



토종 실용닭의 깃털 조만성 형태가 산육능력 및 생존율에 미치는 영향

손시환^{1†} · 최은식² · 조은정² · 김보경³

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

Effects of Early- and Late-Feathering Phenotypes on Growth Performance and Mortality in Korean Native Commercial Chickens

Sea Hwan Sohn^{1†}, Eun Sik Choi², Eun Jung Cho², Bo Gyeong Kim³

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

²Researcher, Department of Animal Science and Biotechnology, Gyeongsang National University, Jinju 52725, Republic of Korea

³Graduate Student, Department of Animal Science and Biotechnology, Gyeongsang National University, Jinju 52725, Republic of Korea

ABSTRACT Sex identification in day-old chicks is essential in the poultry industry. Currently, the feather-sexing using a sex-linked inheritance is a chick sexing method used extensively in the poultry industry. For chicks produced by feather-sexing, all females are early-feathering (EF) chicks and all males are late-feathering (LF) chicks. Therefore, investigating the effects of EF and LF phenotypes on production traits of chickens is critical. The purpose of this study was to analyze and compare the production performance between EF and LF chickens in Korean native commercial chickens. The results showed that the survival rate of the EF chickens was significantly higher than that of the LF chickens, from hatching to 12 weeks of age ($P<0.05$), with the highest difference observed in females. However, no significant difference was observed in body weight between the EF and LF chickens at almost all ages. In addition, no significant difference was observed between in feed utility, such as average daily feed intake and feed conversion ratio, between the EF and LF groups. In conclusion, although the survival rate of early-feathering chickens was superior to that of late-feathering chickens, no significant difference was observed in growth performance and feed utility among Korean native chickens. The results suggest that production capacity is not influenced by feathering type in the establishment of a breeder structure and production system for feather-sexing Korean native chickens, which is valuable for the practical application of feather-sexing in the poultry industry.

(Key words: Korean native commercial chickens, early-feathering, late-feathering, mortality, growth performance)

서 론

발생 직후 병아리의 암수 감별은 양계 산업의 경제적 관점에서 매우 중요한 요소로서 현재, 산업적으로 병아리의 성 감별은 항문돌기감별법과 더불어 반성유전형질을 이용한 자가성감별법을 주로 이용하고 있다(Aviagen Brand, 2017). 반성유전형질을 이용한 병아리 성 감별법 중 깃털 발육 속도에 관여하는 만우성 유전자를 이용한 깃털감별법(feather-sexing)이 가장 널리 이용되는 자가성감별법으로 어미 닭을 만우성으로 하고, 아버 닭을 조우성으로 하였을 때 수평아리는 만우성, 암평아리는 조우성이 되어 깃털 발육 형태로서 암수 구분을 가능케 하는 방법이다(Iraqi and Smith,

1995; Elferink et al., 2008; Bang et al., 2018; Kwon et al., 2021). 깃털감별법이 산업적으로 실용화되기 위해서는 부계통은 조우성으로, 모계통은 만우성으로 종계의 계통 조성이 이루어져야 한다. 따라서 이들로부터 생산되는 모든 수평아리는 만우성이고, 모든 암평아리는 조우성이므로 병아리의 깃털 조만성이 생산능력에 미치는 영향을 아는 것이 매우 중요하다. 지금까지 조우성 닭과 만우성 닭 간의 생리적 및 생산적 특성에 관한 다양한 연구들이 수행되어 왔으나 깃털 조만성에 따른 생산능력의 차이에 대해서는 많은 이견이 있다. 브로일러의 깃털 조만성에 따른 생산능력 비교에서 조우성 개체들이 만우성 개체들보다 성장 능력이 우수하다는 보고가 있으나(Saeki and Katsuragi, 1961; Somes, 1970;

