기의 전체 산란수를 25주 생존 수수로 나눈 값으로 나타내었다. 난중은 32주령에 산란한 교배 조합별 달걀의 전수에 대한 평균 난중으로 하였다.

### 4. 분석 방법

#### 1) 생산 능력 분석

교배 조합별 생산 능력 측정값 간의 차이에 대한 통계 분석은 SAS 통계패키지(SAS Institute Inc., Cary, NC, USA)의 one-way ANOVA procedure를 이용하여 유의성 유무를 검정하였다. 측정치의 유의적 차이가 인정되는 경우, 각 조합 간 평균값의 비교는 Tukey's HSD 검정 방법으로 분석하였다.

#### 2) 결합능력 분석

결합능력의 추정은 완전 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.

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

$$i, j = 1, \dots, p,$$

$$k = 1, \dots, p,$$

$$l = 1, \dots, p,$$

여기서,

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

$\mu$  = 집단 평균

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

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

$r_{ij}$  = 양친  $i$  와  $j$  사이의 reciprocal effect,  $r_{ij} = -r_{ji}$

$e_{ijkl}$  = 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,

$M_{xy}$  = x계통과 y계통 간 교잡에서 생산된 자손의 평균능력  
 $GCA_x$  = x계통의 일반결합능력  
 $GCA_y$  = y계통의 일반결합능력  
 $SCA_{xy}$  = xy교배조합의 특정결합능력

존율, 산육 및 산란능력을 검정 후 최적의 종계 조합을 선정 하였다.

**결과 및 고찰**

GPS의 교배조합 시험은 (주)한협원종이 보유한 4계통(H, F, S, Y)을 4 × 4 이면교잡(diallel crossing)하여 생산한 16개 종계 조합의 암컷 개체를 대상으로 조합별 외모 형태와 생

**1. 외모 형태**

모든 교배조합에서 개체들의 벗 모양은 단관으로 나타났다. 교배조합 간 개체별 깃털 색의 변이는 그리 크지 않은 것으로 나타났는데, 크게 황갈색 및 적갈색과 이들 색 간의 혼합 양상이 대부분이었다. 조합별 16주령 깃털 색의 발현 양상을 Fig. 1에 제시하였고, 이들의 분포 빈도를 Table 2에 정리하였다. 분석 결과, 황갈색 및 적갈색의 단일 깃털 색만



**Fig. 1.** The representative feather colors of Korean native chicken parent stock combinations

**Table 2.** Frequency of distribution of feather color in Korean native chicken parent stock combinations

$\delta \times \text{♀}$	Yellowish Brown	Reddish Brown	Mixed color					Barring
			Yellow /Brown	Black /Brown /White	Black /Brown	Yellow /Brown /Black	Red /Brown/Black	
HH	0	79.17	0	0	2.08	6.25	12.5	0
FF	1.92	7.69	0	0	1.92	0	0	88.46
SS	0	79.17	0	0	0	0	20.83	0
YY	11.90	88.10	0	0	0	0	0	0

**Table 2.** Continued

♂ × ♀	Yellowish Brown	Reddish Brown	Mixed color					Barring
			Yellow /Brown	Black /Brown /White	Black /Brown	Yellow /Brown /Black	Red /Brown/Black	
HF	0	21.43	0	0	0	0	51.79	26.79
FH	0	33.96	0	0	0	1.89	1.89	62.27
HS	0	77.78	3.7	0	0	0	11.11	7.41
SH	4.00	58.00	0	0	0	0	38.00	0
HY	0	88.89	5.56	0	0	0	5.56	0
YH	12.28	64.91	0	0	0	0	15.79	7.02
FS	0	96.30	0	0	0	0	0	3.70
SF	0	96.23	0	0	0	0	0	3.78
FY	0	100	0	0	0	0	0	0
YF	9.62	67.31	0	0	0	0	23.08	0
SY	0	100	0	0	0	0	0	0
YS	4.26	95.74	0	0	0	0	0	0

보이고 이모 색이 전혀 나타나지 않는 조합은 YY, FY, SY, YS로 총 4개의 조합이었다. 이모 색의 변이 양상으로는 황갈과 적갈 이외에 흑색, 적색, 갈색, 황색의 혼합 및 횡반 형태로 색의 농담에도 차이가 있는 것으로 나타났다.

## 2. 생존율

병아리의 발육 과정에 따라 0~15주령, 16주령 이후로 구

분하여 발육 단계별 생존율을 측정하고, 이의 결과를 Table 3에 제시하였다. 분석 결과, 입식 대비 15주령까지의 평균 생존율은 89.3%로 조합 간 유의한 차이( $P<0.05$ )를 보이고 HF, YH 및 FY조합이 95%의 높은 생존율을 보인 반면, YY구는 73.8%로 가장 낮은 생존율을 나타내었다. 16주령 이후 산란기의 평균 생존율은 97% 정도로 육성기에 비해 높은 생존율을 나타내었으며, FH, SH, FS, SF, YF 및 YS 조합이

