



한국토종닭의 깃털 발육성 반성 유전자를 이용한 자가성감별 계통 조성

권재현¹ · 최은식¹ · 손시환^{2*}

¹경남과학기술대학교 동물생명과학과 대학원생, ²경남과학기술대학교 동물생명과학과 교수

Establishment of Korean Native Chicken Auto-Sexing Lines Using Sex-Linked Feathering Gene

Jae Hyun Kwon¹, Eun Sik Choi¹ and Sea Hwan Sohn^{2*}

¹Student, Department of Animal Science and Biotechnology, Gyeongnam National University of Science and Technology, Jinju 52725, Republic of Korea

²Professor, Department of Animal Science and Biotechnology, Gyeongnam National University of Science and Technology, Jinju 52725, Republic of Korea

ABSTRACT Although feather-sexing using sex-linked genes related to feather development is a widely used chick sexing method in the poultry industry, the feather-sexing method has yet to be used for Korean native chickens (KNCs). The purpose of this study was to construct a KNC feather-sexing line using early-feathering (EF) and late-feathering (LF) genes for industrial application. Using 557 reddish-brown KNCs as the basal flock, frequencies of the EF (*k*) and LF (*K*) genes were estimated to be 0.814 and 0.186, respectively. This indicating that it would be feasible to construct a feather-sexing line using this chicken group, and we accordingly constructed EF paternal and LF maternal lines. On the basis of test-cross for the selection of LF homozygous (*KK*) males in the maternal line, we confirmed that three of 40 chickens were homozygous males. The survival rate, body weight, days at first egg-laying, hen-day egg production, and egg weight were analyzed to compare the production performance of EF and LF chickens. The results revealed that EF chickens were characterized by a superior survival rate, whereas LF chickens were superior in terms of egg production rate. However, no differences between LF and EF chickens were detected with respect to other production performance parameters. In addition, assessment of the fitness of sexed chicks produced in the established KNC feather-sexing lines revealed that the accuracy of sexing was 98.6%. Collectively, these findings indicate the feasibility of constructing effective KNC feather-sexing lines with potential industrial application.

(Key words: Korean native chickens, feather-sexing, early-feathering, late-feathering, line establishment)

서 론

발생 직후 병아리의 암수 감별은 양계산업의 경제적 관점에서 매우 중요한 요소이다. 그러므로 오래전부터 병아리의 암수를 감별하고자 하는 다양한 시도가 있었고, 이러한 시도들 중 지금까지 가장 대표적인 성 판별 방법은 발생 병아리의 내부 생식기의 형태적 차이로써 성을 판별하는 향문돌기감별법으로 알려져 있다(Masui et al., 1925; Martin, 1934). 그러나 이러한 판별법은 감별기술을 숙련하는 데 오랜 시간이 필요하고, 또한 전문 감별사에 의존하여야 하므로 시간적, 경제적 부담이 큰 단점이 있다. 따라서 최근에는 닭의

반성유전(sex-linked inheritance)의 원리를 이용한 병아리의 자가성감별법(auto-sexing)이 산업적으로 널리 이용되고 있다. 최근에는 부화 전 배자 상태에서 병아리의 성을 판별하고자 하는 연구들이 활발히 시도되고 있지만, 아직은 이러한 병아리의 성 판별 기법들이 기술적, 경제적인 문제들로 인해 상업적으로 적용하기에는 많은 어려움이 있다(Steiner et al., 2011; Weissmann et al., 2013; Webster et al., 2015; Clinton et al., 2016; Galli et al., 2018; Alin et al., 2019). 반성유전이란 성 염색체상에 성 이외의 형질을 발현하는 유전자 성염색체와 연관되어 유전되는 현상을 일컫는 것으로 이러한 유전자를 반성유전자(sex-linked gene)라 하고, 닭에

* To whom correspondence should be addressed : shsohn@gntech.ac.kr

있어 깃털의 줄무늬 띠를 형성하는 횡반유전자(Spillman, 1908), 깃털 성장 발달을 지연하는 만우성 유전자(Serebrovsky, 1922), 갈색 등 유색에 대해 우성인 은색유전자(Henderson, 1959) 등이 깃털과 관련된 대표적인 반성유전자들이다. 특히, 이들 중 닭의 깃털 발육 속도와 연관된 만우성 유전자를 이용한 병아리의 성 감별법이 상업용 실용계에 가장 보편적으로 이용되고 있다(Bitgood, 1999; Wilson et al., 2007; Aviagen Brand 2017). 만우성(late-feathering)이란 깃털의 발육 속도가 느린 성질을 의미하는 것으로, 깃털의 발육 속도가 빠른 조우성(early-feathering)에 대해 우성이며 멘델 유전 양식에 따라 유전된다. 따라서 깃털 조만성유전자를 이용한 병아리의 성 감별법의 원리는 어미 닭을 만우성($Z^k W$)으로 하고, 아비 닭을 조우성($Z^+ Z^+$)으로 하였을 때 수평아리는 만우성, 암평아리는 조우성이 되어 깃털 발육의 형태로써 병아리의 성을 판별하는 것이다(Somes, 1969; Iraqi and Smith, 1995; Elferink et al., 2008). 그러므로 만우성 유전자를 이용한 병아리의 성 감별이 산업적으로 실용화되기 위해서는 종계의 기초 계군 내 조우성과 만우성 유전자가 존재하여야 하고, 깃털 조만성에 따른 개체 간 생산능력의 차이도 없어야 하며, 종계 계통 조성 후 생산되는 병아리의 성 판별이 정확하여야 한다. 국내 상업용 실용계 종계의 대부분은 외국의 글로벌 종계회사로부터 수입하고 있다. 이들 실용계의 상당수는 깃털 감별법으로 암수를 감별하고 있는데, 이는 수입 종계들이 이미 자가성감별 계통으로 부계와 모계가 조성된 상태이기 때문이다. 그러나 한국토종닭의 경우, 아직 깃털 감별법을 이용한 병아리의 암수 감별이 산업적으로 활용되지 않고 있다. 이는 산업적 수요가 제한적이고 이에 따른 연구도 활발하게 이루어지지 않았기 때문이다. 그러나 다행스러운 것은 이러한 연구에서 한국토종닭 집단에도 조우성과 만우성 유전자가 함께 분포하고, 조우성과 만우성 개체 간에 생산능력의 차이가 없다고 보고함으로써 깃털 감별의 가능성을 시사한 것이다(Sohn et al., 2012, 2013; Bang et al., 2018; Kim et al., 2019).