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

Dunnington and Siegel, 1986; Khosravinia, 2008) 이와 반대로 오히려 만우성 닭이 조우성 닭에 비해 성장 능력이 우수하였다는 보고도 있고(Lowe and Merkley, 1986; Merkley and Lowe, 1988; Nahashon et al., 2004), 깃털 조만성과 성장을 간에는 거의 관련이 없다라는 보고도 있다(Godfrey and Farnsworth, 1952; Lowe and Garwood, 1981; O'Sullivan et al., 1991; Fotsa et al., 2001). 깃털 조만성과 생존율 간의 관계에 있어서도 만우성 유전자가 *ev21* 유전자와 연관되어 있어 만우성 닭들이 lymphoid leucosis virus의 감염에 취약하여 폐사율이 높아진다고 하였으나(Somes, 1970; Lowe and Garwood, 1981; Harris et al., 1984; Bacon et al., 1988; Smith and Fadly, 1988, 1994) 또 다른 연구에서는 조우성 닭과 만우성 닭 간 깃털 조만성에 따른 생존율의 차이는 없다고 하였다(Some and Jakowski, 1974; Lowe and Merkley, 1986; Iraqi and Smith, 1995). 반면, 국내 토종닭의 경우 한국재래 닭 적갈색종에 있어 조우성 개체와 만우성 개체 간 수정율, 부화율, 생존율, 성장 능력, 산란 능력 및 난중의 차이는 없다고 하였다(Sohn et al., 2013). 또한 자가성감별 토종 종계 개발을 위한 대상 종계에서 조우성 개체와 만우성 개체 간의 생존율, 성장 능력 및 산란 능력을 비교 분석하였을 때 생존율은 만우성 집단이 조우성 집단에 비해 높았고, 체중은 거의 모든 주령에서 조우성과 만우성 집단 간에 차이가 없었으며, 산란율은 만우성 집단이 조우성 집단보다 유의적으로 높게 나타났다고 하였다(Kim et al., 2019). 그러나 상업용 토종 실용닭의 경우 깃털 조만성이 이들의 생산능력에 미치는 영향에 대해서는 거의 알려진 바가 없다. 최근 토종 닭에서 깃털 감별이 가능한 종계 조성 및 이를 이용한 자가성감별종 실용계의 생산을 보고하고 이를 산업적으로 활용하고자 하는 내용이 보도된 바 있다(CSN, 2021; Kwon et al., 2021). 따라서 토종 실용닭의 깃털 조만성이 생산능력에 미치는 영향이 우선적으로 구명되어야 하므로 본 연구에서는 토종 종계로부터 생산된 조우성 토종 실용닭과 만우성 토종 실용닭의 생존율, 성장 능력 및 사료 이용성을 비교 분석하여 자가성감별종 토종 실용닭의 산업적 활용 가능성을 제시하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 공시동물 및 사양관리

공시한 토종 실용닭은 (주)한협육종이 조성한 깃털 자가성감별 종계 계통들로부터 생산된 실용병아리로 만우성 수컷

74수와 암컷 73수 및 조우성 수컷 150수와 암컷 144수로 총 441수를 분석 대상으로 하였다. 조우성 병아리와 만우성 병아리의 식별은 날개깃 중 주익우(primaries)와 부익우(coverts)의 형태와 길이 차이로 구분하고(Bang et al., 2018), 이후 각 개체의 혈액을 이용하여 만우성 특이 DNA primer 로써 PCR을 수행하여 깃털의 조만성을 재확인하였다(Iraqi and Smith, 1994; Sohn, 2014). 모든 공시계들은 조우성과 만우성 구로 구분하고 각 구별 펜당 14수(암컷 7수+수컷 7수)씩 반복으로 하여 동일한 사양 조건으로 12주간 사육하였다. 사육 방법은 8주까지는 강제 환기 및 자동 온도조절 시스템이 완비된 육추사에서 3단 2열 군사형 케이지에 사육하였고(74 cm × 60cm × 35 cm/cage), 이후 12주까지는 종계사의 2단 4열 케이지(90 cm × 90 cm × 71 cm/cage)에서 사육하였다. 사료 급여는 공시계 모두 시중 육계 배합 사료로 자유 급여하고 발육 시기에 따라 초이, 전기 및 후기 사료를 급여하였다. 점등 관리는 전 기간 23L:1D로 하였고, 사양 기별 백신 접종은 한협 토종닭 백신 접종 프로그램에 따라 수행하였다. 그 밖의 사양 관리는 경상국립대학교 닭 사육관리 지침에 따라 실시하였고, 시험에 관련된 닭의 관리 및 취급은 본 대학 동물실험윤리위원회(IACUC, No. 2020-5)의 승인을 얻은 후 규정에 따라 시행하였다.

2. 조사항목

1) 생존율

생존율은 구별 각 펜당 입식 후부터 12주간 조사하였다. 생존율의 분석은 입식 수 대비 생존 수수에 대한 백분율로 나타내었다.

2) 체중

체중은 시험 계 전수를 대상으로 1일령부터 12주령까지 2주 간격으로 개체별로 측정하였다.

3) 사료 섭취량 및 사료요구율

개체별 사료 섭취량은 구별 및 펜별 주간 총섭취량을 1일 평균 사료 섭취량으로 환산하였고, 사료요구율은 기간별 사료 섭취량을 해당 구의 평균 중체량으로 나눈 중량비로 나타내었다.