**Table 3.** Survival rates of Korean native chicken parent stock combinations

♂ × ♀	0~15weeks	16~40weeks	Total (0~40weeks)
HH	93.9±6.9 <sup>a</sup>	91.4±8.8 <sup>a</sup>	86.2±12.3 <sup>ab</sup>
FF	88.1±3.0 <sup>ab</sup>	96.0±4.0 <sup>a</sup>	84.6±5.9 <sup>ab</sup>
SS	83.0±6.0 <sup>ab</sup>	95.8±4.2 <sup>a</sup>	79.6±8.2 <sup>ab</sup>
YY	73.8±20.8 <sup>b</sup>	95.0±8.7 <sup>a</sup>	70.5±22.7 <sup>b</sup>
HF	94.9±3.0 <sup>a</sup>	96.4±3.0 <sup>a</sup>	91.4±3.3 <sup>ab</sup>
FH	89.8±5.9 <sup>ab</sup>	100.0±0.0 <sup>a</sup>	89.8±5.9 <sup>ab</sup>
HS	92.9±12.4 <sup>a</sup>	96.7±5.8 <sup>a</sup>	89.5±11.8 <sup>ab</sup>
SH	91.3±7.8 <sup>ab</sup>	100.0±0.0 <sup>a</sup>	91.3±7.8 <sup>ab</sup>
HY	93.3±8.2 <sup>a</sup>	96.1±3.9 <sup>a</sup>	90.0±11.1 <sup>ab</sup>
YH	95.0±5.5 <sup>a</sup>	98.3±2.9 <sup>a</sup>	93.3±4.7 <sup>a</sup>



Table 3. Continued

♂ × ♀	0~15weeks	16~40weeks	Total (0~40weeks)
FS	90.0±3.3 <sup>ab</sup>	100.0±0.0 <sup>a</sup>	90.0±3.3 <sup>ab</sup>
SF	89.5±11.8 <sup>ab</sup>	100.0±0.0 <sup>a</sup>	89.5±11.8 <sup>ab</sup>
FY	95.0±2.9 <sup>a</sup>	94.8±5.9 <sup>a</sup>	90.0±5.8 <sup>ab</sup>
YF	86.7±12.5 <sup>ab</sup>	100.0±0.0 <sup>a</sup>	86.7±12.5 <sup>ab</sup>
SY	89.6±10.4 <sup>ab</sup>	93.6±7.0 <sup>a</sup>	84.5±15.6 <sup>ab</sup>
YS	81.4±13.4 <sup>ab</sup>	100.0±0.0 <sup>a</sup>	81.4±13.4 <sup>ab</sup>
Means	89.3±11.1	97.1±5.3	86.8±12.3

Values are mean±standard deviation.

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

100%의 생존율을 보이고, HH가 91.4%로 가장 낮은 생존율을 나타내었다. 한편, 사육 전 기간에 순계 계통(HH, FF, SS, YY)의 생존율은 평균 80.2%인 반면, 12개의 교잡 계통은 89.0%로 계통 간 교잡에 의한 생존율의 갑종강세 현상이 두드러지게 나타남을 알 수 있었다.

### 3. 산육 능력

교배 조합별 전 개체를 대상으로 개체별 발생 때부터 20주령까지의 체중을 2주 간격으로 조사하고, 이후 산란기 동안 4주 간격으로 조사하였다. 조합별 사육 기간 동안의 체중과 성장 양상을 Table 4 및 Fig. 2에 제시하였다. 분석 결과, 검정 기간 모든 측정 주령에서 교배 조합간 유의한 체중의 차이를 보였다( $P<0.01$ ). 4주령 이후부터 16개 교배조합은 고 체중 그룹, 중 체중 그룹 및 저 체중 그룹으로 구분되고, 주령이 지날수록 이의 편차가 커지면서 그룹 간 차이가 확연히 나타났다. 고 체중 그룹은 산육형으로 개량된 2개 계통

간의 교배 조합구 4개(FH, FF, HF, HH)이고, 저 체중 그룹은 산란형으로 개량된 2개 계통 간의 교배 조합구 4개(SY, YY, YS, SS)이며, 나머지 8개(YF, FY, HY, FS, YH, HS, SF, SH)는 중 체중 그룹으로 산육형 계통 × 산란형 계통의 교배 조합구이다. 시험 종료 시점인 40주령을 기준으로 전체 교배 조합의 평균 체중은 3,134 g으로 고 체중 그룹은 3,841 g, 저 체중 그룹은 2,381 g이며, 중 체중 그룹은 3,156 g으로 그룹 간에 거의 700 g 정도의 차이를 보이고, 고 체중과 저 체중 그룹 간에는 무려 1,460 g의 차이를 나타내었다. 따라서 교잡에 이용된 GPS의 유전적 특성에 따라 교배 조합간 성장 능력의 차이가 현저히 나타나고, 계통 간 교잡 시 순계에 비해 높은 체중을 보여 갑종강세 현상이 발현됨을 알 수 있었다. 이러한 양상은 (주)한협원종의 증계를 이용한 5 × 5 이면교잡 시험에서도 거의 동일한 결과를 제시하고 있는데, 총 25개 조합구의 체중 분석 결과, 4개의 상위 그룹과 12개의 중위 그룹 및 9개의 하위 그룹으로 조합별 뚜렷한 체중의