따라서 본 연구는 한국토종닭의 깃털 감별의 산업적 적용을 위하여 닭의 조우성과 만우성 유전자를 이용한 자가성감별 계통을 조성하고자 한 것으로 한국토종닭 대상 집단 내 조우성과 만우성 개체의 분포 현황 및 유전자 빈도를 추정하고, 이를 바탕으로 조우성 부 계통과 만우성 모 계통의 종계 집단을 조성한 후, 조우성 종계와 만우성 종계 간의 생산능력을 비교 검토함과 동시에 조성된 자가성감별 계통으로부터 생산된 병아리들의 깃털 감별의 유효성을 검증하였다.

재료 및 방법

1. 공시동물 및 사양관리

본 연구에 이용된 한국토종닭 기초 계군은 경남과학기술대학교 종합농장에서 사육 중인 한국재래닭 적갈색종 557수를 대상으로 하였다. 시험계들은 본 대학 종합농장 내 부화사에서 자체 부화하여 발생한 개체로서 14주령까지 강제 환기와 자동 급이 및 자동온도조절시스템이 완비된 배터리형 케이지(660 cm²/1수)에서 사육하고, 이후 40주령까지는 군사형 케이지(1,157 cm²/수) 및 평사식 종계사(2,370 cm²/1수)에서 암수 혼합 사육하였다. 사료 급여는 사육단계별로 어린병아리, 중병아리, 산란전기, 산란초기 및 산란중기로 나누어 상업용 시판 사료로 자유 급여하였다. 점등관리는 점감점증법으로 발생 후 16주령까지 점감하고, 이후 26주령까지 점증 후 사육 종료 때까지 16시간으로 고정하였다. 백신접종 등 그 밖의 일반 닭 사양관리는 경남과학기술대학교 닭 사육관리 지침에 따라 이루어졌고, 시험에 관련된 닭의 관리 및 취급은 본 대학 동물실험윤리위원회(IACUC)의 승인을 득한 후 규정을 준수하여 시행하였다.

2. 조우성과 만우성 개체 식별

1) 깃털 형태에 따른 조우성과 만우성 식별

깃털 형태에 의한 조만성 식별은 부화 직후 날개깃의 형태로써 감별하였다. 식별 방법은 Bang et al.(2018)이 제시한 병아리의 깃털 발생 양상을 기준으로 날개깃의 주익우(primary)와 부익우(coverts)의 형태와 길이의 차이로 구분하였다. 주익우가 평균 13 mm 정도로 길고, 부익우의 길이가 주익우의 절반 정도인 개체를 조우성으로 분류하고, 주익우가 8 mm 정도로 짧고 주익우와 부익우의 길이 차이가 거의 없는 개체는 만우성으로 분류하였다.

2) 분자유전학적 기법을 이용한 조만성 식별

조우성 개체와 만우성 개체의 식별을 위한 분자생물학적 검증으로 만우성 특이 DNA primer를 이용하여 PCR을 수행하였다. 시료로 사용할 genomic DNA는 혈액으로부터 추출하였고, 만우성 특이 DNA primer는 Iraqi and Smith(1994)가 제시한 *JFIL-1* 유전자의 일부 영역을 대상으로 제작하였다. PCR은 TaKaRa Taq™ kit(Takara, Kyoto, Japan)를 이용하여 10 × buffer 2.5 μL, dNTP 2 μL, Taq polymerase(0.5 unit/μL) 2 μL, primer 4 μL(forward 2 μL, reverse 2 μL)와 genomic

DNA 3 μL (100 ng/ μL), ddH₂O 11.5 μL 를 넣어 총량이 25 μL 가 되도록 혼합한 후 PCR machine(Takara, Kyoto, Japan)으로 증폭시켰다. PCR 반응 조건은 95°C에서 5분간 최초 변성 시키고, 95°C에서 1분간 변성, 56°C에서 1분간 접합, 72°C에서 2분간 신장하는 3단계의 과정을 30회 반복한 후 72°C에서 15분간 마지막 신장 과정을 실시하였다. 반응물은 1.5% agarose gel에서 125 V로 15분간 전기영동한 후 만우성 유전자의 band 유무를 관찰하였다.

3. 조우성과 만우성 개체의 생산능력 조사

조우성과 만우성 개체 간 생산능력의 비교는 생존율, 체중, 초산일령, 산란율 및 난중에 대해서 발생 이후 40주령까지 각 형질을 측정하고 비교 분석하였다. 생존율은 조우성과 만우성의 식별이 끝난 2주령부터 40주령까지 시험개시일의 개체 수에 대한 생존 수수의 비율로 나타내었다. 체중은 부화 직후부터 10주령 단위로 개체별 체중을 측정하였다. 초산일령은 각 계군의 산란율이 5%에 도달하는 날을 기준으로 산출하였고, 산란율은 21주령부터 40주령까지 주령별 생존 수수 대비 총 산란수의 비율로 일계산란율(hen-day egg production)을 산출하였다. 난중은 계군별로 150일령 및 270일령에 생산한 달걀 전수를 대상으로 무게를 측정하였다.