3. 분석 방법

생존율의 통계 분석은 SAS 통계 패키지(SAS Institute Inc. Cary, NC, USA)의 one-way ANOVA procedure를 이용

하여 측정값 간의 차이에 대한 유의성 유무를 검정하였고, 각 처리 간 평균값의 비교는 Tukey's HSD 검정 방법으로 분석하였다.

체중의 비교를 위한 통계 분석은 2×2 요인분석 시험으로 SAS 통계 package(SAS Institute Inc., Cary, NC, USA, 2020)의 GLM procedure를 이용하여 암수 간 및 깃털 조만성 간의 효과와 이들 요인 간 상호작용 효과를 분석하였다. 이의 통계 분석 모형은 다음과 같다.

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

여기서, Y_{ijk} = 각 측정 값

α_i = i 번째 암수의 효과

β_j = j 번째 조우성과 만우성의 효과

$(\alpha\beta)_{ij}$ = i 번째 성과 j 번째 깃털 형태 간의 상호작용 효과

ε_{ijkl} = 실험 오차

조우성과 만우성 집단 간의 사료 섭취량 및 사료 요구율의 비교는 동일 패키지의 t -test로 유의성을 검정하였다.

결과 및 고찰

1. 생존율

토종 실용계 조우성 닭 294수와 만우성 닭 147수를 대상으로 암수를 구분하여 1일령부터 12주령까지의 생존율을 조사하여 이를 Fig. 1에 제시하였다. 암수 통합 조우성 닭의 생존율은 95.2%이고, 만우성 닭은 91.2%로 조우성 닭이 만우성 닭 보다 유의하게 높은 생존율을 보였다($P < 0.05$). 특히 암컷에서 깃털 조만성에 따른 생존율의 차이가 컸는데 조우성 암컷은 97.9%인 반면 만우성 암컷은 90.4%로 조우성이 만우성에 비해 유의하게 높은 생존율을 나타내었다($P < 0.01$). 그러나 암수 간 생존율의 차이는 없는 것으로 나타났다. 본 결과는 암컷의 경우 조우성 닭이 만우성 닭에 비하여 강건성이 높다는 것을 의미하는데 많은 연구들에서 만우성 유전자(K)가 *ev21* 유전자와 매우 가깝게 연관되어 있어 만우성 닭은 lymphoid leucosis virus 감염에 취약하여 폐사율이 증가한다고 하였다(Harris et al., 1984; Bacon et al., 1988; Smith and Fadly, 1988, 1994). 이러한 결과는 브로일러뿐만 아니라 Leghorn 종과 Rhode Island Red 종에서도 유사한 결과를