Table 4. Body weights of Korean native chicken parent stock combinations

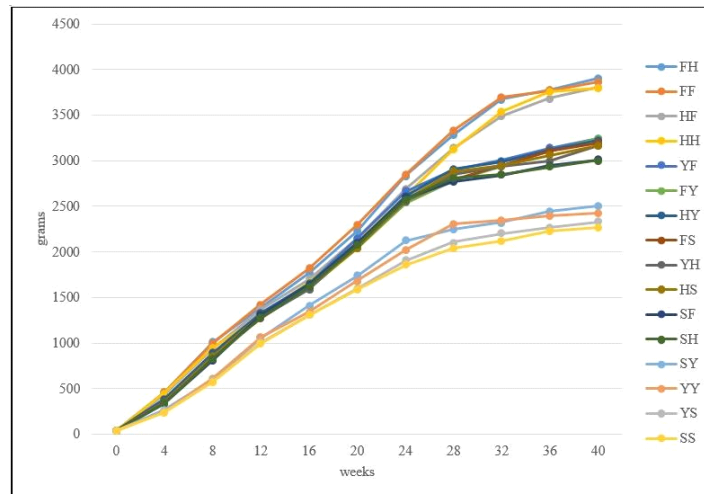
♂ × ♀	Hatching	6 wks	12 wks	20 wks	30 wks	40 wks
HH	36.4±3.9 <sup>cde</sup>	693.8±86.6 <sup>a</sup>	1,309.4±171.8 <sup>ab</sup>	2,113.1±330.5 <sup>abc</sup>	3,535.1±430.0 <sup>a</sup>	3,797.9±409.8 <sup>a</sup>
FF	38.1±3.2 <sup>abc</sup>	695.6±109.3 <sup>a</sup>	1,426.1±263.9 <sup>a</sup>	2,293.5±369.6 <sup>a</sup>	3,664.5±443.8 <sup>a</sup>	3,861.5±437.5 <sup>a</sup>
SS	36.7±3.2 <sup>bcd</sup>	422.1±96.5 <sup>d</sup>	1,015.4±188.6 <sup>c</sup>	1,590.7±233.0 <sup>d</sup>	2,116.9±294.5 <sup>c</sup>	2,267.5±322.6 <sup>c</sup>
YY	37.2±3.2 <sup>abcde</sup>	436.0±93.3 <sup>d</sup>	1,085.7±197.2 <sup>c</sup>	1,683.3±281.7 <sup>d</sup>	2,350.8±270.6 <sup>c</sup>	2,425.5±290.0 <sup>c</sup>
HF	36.1±2.9 <sup>de</sup>	647.7±72.5 <sup>ab</sup>	1,369.8±158.1 <sup>ab</sup>	2,152.6±252.2 <sup>abc</sup>	3,493.8±356.1 <sup>a</sup>	3,805.0±363.3 <sup>a</sup>
FH	39.0±3.2 <sup>a</sup>	700.9±90.4 <sup>a</sup>	1,407.8±223.7 <sup>ab</sup>	2,227.3±354.7 <sup>ab</sup>	3,675.9±407.1 <sup>a</sup>	3,904.3±445.8 <sup>a</sup>
HS	36.0±2.9 <sup>de</sup>	569.4±83.0 <sup>c</sup>	1,317.8±181.9 <sup>ab</sup>	2,055.4±198.3 <sup>bc</sup>	2,927.3±258.8 <sup>b</sup>	3,165.7±295.7 <sup>b</sup>
SH	35.8±2.3 <sup>de</sup>	609.4±111.8 <sup>bc</sup>	1,281.0±224.0 <sup>b</sup>	2,070.4±241.6 <sup>bc</sup>	2,849.2±343.5 <sup>b</sup>	3,004.5±333.1 <sup>b</sup>

**Table 4.** Continued

♂ × ♀	Hatching	6 wks	12 wks	20 wks	30 wks	40 wks
HY	37.6±3.0 <sup>abcd</sup>	614.4±73.2 <sup>bc</sup>	1,348.7±174.5 <sup>ab</sup>	2,090.5±190.9 <sup>bc</sup>	2,991.8±297.7 <sup>b</sup>	3,222.5±281.9 <sup>b</sup>
YH	35.4±2.9 <sup>e</sup>	570.0±92.5 <sup>c</sup>	1,288.6±198.6 <sup>ab</sup>	2,066.0±247.4 <sup>bc</sup>	2,929.1±316.3 <sup>b</sup>	3,169.3±347.4 <sup>b</sup>
FS	36.5±3.3 <sup>cde</sup>	589.3±95.8 <sup>bc</sup>	1,296.8±214.8 <sup>ab</sup>	2,053.0±266.9 <sup>bc</sup>	2,948.4±365.6 <sup>b</sup>	3,193.4±387.1 <sup>b</sup>
SF	35.9±2.7 <sup>de</sup>	615.5±134.7 <sup>bc</sup>	1,339.8±243.8 <sup>ab</sup>	2,095.3±255.9 <sup>bc</sup>	2,842.7±282.6 <sup>b</sup>	3,008.2±287.5 <sup>b</sup>
FY	37.6±3.1 <sup>abcd</sup>	591.6±103.5 <sup>bc</sup>	1,290.0±229.2 <sup>ab</sup>	2,036.7±271.3 <sup>c</sup>	2,937.9±419.8 <sup>b</sup>	3,239.1±376.1 <sup>b</sup>
YF	38.6±3.5 <sup>ab</sup>	621.4±103.1 <sup>bc</sup>	1,329.2±200.0 <sup>ab</sup>	2,152.0±265.3 <sup>abc</sup>	3,004.0±286.0 <sup>b</sup>	3,244.2±328.5 <sup>b</sup>
SY	35.6±2.5 <sup>e</sup>	469.5±93.2 <sup>d</sup>	1,098.6±198.2 <sup>c</sup>	1,760.5±225.6 <sup>d</sup>	2,325.7±300.3 <sup>c</sup>	2,502.4±335.4 <sup>c</sup>
YS	36.5±2.6 <sup>cde</sup>	417.3±109.5 <sup>d</sup>	1,010.4±236.0 <sup>c</sup>	1,597.2±277.2 <sup>d</sup>	2,198.4±308.8 <sup>c</sup>	2,331.0±332.8 <sup>c</sup>
Means	36.8±3.2	582.2±132.2	1,267.8±242.2	2,012.5±336.9	2,942.5±581.1	3,152.8±618.8