4. 만우성 개체의 유전자형 식별을 위한 검정교배

만우성 수컷 개체가 동형접합체(KK)인지 이형접합체(Kk)인지를 알기 위하여 열성인 조우성 암컷 개체(k-)와 검정교배를 수행하였다. 검정 대상은 만우성 수컷 40수로 이들의 유전자형을 확인하기 위하여 수컷 1수당 조우성 암컷 6수를 교배시키고, 이들로부터 생산된 자손들의 조우성과 만우성의 분포 비율을 조사하였다.

5. 깃털 자가성감별의 유효성 검증

병아리의 깃털 감별을 위해 모계는 만우성(Z^W/W)으로 하고, 부계는 조우성(Z^+/Z^+)으로 하였을 때 생산되는 수평아리는 만우성, 암평아리는 조우성이 된다. 따라서 이와 같은 이론적 감별의 유효성을 확인하기 위하여 조우성(♂) × 만우성(♀) 뿐만 아니라, 만우성(♂) × 만우성(♀), 조우성(♂) × 조우성(♀) 및 만우성(♂) × 조우성(♀)의 교배조합을 조성하고, 이들로부터 생산된 총 613수의 병아리에 대하여 깃털 조만성 양상 및 성별을 검증하였다.

6. 통계분석

조우성과 만우성의 개체 간의 생산능력 분석은 SAS 통계

패키지(SAS Institute Inc., Cary, NC, USA)를 이용하여 *t*-test로 평균값 간의 유의성을 검정하였고, chi-square test를 이용하여 교배체계에 따른 자손의 조만우성 비율에 대한 이론치와 관측치 간의 유의성을 검정하였다.

결과 및 고찰

1. 기초 집단 내 조우성과 만우성 개체의 분포 양상 및 유전자 빈도

한국재래닭 적갈색종 557수를 대상으로 기초 집단 내 깃털 형태에 따른 조우성과 만우성 개체를 식별하였고(Fig. 1), 조우성과 만우성 개체의 분포 현황과 유전자 및 유전자형 빈도를 추정하여 이의 결과를 Table 1에 제시하였다. 조사 결과, 본 집단 내 조우성 개체가 429수(77%), 만우성 개체가 128수(23%)로 확인되어 만우성보다 조우성 개체의 빈도가 높게 나타났다. 또한 본 집단이 Hardy-Weinberg 평형상태에 있다는 가정하에 유전자 빈도를 추정한 결과, 수컷의 조우성유전자(*k*) 빈도는 0.784, 만우성 유전자(*K*) 빈도는 0.216으로 추정된 반면, 암컷에서는 조우성유전자 빈도가 0.824, 만우성유전자 빈도가 0.176으로 추정되어 수컷 집단 내 만우성유전자 빈도가 암컷 집단에 비해 다소 높게 나타났다. 이를 토대로 본 집단 내 전체 조만성유전자 빈도를 계산한 결과, 조우성유전자(*k*)의 빈도는 0.814, 만우성유전자(*K*)의 빈도는 0.186으로 추정되었다. 국내에서 사육하는 품종들의 집단 내 깃털 조만성의 분포 양상과 유전자 빈도에 관한 연구에서 Sohn et al.(2012)은 국가 보존 유전자원 토종닭 10품종을 대상으로 깃털 조만성의 분포 양상을 조사한 결과, 토종 흑색코니시종, 토종 로드아일랜드레드종 및 한국재래닭 적갈색종에만 조우성과 만우성 개체들이 혼재되어 있고, 토종 갈색코니시종, 백색레그혼종, 오폭종, 재래황갈종, 재래회색종, 재래백색종 및 재래흑색종은 집단 내 조우성 개체만 존재한다고 보고하였다. 더불어 한국재래닭 적갈색종의



Fig. 1. Wing feather pattern of early-feathering chick (a) and late-feathering chick (b) at one-day old.

Table 1. Distribution of early- and late-feathering chickens and genotype frequency of feathering gene in fundamental Korean native chicken population

		Male	Female
Phenotype distribution	Total number of chicks	143	414
	No. of early-feathering chicks	88	341
	No. of late-feathering chicks	55	73
Genotype frequency	<i>KK</i>	0.047	
	<i>Kk</i>	0.338	
	<i>kk</i>	0.615	
	<i>K-</i>		0.176
	<i>k-</i>		0.824
Gene frequency	<i>K</i>		0.186
	<i>k</i>		0.814

집단 내 조우성유전자 빈도는 0.856~0.871, 만우성유전자 빈도는 0.129~0.144로 보고하였다. 또한 Bang et al.(2018)은 (주)한협원종이 보유한 토종 종계로부터 생산된 실용 토종 닭 병아리 856수를 대상으로 깃털 조만성 분석 결과, 조우성이 744수이고, 만우성이 112수로 나타나, 이들의 종계 집단 내 조우성과 만우성유전자가 함께 있음을 제시하였다. 이처럼 집단 내 조우성과 만우성 개체의 빈도는 품종에 따라 큰 차이를 보이고 있고, 조우성과 만우성 개체가 함께 존재하는 계군의 집단은 많지 않은 것으로 나타났다. 깃털 자가성감별 계통 조성을 위해서는 반드시 집단 내 조우성과 만우성유전자가 혼재되어 있어야 하고, 이들 유전자의 분포 빈도가 일정 수준은 유지되어야 한다. 따라서 본 연구의 한국재래닭 적갈색종 기초 집단의 경우 조우성과 만우성 개체가 함께 있고, 조우성과 만우성 유전자 빈도 또한 깃털 자가성감별 계통 조성을 위한 가능한 빈도로 나타났다.