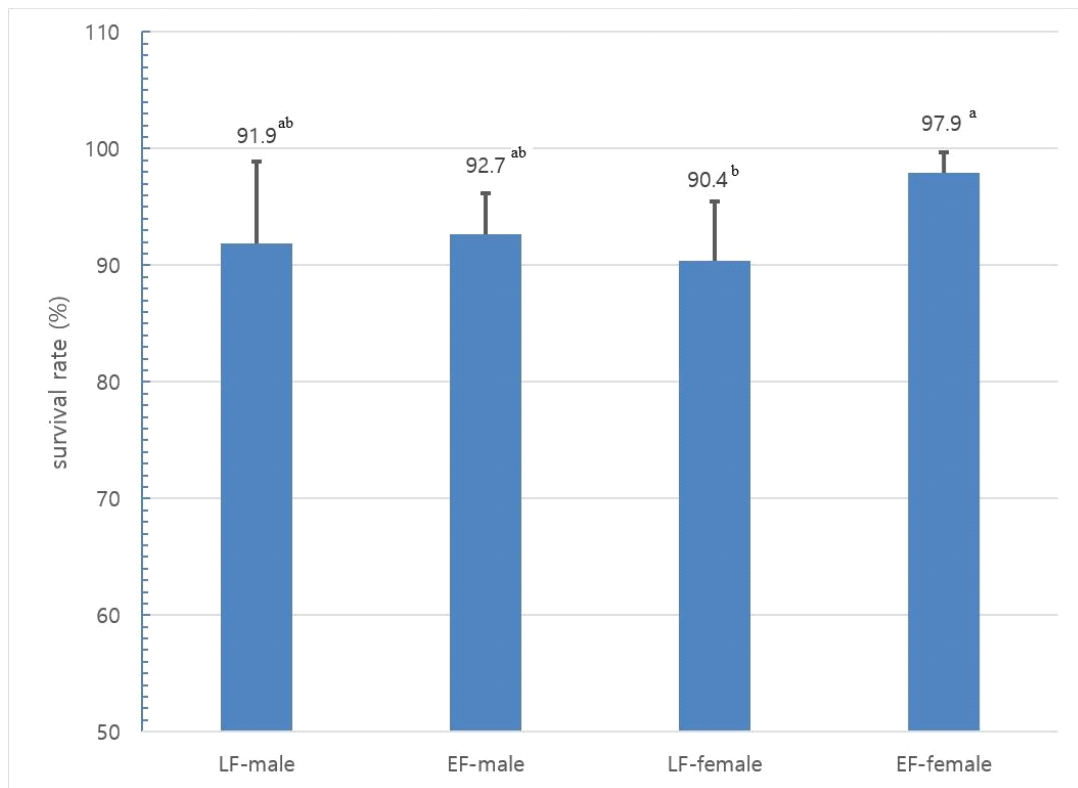


Fig. 1. Survival rate of the early-feathering (EF) and late-feathering (LF) Korean native commercial chickens. ^{ab}Means with different superscript significantly differ ($P < 0.05$).

보고하고 있으나(Somes, 1970; Lowe and Garwood, 1981) 일부 브로일러의 연구에서는 깃털 조만성에 따른 생존율의 차이는 없다고도 하였다(Some and Jakowski, 1974; Lowe and Merkley, 1986; Iraqi and Smith, 1995). 그러나 토종닭에 있어 한국재래닭 적갈색종 조우성 닭과 만우성 닭의 생존율 비교에서 발생 이후 60주령까지 전 기간에 걸쳐 육성기 및 산란기별 깃털 조만성에 따른 생존율의 차이는 없다고 하였고(Sohn et al., 2013), 토종 종계를 대상으로 조우성과 만우성 닭 간 생존율의 차이를 분석한 결과 암수 모두 오히려 만우성이 조우성 닭에 비해 우수하다고 하였다(Kim et al., 2019). 따라서 본 결과가 토종 실용닭에 국한된 종 특이적 현상인지, 성과 연관된 특성인지 아니면 실제 만우성 닭들이 감염에 취약하여 조우성 닭에 비해 생존능력이 낮은 것인지는 더욱 많은 연구 결과들이 축적되어야만 명확한 결론을 내릴 수 있을 것으로 판단된다. 그럼에도 불구하고 본 결과에서 나타난 조우성 암컷의 높은 생존율은 깃털 감별로

생산되는 실용닭 암컷은 모두 조우성이고, 수컷은 만우성이기 때문에 산업적 측면에서 바람직한 현상으로 사료된다.

2. 성장 능력

토종 실용닭 조우성과 만우성 닭 간의 성장능력을 비교하기 위하여 개체별로 1일령부터 12주령까지 2주 간격으로 체중을 측정하고 이의 결과를 Table 1에 제시하였다. 또한 이들의 성장 양상은 Fig. 2와 같다. 분석 결과, 2주령부터 시험 종료 때까지 모든 주령에서 암수 간 유의한 체중의 차이를 보였으나($P<0.01$) 8주령에 조우성 닭이 만우성 닭보다 높은 체중을 제외하고는 모든 주령에서 조우성 닭과 만우성 닭 간의 체중 차이는 없는 것으로 나타났다. 더불어 깃털 조만성과 암수 간의 상호작용은 없는 것으로 분석되었다. 또한 Fig. 2에 제시된 바와 같이 조우성 닭과 만우성 닭은 거의 유사한 성장 양상을 보이고 4주령 이후부터 암수 간의 체중 차이가 점진적으로 커지는 양상을 보였다. 이러한 결과는

Table 1. The effect of sex and feathering on body weight in Korean native commercial chickens