Values are mean±standard deviation.

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



**Fig. 2.** Changes in body weight of Korean native chicken parent stock combinations from hatching to 40 weeks

차이를 제시하였다(Manjula et al., 2016; Choi et al., 2017a). 또한 Choi et al. (2017a)은 이들 조합구 대부분에서 잡종강세 현상이 나타나고, 특히 산육형 계통 × 산란형 계통 간의 교배조합구에서 두드러진 잡종강세효과를 보인다고 하였다.

#### 4. 산란 능력

교배 조합별 초산일령, 일계산란율, 산란지수 및 32주령 난중을 Table 5에 제시하였다. 전체 교배조합구의 평균 초산일령은 157일로 FY구가 145일로 가장 빨랐으며, HH구가 177일로 가장 늦었다. 전반적으로 고 체중구의 초산일령이 늦고, 저 체중구의 초산일령이 빠른 것으로 나타났다. 또한 순계구의 평균 초산일령은 164일이었고, 교잡구는 154일로 약 10일 정도 교잡구가 순계구보다 빠른 성성숙을 보였다.

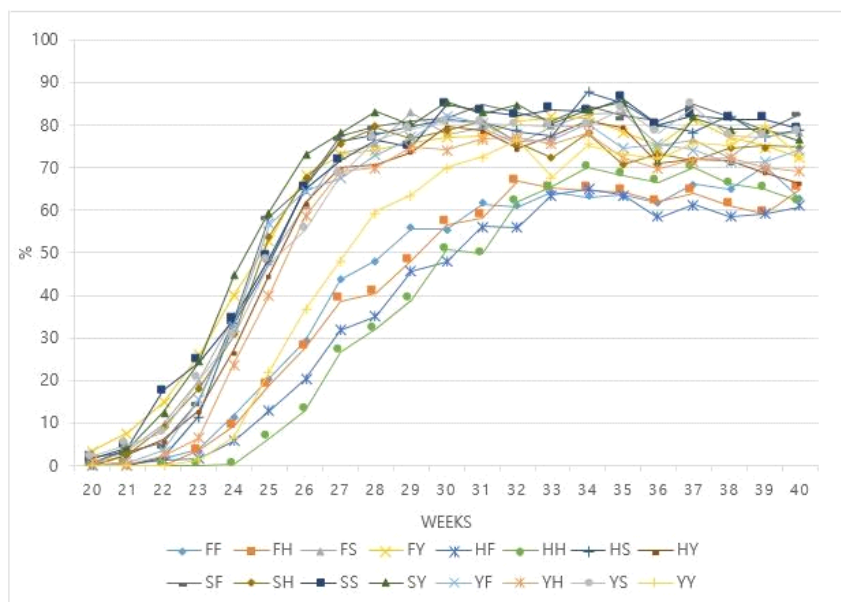
이는 성성숙의 조만에도 잡종강세효과가 뚜렷하게 나타남을 의미한다(Choi, 2002; Kang et al., 2011; Choi et al., 2017a). 교배 조합별 일계산란율(Hen-day egg production)은 25주령부터 검정종료일까지 연 생존수수에 대한 총 산란수의 비율을, 산란지수(Hen-housed egg production)는 동일 시기의 총 산란수를 25주 생존 수수로 나눈 수치이다. 각 교배 조합별 산란곡선은 Fig. 3과 같다. 전체 계군의 평균산란율은 69%이고, 산란지수는 76.4개로서 SF 및 SY구가 79% 정도로 가장 높은 산란율을 보이고, HH, FF, HF 및 FH의 고 체중구가 56%이하의 낮은 산란 능력을 나타내었다. 또한 전체 계군의 피크산란시기는 34주령으로 평균 77.4%의 산란율을 보이고 교배 조합에 따른 다소의 차이는 있으나, 대부분 32주령부터 35주령에 산란 피크를 나타내고 있다. 산란형 원종계