2. 깃털 자가성감별을 위한 종계 계통 조성

조우성과 만우성유전자를 이용하여 병아리의 자가성감별을 하기 위해서 모계는 만우성(Z^kW)으로, 부계는 조우성

(Z^KZ^k)으로 고정되어야 한다. 따라서 자가성감별을 위한 종계의 모계통 조성을 위한 원종계의 교배조합은 $Z^KZ^k \times Z^kW$ 로 하는 것이 바람직하다. 그러므로 모계통의 조성을 위해 만우성 유전자를 동형접합체(*KK*)로 가진 수컷의 선발이 필수적 요소이다. 우성 형질에 있어 특정 개체가 동형접합체를 가졌는지, 이형접합체를 가졌는지는 열성동형접합체를 가진 개체와 검정교배하여 생산된 자손들의 형질 분리비로 쉽게 판별할 수 있다. 본 실험에서는 우성 형질인 만우성으로 확인된 한국재래닭 적갈색종 수컷 40수의 유전자형 검정을 위해 열성 형질인 조우성 암컷 개체와 수당 6수씩 검정교배하여 생산된 자손들에 대한 조우성과 만우성의 분리비를 살펴보았다. 분석 결과, 자손 중 1마리라도 조우성 개체를 생산한 검정 수컷은 37수이고, 모두 만우성 자손만을 생산한 검정 수컷은 3수였다. 따라서 검정 수컷 중 조우성 자손이 한 마리도 생산되지 않은 3마리의 수컷을 만우성 동형접합체(Z^kZ^k)를 가진 개체로 추정하였고, 나머지 37수는 이형접합체 형태의 만우성 개체(Z^KZ^k)로 판단하였다. 이러한 검정교배로부터 생산된 총 420수의 자손에 대한 깃털 조만성의 발생 분포 양상은 Table 2와 같다.

Table 2. Number of chicks with feathering patterns which produced from crossing between homozygous(*KK*) and heterozygous(*Kk*) late-feathering paternal chickens and early-feathering(*k*) maternal chickens

Crossings	EF progeny			LF progeny		
	♂	♀	Total	♂	♀	Total
Number of chicks						
♂ Heterozygous LF(Z^KZ^k) × ♀ EF(Z^kW)	62	56	118	119	135	254
♂ Homozygous LF(Z^kZ^k) × ♀ EF(Z^kW)	0	0	0	24	24	48

EF; early-feathering chicken, LF; late-feathering chicken.

3. 조우성과 만우성 종계의 생산능력 비교

조우성과 만우성 개체 간 생산능력의 차이는 자가성감별 계통을 조성하는 데 매우 중요한 요인으로 작용한다. 따라서 기초 집단 내 조우성 개체와 만우성 개체 간 생산능력을 비교하기 위하여 만우성 개체 128수와 조우성 개체 429수에 대한 생존율, 산육능력 및 산란능력을 비교 분석하였다. Table 3은 2주령부터 40주령까지 시험계들의 생존율을 나타낸 것으로 2~14주령까지 육성기와 15~40주령까지 산란기로 나누어 분석하였다. 분석 결과, 시험 전 기간 동안 조우성 집단이 만우성 집단에 비해 높은 생존율을 나타내었고, 특히 산란기 동안 두 집단 간 생존율의 유의한 차이를 보였다($P<0.01$). 깃털의 조만성이 생존율에 미치는 영향에 대해서는 다양한 결과들을 제시하고 있는데, 만우성 유전자는 *ev21* 유전자와 연관되어 있으므로 leukosis virus의 감염에 취약하여 조우성 개체보다 생존율이 낮다고 하였다(Harris et al., 1984; Bacon et al., 1988; Smith and Fadly, 1994). 반면 깃털 조만성에 따른 마렉병의 감염율이나 폐사율의 차이는 없었으며, 브로일러에서도 조우성 개체와 만우성 개체 간 생존율의 차이는 없다고 하였다(Some and Jakowski, 1974; Lowe and Merkley, 1986). 한편, 한국재래닭을 대상으로 깃털 조만성에 따른 생존율의 비교 연구에서 발생 이후 60주령까지 시험 전 기간에 걸쳐 조우성과 만우성 개체 간 생존율의 차이는 없다고 하였고(Sohn et al., 2013), 토종 종계에서

는 암수 모두 만우성 집단이 조우성 집단보다 생존율이 우수하다고 보고하였다(Kim et al., 2019). 이와 같이 한국토종닭 집단에서 깃털 조만성이 생존율에 미치는 영향에 대해서는 각기 다른 결과들을 제시하고 있다. 따라서 생존율은 시험계들의 사양관리적 환경이 주된 영향을 미치는 것으로 생각되고, 깃털 조만성에 의한 영향은 거의 없는 것으로 사료된다.

깃털 조만성에 따른 산육능력의 차이를 살펴보고자 조우성 개체와 만우성 개체들의 발생시, 10주령, 20주령, 30주령 및 40주령 체중을 측정하고, 이들 간의 차이를 비교 분석하여 이의 결과를 Table 4에 제시하였다. 분석 결과, 시험 전 기간 동안 조우성 집단과 만우성 집단 간 수컷 체중의 차이는 없었고, 암컷은 발생 시 체중과 40주령 체중을 제외한 모든 주령에서 차이가 없었다. 깃털 조만성이 산육능력에 미치는 영향에 대한 보고에서 브로일러의 경우 조우성 개체들이 만우성 개체에 비해 빠른 성장과 높은 체중을 보인다고 보고(Dunnington and Siegel, 1986; Khosravinia, 2008)한 반면, 만우성 개체의 성장 능력이 더 우수하다는 보고(Lowe and Merkley, 1986; Merkley and Lowe, 1988; Nahashon et al., 2004)도 있으며, 산육능력과 깃털 조만성 간에 관련이 없다는 보고도 있다(O'Sullivan et al., 1991; Fotsa et al., 2001). 한국재래닭의 경우, 발생 후 60주령까지 모든 주령에서 조우성 개체와 만우성 개체 간 체중의 차이는 없는 것으로 보고하였고(Sohn et al., 2013), 토종 종계에서도 사육 기