**Table 5.** Egg production performance of Korean native chicken parent stock combinations

♂ × ♀	Age at first egg laying (day)	Hen-housed egg production (egg)	Hen-day egg production (%)	Egg weight at 32wks (g)
HH	177.3±2.6 <sup>a</sup>	57.3±10.7 <sup>e</sup>	52.2±8.9 <sup>d</sup>	61.9±1.6 <sup>ab</sup>
FF	161.3±5.8 <sup>bcd</sup>	61.7±8.6 <sup>e</sup>	56.0±7.9 <sup>d</sup>	60.8±2.0 <sup>abcd</sup>
SS	150.3±5.7 <sup>de</sup>	85.6±3.5 <sup>abc</sup>	77.5±2.9 <sup>ab</sup>	57.3±1.9 <sup>e</sup>
YY	170.5±5.2 <sup>ab</sup>	72.6±2.3 <sup>d</sup>	64.8±2.0 <sup>c</sup>	58.3±1.8 <sup>de</sup>
HF	166.5±7.6 <sup>abc</sup>	54.2±1.4 <sup>e</sup>	49.6±1.3 <sup>d</sup>	61.5±2.2 <sup>ab</sup>
FH	166.8±2.2 <sup>abc</sup>	60.2±4.4 <sup>e</sup>	53.8±4.0 <sup>d</sup>	61.0±0.7 <sup>abcd</sup>
HS	162.5±4.0 <sup>bcd</sup>	83.4±2.7 <sup>abc</sup>	76.9±4.8 <sup>ab</sup>	60.6±1.4 <sup>abcd</sup>
SH	155.3±3.3 <sup>cde</sup>	82.7±3.0 <sup>abc</sup>	73.9±3.1 <sup>ab</sup>	61.7±2.0 <sup>ab</sup>
HY	156.8±4.7 <sup>cde</sup>	79.0±9.0 <sup>bcd</sup>	71.6±9.0 <sup>abc</sup>	59.4±0.5 <sup>bcd</sup>
YH	155.0±10.5 <sup>cde</sup>	77.3±3.1 <sup>cd</sup>	69.9±2.1 <sup>bc</sup>	61.3±2.4 <sup>abc</sup>
FS	152.5±4.3 <sup>de</sup>	83.9±3.0 <sup>abc</sup>	74.9±3.0 <sup>ab</sup>	60.3±1.3 <sup>abcd</sup>
SF	147.0±10.4 <sup>e</sup>	88.7±1.3 <sup>a</sup>	79.2±1.0 <sup>a</sup>	61.7±0.7 <sup>ab</sup>
FY	145.5±9.3 <sup>e</sup>	81.9±4.6 <sup>abc</sup>	75.3±7.4 <sup>ab</sup>	59.6±0.9 <sup>bcd</sup>
YF	157.5±5.6 <sup>cde</sup>	82.1±1.3 <sup>abc</sup>	73.3±0.6 <sup>ab</sup>	62.9±1.1 <sup>a</sup>
SY	150.5±3.4 <sup>de</sup>	87.9±1.8 <sup>ab</sup>	79.5±2.1 <sup>a</sup>	58.6±0.8 <sup>cde</sup>
YS	146.5±14.0 <sup>e</sup>	84.3±4.0 <sup>abc</sup>	75.2±3.9 <sup>ab</sup>	58.6±0.5 <sup>cde</sup>
Means	157.6±11.3	76.4±12.2	69.0±10.9	60.3±2.1

Values are mean±standard deviation.

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

**Fig. 3.** Egg production curve of Korean native chicken parent stock combinations



간 교잡구와 산란형 × 산육형 간 교잡구의 산란율은 비슷한 경향을 보이면서 산육형 원종계 간 교잡구에 비해 월등히 높은 산란율을 나타내었다. 교배 조합간 일계산란율과 산란지수의 결과는 거의 비슷한 경향을 나타내었다. Choi et al. (2017a)은 (주)한협원종이 보유한 동일 원종계 간 교잡시험에서 25주~40주까지 교배조합 전체의 평균 일계산란율(Hen-day egg production)은 56.7%이고, 산란지수는 69.2개로 보고하였고, 교배조합 간의 산란 성적은 본 연구 결과와 거의 비슷한 경향을 나타내었다. 검정계의 조합별 난중은 32주령에 산란한 달걀의 평균 난중으로 전체 교배조합의 평균 난중은 60.3 g이었고, 조합별로 YF구가 62.9 g으로 가장 무거웠으며, SS구가 57.3 g으로 가장 가벼웠다. 전반적으로 산육형 조합구가 산란형 조합구에 비해 난중이 무거운 것으로 나타났고, 교잡구가 순계구에 비해 평균 1g 정도 무거운 것으로 나타났다.

## 5. 조합가를 이용한 종계 선발

### 1) 결합능력 추정

교배조합 간 생존율의 일반결합능력, 특정결합능력 및 상반교잡효과를 추정하여 Table 6에 제시하였다. 분석 결과, 생존율의 경우 HY 및 FH 조합이 상대적으로 높은 조합가를

보였는데, HY의 경우 H와 Y계통 간 특정결합능력이, FH의 경우 F 및 H의 일반결합능력이 우수한데 기인한 것으로 나타났다. 생존율의 일반결합능력은 F와 H계통은 positive(+) 값을, S와 Y는 negative(-) 값을 나타내었고, 반면 이들 간 교배조합의 특정결합능력은 대부분 positive(+) 값을 보임으로 생존율에는 비 상가적 유전 효과가 크게 작용하는 것으로 나타났다. 조합별 12주령 체중에 대한 일반결합능력, 특정결합능력, 조합가 및 상반교잡효과를 Table 7에 제시하였다. 분석 결과, 12주령 체중의 교배 조합별 조합가는 계통별 일반결합능력이 두 계통 간의 특정결합능력보다 크게 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이는 체중에 대한 유전적 효과는 상가적 유전 효과가 크게 작용하는 것을 의미하는 것으로 교배조합을 구성할 때 각 계통의 체중에 대한 유전적 특성이 더욱 중요하다. 산육형 원종계(F, H)의 일반결합능력이 산란형 원종계(Y, S)보다 2배 이상 높은 값을 보임으로 F와 H 간의 조합에서 가장 높은 조합가가 추정되었다. 특정결합능력은 H와 S 간의 조합 및 F와 Y 간의 조합에서 상대적으로 높게 나타났다. 반면, 암수 상반 교잡의 효과는 거의 영향이 없는 것으로 나타났다. Table 8은 교배 조합별 산란율의 일반결합능력, 특정결합능력, 조합가 및 상반교잡효과를 분석하여 제시한 결과이다. 산란율은 일반결합능력의 추정 범위나 특정결합능력의 추정 범위가 거의 비슷한 값을 나타내고 있는데,

**Table 6.** The combining abilities and mean values of survival rate in a 4 × 4 diallel crosses of Korean native chicken strains

Crossing(♂ × ♀)	GCA <sub>x</sub> <sup>1</sup>	GCA <sub>y</sub> <sup>1</sup>	SCA <sub>xy</sub> <sup>2</sup>	Mean value <sup>3</sup>	RE <sup>4</sup>
HF	2.8	2.1	-0.5	4.4	0
FH	2.1	2.8	-0.5	4.4	0.8
HS	2.8	-1.6	0.3	1.5	1.8
SH	-1.6	2.8	0.3	1.5	0
HY	2.8	-3.3	5.9	5.4	0
YH	-3.3	2.8	5.9	5.4	1.7
FS	2.1	-1.6	3.0	3.5	0.2
SF	-1.6	2.1	3.0	3.5	0
FY	2.1	-3.3	3.3	2.1	1.7
YF	-3.3	2.1	3.3	2.1	0
SY	-1.6	-3.3	0.1	-4.8	1.8
YS	-3.3	-1.6	0.1	-4.8	0
<i>P</i> -values	0.1888	0.1888	0.3639		0.9955

<sup>1</sup>General combining ability, <sup>2</sup>Specific combining ability, <sup>3</sup>M<sub>xy</sub> = GCA<sub>x</sub>+GCA<sub>y</sub>+SCA<sub>xy</sub>, <sup>4</sup>Reciprocal effects.

**Table 7.** The combining abilities and mean values of body weight at 12 weeks in a 4 × 4 diallel crosses of Korean native chicken strains

Crossing(♂ × ♀)	GCA <sub>x</sub> <sup>1</sup>	GCA <sub>y</sub> <sup>1</sup>	SCA <sub>xy</sub> <sup>2</sup>	Mean value <sup>3</sup>	RE <sup>4</sup>
HF	146.5	129.8	-14.4	261.9	10.5
FH	129.8	146.5	-14.4	261.9	0
HS	146.5	-146.9	14.5	14.1	0
SH	-146.9	146.5	14.5	14.1	47.2
HY	146.5	-129.4	-0.1	17.0	0
YH	-129.4	146.5	-0.1	17.0	4.6
FS	129.8	-146.9	-0.1	-17.2	0
SF	-146.9	129.8	-0.1	-17.2	32.4
FY	129.8	-129.4	14.5	14.9	0
YF	-129.4	129.8	14.5	14.9	19.2
SY	-146.9	-129.4	-14.4	-290.7	0
YS	-129.4	-146.9	-14.4	-290.7	7.9
<i>P</i> -values	0.0244	0.0244	0.9739		0.9997

<sup>1</sup>General combining ability, <sup>2</sup>Specific combining ability, <sup>3</sup>M<sub>xy</sub>= GCA<sub>x</sub>+GCA<sub>y</sub>+SCA<sub>xy</sub>, <sup>4</sup>Reciprocal effects.

**Table 8.** The combining abilities and mean values of hen-day egg production in a 4 × 4 diallel crosses of Korean native chicken strains

Crossing(♂ × ♀)	GCA <sub>x</sub> <sup>1</sup>	GCA <sub>y</sub> <sup>1</sup>	SCA <sub>xy</sub> <sup>2</sup>	Mean value <sup>3</sup>	RE <sup>4</sup>
HF	-5.9	-3.6	-3.9	-13.4	0
FH	-3.6	-5.9	-3.9	-13.4	0.5
HS	-5.9	5.8	4.9	4.8	1.1
SH	5.8	-5.9	4.9	4.8	0
HY	-5.9	3.7	3.8	1.6	0.9
YH	3.7	-5.9	3.8	1.6	0
FS	-3.6	5.8	2.6	4.8	0.9
SF	5.8	-3.6	2.6	4.8	0
FY	-3.6	3.7	4.9	5.0	2.7
YF	3.7	-3.6	4.9	5.0	0
SY	5.8	3.7	-1.9	7.6	0.3
YS	3.7	5.8	-1.9	7.6	0
<i>P</i> -values	<0.0001	<0.0001	<0.0001		0.4355

<sup>1</sup>General combining ability, <sup>2</sup>Specific combining ability, <sup>3</sup>M<sub>xy</sub>= GCA<sub>x</sub>+GCA<sub>y</sub>+SCA<sub>xy</sub>, <sup>4</sup>Reciprocal effects.