Table 3. Survival rates of early-feathering (EF) and late-feathering (LF) Korean native chickens

Feathering types	Growing period (2~14wks)	Laying period (15~40wks)	Total period (2~40wks)
	%		
EF chickens	100±0.0	97.7±1.3 ^a	98.6±2.3 ^a
LF chickens	99.2±0.4	94.1±3.2 ^b	94.5±4.9 ^b

^{a,b} Values (Means±SD) with different superscript within the same column significantly differ ($P<0.01$).

Table 4. Body weights of early-feathering (EF) and late-feathering (LF) Korean native chickens

Sex	Feathering types	Hatching	10wks	20wks	30wks	40wks
		g				
Male	EF	35.5±3.5	986.4±125.0	1,632.8±128.1	1,992.2±130.9	2,145.5±115.3
	LF	34.9±4.2	970.2±120.2	1,599.0±224.2	1,956.0±224.0	2,018.0±182.8
Female	EF	34.3±3.4 ^b	834.2±104.9	1,248.2±177.4	1,513.3±182.0	1,604.3±120.0 ^a
	LF	35.5±3.5 ^a	803.3±109.1	1,263.3±172.2	1,448.0±171.5	1,534.5±115.0 ^b

^{a,b} Values (Means±SD) with different superscript within the same column significantly differ ($P<0.05$).

간 전반에 걸쳐 조우성과 만우성 암수 모두 체중의 차이는 없다고 보고하였다(Kim et al., 2019). 따라서 본 결과와 더불어 한국재래닭에 있어 깃털의 조만성과 산란능력 간에는 거의 관련성이 없는 것으로 판단된다.

조우성 개체와 만우성 개체 간 산란능력을 비교하고자 초산일령, 난중 및 산란율을 조사하고, 이의 결과를 Table 5에 제시하였다. 분석 결과, 초산일령은 조우성 집단이 만우성 집단보다 약 6일 정도 빠른 것으로 나타났으나, 일계산란율은 만우성 집단이 조우성 집단보다 유의하게 높은 것으로 나타났다($P<0.05$). 반면, 150일령 및 270일령에 산란한 달걀의 무게는 두 집단 간 차이가 없는 것으로 나타났다. 산란계의 경우, 조우성 개체가 만우성 개체보다 초산일령이 빠르고 산란능력이 우수하다고 보고하였고(Somes, 1970; Havenstein et al., 1989; Durmus et al., 2010; Goger et al., 2017), 검용종 또는 육용 종계의 경우는 깃털 조만성에 따른 산란능력의 차이는 없다고 하였다(Ledvinka et al., 2011, 2014; Mincheva et al., 2012). 한편, 한국재래닭의 경우, 조우성 개체들이 만우성 개체들에 비해 빠른 초산을 보이지만, 조우성과 만우성 개체 간의 산란능력의 차이는 없다고 하였고(Sohn et al., 2013), 토종 종계의 경우 조우성과 만우성 개체 간 초산일령의 차이는 없었으나, 만우성 개체들이 조우성 개체들보다 산란율이 높았다고 보고하였다(Kim et al., 2019). 난중은 산란계에 있어 만우성 개체의 달걀이 조우성 개체의 달걀에

비해 다소 무거웠다고 하였으나(Lowe et al., 1965; Somes, 1970), 여러 검용종에서는 조만성 개체 간 난중의 차이는 없다고 하였다(Lowe and Garwood, 1981; Mincheva et al., 2012; Ledvinka et al., 2014; Goger et al., 2017). 한편, 한국재래닭 및 토종 종계에 있어서도 깃털 조만성에 따른 난중의 차이는 없다고 하였다(Sohn et al., 2013; Kim et al., 2019). 이와 같이 연구자에 따라 조우성과 만우성 개체 간 산란능력의 결과를 다소 달리 제시하고 있으나, 한국재래닭의 경우 깃털 조만성에 따른 산란능력의 차이는 없거나, 만우성 개체들이 조우성 개체보다 좀 더 우수한 것으로 나타났다. 한국토종닭에 있어 만우성 개체들의 산란능력이 조우성 개체에 비해 우수하다는 것은 자가성감별 모계통으로 만우성 개체를 이용하여야 하기 때문에 매우 바람직한 결과로 사료된다.

4. 깃털 자가성감별의 유효성 검정

깃털 조만성의 유전적 전이 양상을 살펴보고자 한국재래닭 적갈색종을 이용하여 깃털 양상에 따라 4가지 조합의 교배조합 검정시험을 실시하였다. 교배조합의 구성은 만우성 ♂ × 만우성 ♀, 조우성 ♂ × 조우성 ♀, 만우성 ♂ × 조우성 ♀ 및 조우성 ♂ × 만우성 ♀으로 하여 각 교배조합별 생산된 병아리의 깃털 조만성 양상을 확인하고, 이들의 발생 수와 분포 빈도를 Table 6에 제시하였다. 시험 결과, 만우성 ♂

Table 5. Egg production performance of early-feathering (EF) and late-feathering (LF) Korean native chickens

Feathering types	Age at first egg laying day	Egg weight at		Hen-day egg production (20~40wks) %
		150d	270d	
		g		
EF chickens	140±0.2 ^b	35.3±2.2	52.0±4.4	35.6±12.5 ^b
LF chickens	146±2.1 ^a	35.1±2.9	51.2±4.1	44.1±10.9 ^a

^{a,b} Values (Means±SD) with different superscript within the same column significantly differ ($P<0.05$).

Table 6. The incidence and frequency of offspring produced by parental mating combinations according to feathering type

Parental mating combinations	No. of offspring	Male progeny		Female progeny	
		EF	LF	EF	LF
LF♂ × LF♀	126	3 (4.9%)	58 (95.1%)	21 (32.3%)	44 (67.7%)
EF♂ × EF♀	206	93 (100%)	0 (0%)	113 (100%)	0 (0%)
LF♂ × EF♀	141	19 (24.0%)	60 (76.0%)	32 (51.6%)	30 (48.4%)
EF♂ × LF♀	140	2 (2.7%)	74 (97.3%)	64 (100%)	0 (0%)

EF; early feathering chicken, LF; late feathering chicken.

Bracket is distribution percentage of EF and LF in each sex.

× 만우성 우의 경우, 생산된 병아리 암수 모두에서 조우성과 만우성이 나타났다. 이는 만우성 수컷(Z^kZ^k , Z^kZ^s)과 만우성 암컷(Z^kW) 간의 교잡에서 이론적으로 조우성 수컷 병아리(Z^kZ^k)는 생산될 수 없는데, 본 교잡 결과 3수의 조우성 수컷 병아리가 생산되어 이론치와 다른 양상을 보였다. 이러한 원인은 교잡 시험에 공시된 만우성 어미 중 최소 한 수 이상이 조우성이었기 때문으로 판단되는데, 이는 종계의 조만성 구분 오류로 생각된다. 그러나 조우성 ♂ × 조우성 ♀의 경우는 교배 시험 결과 생산된 병아리가 모두 조우성 개체로 나타나, 이론치와 100% 일치하는 결과를 보였다. 한편, 만우성 ♂ × 조우성 ♀의 경우, 생산된 암수 병아리 모두에서 조우성과 만우성이 나타났고, 조만성 비율은 조우성이 36.2%, 만우성이 63.8%로 나타났다. 이는 이론적으로 만우성 수컷(Z^kZ^k , Z^kZ^s)과 조우성 암컷(Z^kW) 간의 교잡에서 조우성 병아리와 만우성 병아리가 암수 모두 생산될 수 있고, 병아리의 조만성의 분포 비율은 집단 내 만우성 유전자의 빈도에 따라 달라진다. 마지막으로 조우성 ♂ × 만우성 ♀의 경우는 깃털 자가성감별에 이용되는 교배조합으로 이론적으로 암평아리는 모두 조우성, 수평아리는 모두 만우성으로 생산된다. 본 실험 결과, 만우성의 암평아리는 생산되지 않았지만 2수의 조우성 수컷이 생산되어 이론적 분리비와 다른 양상을 보였는데, 이는 병아리의 조만성 깃털의 식별 오류로 PCR 검정 결과 확인되었다(Fig. 2). 상기 교배조합 시험에 따른 자손의 조만성 전이 양상이 이론적인 분리비와 일치하는가를 카이제곱법(chi-square test)으로 검정하여 이의 적합도와 유효성을 Table 7에 제시하였다. Table 7에 제시된 기댓값은 집단 내 조우성과 만우성의 유전자 및 유전자 빈도(Table 1)를 근거로 계산된 값이다. 분석 결과, 모든

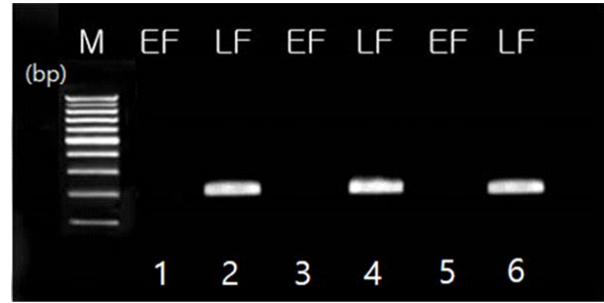


Fig. 2. The results of feathering types by polymerase chain reaction using the specific primer of late-feathering gene. M: 100 bp size marker, Lane 1, 3, 5; early-feathering chicken (EF), Lane 2, 4, 6; late-feathering chicken (LF)

교배조합에서 관측치와 기대치 간의 유의적 차이가 없으므로 나타나, 이론적 분리비와 실제 교배 검정에 따른 분리비가 일치한다고 보여진다($P>0.05$). 특히 병아리의 깃털 자가성감별을 위해서는 조우성 ♂ × 만우성 ♀의 교배조합이 조성되어야 하고, 이들로부터 생산된 수평아리는 모두 만우성이고, 암평아리는 모두 조우성이어야 한다. 시험 결과, 본 교배조합으로부터 생산된 총 140수의 병아리 중 수컷에서 2수의 오차가 발생하여 98.6%의 감별 일치율을 보였다. 따라서 한국재래닭 적갈색종을 이용하여 깃털 자가성감별 계통을 조성하였을 때 병아리의 깃털 조만성 형태로 암수 감별이 유효한 것으로 판단되어 이의 산업적 활용 가능성을 제시하는 바이다.