이는 산란율에 대한 유전 양상은 상가적 유전 효과나 비 상가적 유전 효과가 거의 비슷하게 작용함을 의미한다. 산란형 원종계(Y, S)가 산육형 원종계(F, H)보다 월등히 높은 일반결합능력 값을 보인 반면, 교배 조합간 특정결합능력은 H와 S간의 조합 및 F와 Y간의 조합에서 높게 나타났다. 또한 상반교잡효과는 대부분 S와 Y를 모(母)로 사용하였을 때 자손들의 산란능력이 상대적으로 높은 것으로 나타났다. 이상의 결과는 Choi et al. (2017b)이 한협 토종닭 원종계를 이용한 5 × 5 이면교잡 시험에서 대부분의 생산 형질에 있어 산육형 계통 간의 조합 및 산란형 계통 간의 조합에서 부(-)의 특정결합능력이, 산육형과 산란형 계통 간에는 모두 양(+)의 특정결합능력이 추정된 것과 거의 일치되는 양상이다.

## 2) 종계 선발

토종닭의 개량 목표는 육질이 뛰어나고, 산육 능력이 우수한 육용형 닭으로 설정하고 있다(Jin et al., 2017). 따라서 우수한 토종닭을 생산하기 위해서는 종계의 부 계통은 산육성 위주로, 모 계통은 산란성 위주로 선발하는 것이 바람직하다. 이상의 생산능력과 결합능력의 분석 결과를 바탕으로 본 시험에 공시된 총 16개의 교배조합 구 중 순종 구를 제외한 12개의 교배조합에서 부 계통은 고 체중으로 생존율이 양호한 조합을 선정하고, 모 계통은 산란능력이 우수한 조합 중 저 체중은 배제하고 선정하였다. 이러한 기준에 따라 신품종 토종닭 종계로써 부계는 체중이 우수하면서 상대적으로 생존율이 양호한 FH나 HF 조합을, 모계는 산란능력이 우수하며 적절한 체중을 지닌 FY, FS, HY 및 SY 조합을 선발하는 것이 우수한 토종닭(CC)을 생산할 수 있는 바람직한 종계 조합으로 판단된다.

## 적 요

본 연구는 생산능력이 우수한 신품종 토종 종계를 개발하기 위하여 (주)한협원종이 보유한 원종계(GPS) 4개 계통 934수를 이용하여 4 × 4 이면교배조합(diallel cross-mating) 검정 시험을 실시하였다. 검정 형질로서 외모 형태, 생존율, 체중, 초산일령, 난중 및 산란율을 대상으로 조합별 생산능력, 조합가, 결합능력 및 상반교잡 효과를 분석하였다. 분석 결과, 대부분의 교배조합 개체들의 깃털 색은 황갈색 및 적갈색과 이들 색 간의 혼합 양상을 나타내었다. 전체 조합의 평균 생존율은 86.8±12.3%이고, YH 조합의 생존율이 가장 높았다. 생존율의 조합가는 특정결합능력이 일반결합능력에

비해 상대적으로 크게 영향을 미치는 것으로 나타났고, HY의 특정결합능력이 가장 높게 나타났다. 체중의 경우, 16개의 교배 조합이 유전적 특성에 따라 세 그룹으로 명확히 구분되는 것으로 나타났다. 12주령 체중의 교배조합별 조합가는 계통별 일반결합능력이 두 계통 간의 특정결합능력보다 크게 영향을 미치는 것으로 나타났고, FH 조합에서 가장 높은 조합가가 추정되었다. 산란 형질에 있어 전체 교배조합구의 평균 초산일령은 157일로서 교잡 구가 순계 구보다 빠른 성 성숙을 보였다. 전체 조합의 평균 일계산란율은 69.0±10.9%로서 이들 중 SY 조합이 가장 높은 산란율을 보였다. 산란율의 일반결합능력과 특정결합능력의 추정 범위가 거의 비슷한 값을 나타내고 있으며, 교배조합 간 특정결합능력은 HS 및 FY 조합에서 높게 나타났다. 또한 상반교잡 효과는 대부분의 조합에서 S와 Y를 모(母)로 사용하였을 때 자손들의 산란능력이 상대적으로 높게 나타났다. 이상의 결과에 따라 신품종 토종닭 종계로써 부계는 체중이 우수하면서 상대적으로 생존율이 양호한 FH나 HF 조합이, 모계는 산란능력이 우수하며 적절한 체중을 지닌 FY, FS, HY 및 SY 조합이 바람직한 것으로 사료된다.