적 요

최근 병아리의 성 감별은 닭의 반성유전자를 이용한 깃털

Table 7. Chi-square values and probabilities of fitness for expected and observed values in progenies which produced by crossing of early-feathering chickens (EF) and late-feathering chickens (LF)

Parental mating combinations		Male progeny		Female progeny		χ^2 -values	P-values
		EF	LF	EF	LF		
LF♂ × LF♀	Observed	3	58	21	44	4.9108	0.1785
	Expected	0	61	28	37		
EF♂ × EF♀	Observed	93	0	113	0	0.0000	1.0000
	Expected	93	0	113	0		
LF♂ × EF♀	Observed	19	60	32	30	7.6982	0.0527
	Expected	35	44	27	35		
EF♂ × LF♀	Observed	2	74	64	0	2.0267	0.3630
	Expected	0	76	64	0		

감별법이 산업적으로 널리 이용되고 있으나, 한국토종닭에서는 아직 깃털 감별법이 활용되지 않고 있다. 따라서 본 연구에서는 한국토종닭의 깃털 감별의 산업적 적용을 위하여 닭의 조우성과 만우성 유전자를 이용한 자가성감별 계통을 조성하고자 한 것이다. 기초 계군으로 한국재래닭 적갈색종 557수를 대상으로 하여 조우성과 만우성의 유전자 빈도를 분석한 결과, 각각 0.814와 0.186으로 추정되어 본 집단으로 깃털자가성감별 계통의 구축이 가능한 것으로 판단되었고, 이를 바탕으로 조우성 부계통과 만우성 모계통의 중계 계군을 조성하였다. 모계통 조성에 이용할 만우성 동형접합체(KK) 수컷 선발을 위하여 검정교배를 실시한 결과 40수 중 3수가 동형접합체로 확인되었다. 조우성 중계와 만우성 중계 간의 생산능력을 비교하기 위하여 생존율, 체중, 초산 일령, 산란율 및 난중을 분석한 결과, 조우성 닭은 생존율이 우수하였고, 만우성 닭은 산란율이 우수한 것으로 나타났으나, 다른 생산능력에서는 조우성과 만우성 닭 간에 차이가 없는 것으로 나타났다. 더불어 조성된 깃털 자가성감별 계통으로부터 생산된 병아리의 암수 감별의 유효성을 검정한 결과, 98.6%의 감별 일치율을 보였다. 따라서 한국토종닭을 이용한 깃털 자가성감별계통 조성 가능성과 더불어 이의 산업적 활용 가능성을 제시한다.

(색인어: 한국토종닭, 깃털감별, 조우성, 만우성, 계통 조성)

사 사

이 논문은 2020~2021년도 경남과학기술대학교 대학회계 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

ORCID

Jae Hyun Kwon <https://orcid.org/0000-0001-6084-828X>

Eun Sik Choi <https://orcid.org/0000-0002-5169-7034>

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

REFERENCES

- Alin K, Fujitani S, Kashimori A, Suzuki T, Ogawa Y, Kondo N 2019 Non-invasive broiler chick embryo sexing based on opacity value of incubated eggs. *Comput Electron Agric* 158:30-35.
- Aviagen Brand 2017 Feather sexing day-old chicks in the hatchery. http://en.aviagen.com/assets/Tech_Center/BB_Resources_Tools/AA_How_Tos/AA-How-to-11-FeatherSexDayOldChicks-EN-17.pdf. Accessed on Feb. 25, 2021.
- Bacon LD, Smith E, Crittenden LB, Havenstein GB 1988 Association of the slow feathering (*K*) and an endogenous viral (*ev21*) gene on the Z chromosome of chickens. *Poult Sci* 67(2):191-197.
- Bang MH, Cho EJ, Cho CY, Sohn SH 2018 Study on the characteristics of feather developing pattern and morphology in early- and late-feathering Korean native chickens. *Kor J Poult Sci*. 45(3):155-165.
- Bitgood JJ 1999 Linkage relationships of the Z-linked silver, slow feathering, and pop-eye loci. *Poult Sci* 78(8):1100-1101.
- Clinton M, Nandi S, Zhao D, Olson S, Peterson P, Burdon T, McBride D 2016 Real-time sexing of chicken embryos and compatibility with in ovo protocols. *Sex Dev* 10(4):210-216.
- Dunnington EA, Siegel PB 1986 Sex-linked feathering alleles (*K*, *k+*) in chickens of diverse genetic backgrounds. 1. Body temperatures and body weights. *Poult Sci* 65(2):209-214.
- Durmus I, Goger H, Demirtas SE, Yurtogullari S 2010 Comparison of rapid and slow feathering egg layers with respect to egg production and hatchability parameters. *Asian J Anim Vet Adv* 5(1):66-71.
- Elferink MG, Vallée AAA, Jungerius AP, Crooijmans RPMA, Groenen MAM 2008 Partial duplication of the PRLR and SPEF2 genes at the late feathering locus in chicken. *BMC Genomics* 9:391.
- Fotsa JC, Mérat P, Bordas A 2001 Effect of the slow (*K*) or rapid (*k+*) feathering gene on body and feather growth and fatness according to ambient temperature in a Leghorn x brown egg type cross. *Genet Sel Evol* 33(6):659-670.
- Galli R, Preusse G, Schnabel C, Bartels T, Cramer K, Krautwald-Junghanns ME, Koch E, Steiner G 2018 Sexing of chicken eggs by fluorescence and Raman spectroscopy through the shell membrane. *PLoS ONE* 13(2):e0192554.
- Goger H, Demirtas SE, Yurtogullari S 2017 Determination effects of slow (*K*) and fast (*k+*) feathering gene on egg production and hatching traits in laying hens. *Asian J Anim Vet Adv* 12(5):247-253.
- Harris DL, Garwood VA, Lowe PC, Hester PY, Crittenden LB, Fadly AM 1984 Influence of sex-linked feathering

- phenotypes of parents and progeny upon lymphoid leucosis virus infection status and egg production. *Poult Sci* 63(3):401-413.
- Havenstein GB, Toelle VD, Towner RH, Emsley A 1989 Effects of genetic strain, slow versus rapid-feathering maternal genotype and cage density on the performance of Single Comb White Leghorns. *Poult Sci* 68(5):596-607.
- Henderson EW 1959 Sex identification by down color of silver laced and "Red Laced Silver" chicks. *Poult Sci* 38(3):599-602.
- Iraqi F, Smith EJ 1994 Determination of the zygosity of *ev21-K* in late-feathering male White Leghorns using the polymerase chain reaction. *Poult Sci* 73(7):939-946.
- Iraqi F, Smith EJ 1995 A restriction enzyme map of the sex-linked late-feathering locus of chickens. *Poult Sci* 74(9):1515-1519.
- Khosravinia H 2008 Effect of the slow (*K*) or rapid (*k+*) feathering gene on growth performance and skeletal dimensions of broiler chickens selected for cut up carcass value. *Res J Poult Sci* 2(1):9-14.
- Kim KG, Cho EJ, Choi ES, Kwon JH, Jung HC, Sohn SH 2019 Comparison of production performances between early- and late-feathering chickens in parent stocks of Korean native chicken. *Kor J Poult Sci* 46(4):279-286.
- Ledvinka Z, Zita L, Hubeny M, Tumova E, Tyller M, Dobrovolny P, Hruska M 2011 Effect of genotype, age of hens and *K/k* allele on eggshell quality. *Czech J Anim Sci* 56(5):242-249.
- Ledvinka Z, Zita L, Tyller M, Dobrovolny P, Klesalova L, Tyllerova H 2014 Effect of genotype, feather growth-rate gene and the age of hens on the egg quality. *Bulgarian J Agric Sci* 20(6):1466-1471.
- Lowe PC, Garwood VA 1981 Independent effects of *K* and *k+* alleles and maternal origin on mortality and performance of crossbred chickens. *Poult Sci* 60(6):1123-1126.
- Lowe PC, Merkley JW 1986 Association of genotypes for rate of feathering in broilers with production and carcass composition traits: effect of genotypes, sex, and diet on growth and feed conversion. *Poult Sci* 65(10):1853-1858.
- Lowe PC, Wilson SP, Harrington RB 1965 Association of some qualitative and quantitative traits in chickens. *Poult Sci* 44(1):106-112.
- Martin JH 1934 Review the 'Sexing baby chicks by Masui and Hashimoto'. *Poult Sci* 13(3):190.
- Masui, Kiyoshi, Hashimoto, Juro, Ono, Isamu 1925 The rudimentary copulatory organ of the male domestic fowl with reference to the sexual differentiation of chickens. *Jpn J Zootech Sci* 1(3):3-15.
- Merkley JW, Lowe PC 1988 Association of rate-of-feathering genotypes in broilers with production and carcass composition traits.: 2. effect of genotypes and diet on processing traits and lipid deposition. *Poult Sci* 67(6):914-919.
- Mincheva N, Lalev M, Oblakova M, Hristakieva P, Ivanova I 2012 Effect of feathering alleles (*K/k+*) on laying performance, hatchability parameters and some body measurements in two lines of white plymouth rock hens. *Biotechnol Anim Husb* 28(3):405-414.
- Nahashon SN, Bartlett J, Smith EJ 2004 Effect of the late-feathering or early-feathering genotypes on performance and carcass traits of broiler chickens. *Live Prod Sci* 91(1):83-94.
- O'Sullivan NP, Dunnington EA, Siegel PB 1991 Growth and carcass characteristics of early- and late-feathering broilers reared under different feeding. *Poult Sci* 70(6):1323-1332.
- Serebrovsky AS 1922 Crossing-over involving three sex-linked genes in chickens. *Amer Nat* 56(647):571-572.
- Smith EJ, Fadly AM 1994 Male-mediated venereal transmission of endogenous avian leukosis virus. *Poult Sci* 73(4):488-494.
- Sohn SH, Kim NY, Park DB, Song HR, Cho EJ, Choi SB, Heo KN, Choi HC 2013 Influence of early-and late-feathering phenotype on productive performance in the feather-sexing strains of Korean native chicken. *Kor J Poult Sci* 40(3):263-270.
- Sohn SH, Park DB, Song HR, Cho EJ, Kang BS, Suh OS 2012 Genotype frequencies of the sex-linked feathering and their phenotypes in domestic chicken breeds for the establishment of auto-sexing strains. *J Anim Sci Tech* 54(4):1-10.
- Somes RG 1969 Delayed feathering, a third allele at the *K* locus of the domestic fowl. *J Hered* 60(5):281-286.
- Somes RG 1970 The influence of the rate of feathering allele

- K^n on various quantitative traits in chickens. *Poult Sci* 49(5):1251-1256.
- Somes RG Jr, Jakowski RM 1974 A survey of possible associations between morphologic traits and resistance to Marek's disease. *Poult Sci* 53(5):1675-1680.
- Spillman WJ 1908 Spurious allelomorphism: results of some recent investigations. *Am Nat* 42(501):610-615.
- Steiner G, Bartels T, Stelling A, Krautwald-Junghanns ME, F uhrmann H, Sablinskas V, Koch E 2011 Gender determination of fertilized unincubated chicken eggs by infrared spectroscopic imaging. *Anal Bioanal Chem* 400(9):2775-2782.
- Webster B, Hayes W, Pike TW 2015 Avian egg odour encodes information on embryo sex, fertility and development. *PLoS ONE*10(1):e0116345.
- Weissmann A, Reitemeier S, Hahn A, Gottschalk J, Einspanier A 2013 Sexing domestic chicken before hatch: a new method for in ovo gender identification. *Theriogenology* 80(3): 199-205.
- Wilson HR, Jacop JP, Mather FB 2007 Method of sexing day-old chicks. University of Florida, Cooperative Extension Service, USA.
-
- Received Mar. 05, 2021, Revised Mar. 24, 2021, Accepted Mar. 25, 2021