(색인어: 한국토종닭, 생산능력, 결합능력, 이면교잡)

## 사 사

본 논문은 Golden Seed Project 종축사업(과제 번호: PJ012820032021, 213010055SB230)의 지원으로 수행되었음.

## ORCID

Sea Hwan Sohn	<a href="https://orcid.org/0000-0001-6735-9761">https://orcid.org/0000-0001-6735-9761</a>
Eun Sik Choi	<a href="https://orcid.org/0000-0002-5169-7034">https://orcid.org/0000-0002-5169-7034</a>
Ki Gon Kim	<a href="https://orcid.org/0000-0003-0174-520X">https://orcid.org/0000-0003-0174-520X</a>
Byeongho Park	<a href="https://orcid.org/0000-0001-6195-4519">https://orcid.org/0000-0001-6195-4519</a>
Hyo Jun Choo	<a href="https://orcid.org/0000-0002-7747-5077">https://orcid.org/0000-0002-7747-5077</a>
Jung Min Heo	<a href="https://orcid.org/0000-0002-3693-1320">https://orcid.org/0000-0002-3693-1320</a>
Ki Suk Oh	<a href="https://orcid.org/0000-0001-6522-8557">https://orcid.org/0000-0001-6522-8557</a>

## REFERENCES

- Adebambo AO, Ikeobi CON, Ozoje MO, Oduguwa OO, Adebambo OA 2011 Combining abilities of growth traits among pure and crossbreed meat type chickens. Arch

- Zootec 60(232):953-963.
- Choi CH 2002 Estimation of heterosis and combining abilities for important traits from strain crosses in Korean native chicken. M. D. Dissertation. Chungnam National University.
- Choi ES, Bang MH, Kim KG, Kwon JH, Chung OY, Sohn SH 2017a Production performances and heterosis effects of Korean native chicken breed combinations by diallel crossing test. *Korean J Poult Sci* 44(2):123-134.
- Choi ES, Bang MH, Kim KG, Kwon JH, Chung OY, Sohn SH 2017b Estimation of combining ability of production traits from diallel crosses of Korean native chicken strains. *Korean J Poult Sci* 44(3):189-198.
- Fuglie KO, Heisey PW, King JL, Pray CE, Day-Rubenstein K, Schimmelpfennig 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
- Goto E, Nordskog AW 1959 Heterosis in poultry: 4. Estimation of combining ability variance from diallel crosses of inbred lines in the fowl. *Poult Sci* 38(6):1381-1388.
- Griffing B 1956 Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crosses. *Aust J Biol Sci* 9(4):463-493.
- Hill JF, Nordskog AW 1958 Predicting combining ability of performance in the crossbred fowl. *Poult Sci* 37(5):1159-1169.
- Hull FH 1945 Recurrent selection for specific combining ability in corn. *J Amer Soc Agron* 37(2):134-145.
- Jakubek V, Komender P, Nitter G, Fewson D, Soukupova Z 1987 Crossbreeding in farm animals 1. Analysis of complete diallel experiments by means of three models with application to poultry. *J Anim Breed Genet* 104(1-5): 283-294.
- Jin S, Jayasena DD, Jo C, Lee JH 2017 The breeding history and commercial development of the Korean native chicken *World Poult Sci* 73(1):163-174.
- Korea Broiler Council 2021 Statistics of Korea broiler production in 2020 [http://www.chicken.or.kr/ch\\_statistics/statUse](http://www.chicken.or.kr/ch_statistics/statUse)
- r.php?Ncode=st4. Accessed on March. 5, 2021.
- Korea Native Chicken Association 2021 Statistics of Korean native chicken production in 2020. <http://www.knca.kr/sub05/stat03.html>. Accessed on March. 5, 2021.
- Manjula P, Park HB, Yoo JH, Wickramasuriya S, Seo DW, Choi NR, Kim CD, Kang BS, Oh KS, Sohn SH, Heo JM, Lee JH 2016 Comparative study on growth patterns of 25 commercial strains of Korean Native Chicken. *Korean J Poult Sci* 43(1):1-14.
- Mohammed MD, Abdalsalam YI, Mohammed AR, Wang JY, Hussein MH 2005 Growth performance of indigenous × exotic crosses of chicken and evaluation of general and specific combining ability under Sudan condition. *Int J Poult Sci* 4(7):468-471.
- Musa AA, Orunmuyi M, Akpa GN, Olutunmogun Ak, Muhammad H, Adedibu II 2015 Diallel analysis for body weight involving three genotypes of Nigerian indigenous chickens. *S Afr J Anim Sci* 45(2):188-197.
- 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.
- 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.
- Saadey, Mekkey S, Galal A, Zaky HI, El-Dein AZ 2008 Diallel crossing analysis for body weight and egg production traits of two native Egyptian and two exotic chicken breeds. *Int J Poult Sci* 7(1):64-71.
- Shull GH 1914 Duplicate genes for capsule-form in *Bursa pastoris*. *Zeitschrift ind. Abst u Verebsgl* 12:97-149.
- Wearden S, Craig JV, Tindell D 1967 Components of specific combining ability estimated from strain and breed cross in chickens. *Poult Sci* 46(6):1398-1406.

---

Received Jun. 4, 2021, Revised Jun. 16, 2021, Accepted Jun. 16, 2021