Sex	Feather-ing	Day-old	2 weeks	4 weeks	6 weeks	8 weeks	10 weeks	12 weeks
Male	Early	43.4 ±3.0	243.1 ±27.4 ^a	690.3 ±73.8 ^a	1,280.2 ±147.9 ^a	1,870.1 ±198.0 ^a	2,386.2 ±273.6 ^a	2,854.3 ±346.6 ^a
	Late	43.3 ±3.2	234.7 ±24.5 ^{ab}	679.9 ±69.4 ^a	1,261.7 ±146.8 ^a	1,821.7 ±211.7 ^a	2,331.5 ±281.7 ^a	2,814.1 ±298.8 ^a
Female	Early	43.2 ±3.1	224.6 ±31.5 ^{bc}	605.9 ±76.0 ^b	1,096.6 ±115.4 ^b	1,561.1 ±151.2 ^b	1,973.0 ±183.2 ^b	2,339.8 ±220.4 ^b
	Late	43.0 ±2.7	221.6 ±30.0 ^c	597.0 ±65.5 ^b	1,077.3 ±141.1 ^b	1,501.3 ±173.9 ^b	1,934.8 ±232.3 ^b	2,264.0 ±267.0 ^b
Sex(S)								
	Male	43.4 ±3.0	240.3 ±26.7	686.9 ±72.4	1,274.2 ±147.4	1,854.2 ±203.4	2,368.3 ±276.8	2,841.0 ±331.4
	Female	43.1 ±3.0	223.6 ±30.9	602.9 ±72.6	1,090.1 ±124.7	1,541.6 ±161.0	1,960.8 ±200.4	2,316.2 ±237.9
	<i>P</i> -value	0.3026	<.0001 ^{**}	<.0001 ^{**}	<.0001 ^{**}	<.0001 ^{**}	<.0001 ^{**}	<.0001 ^{**}
Feathering(F)								
	Early	43.3 ±3.0	234.0 ±30.8	648.8 ±85.9	1,190.9 ±161.6	1,719.3 ±234.7	2,182.5 ±311.7	2,598.0 ±388.1
	Late	43.1 ±2.9	228.2 ±28	638.7 ±79.0	1,169.5 ±170.7	1,666.1 ±251.6	2,140.4 ±325.9	2,551.4 ±395.2
	<i>P</i> -value	0.5886	0.0502	0.1868	0.1762	0.0043 ^{**}	0.0641	0.0584
	<i>P</i> -value of S × F	0.9953	0.3564	0.913	0.976	0.7611	0.7423	0.5558

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

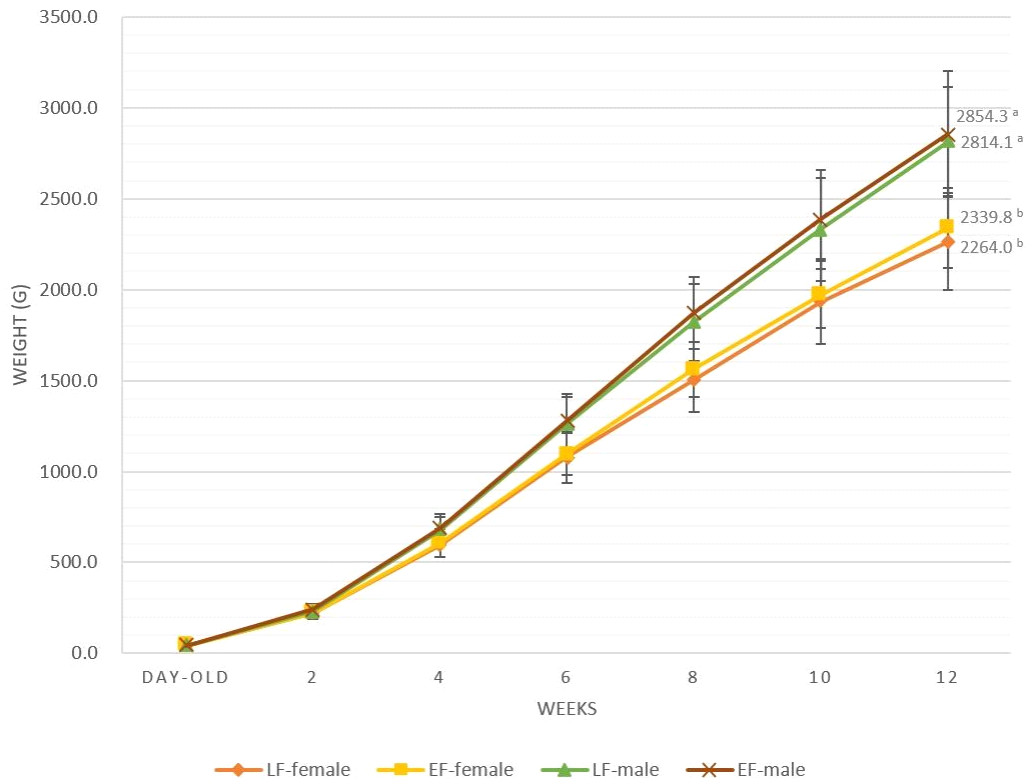


Fig. 2. Growth curve of the early-feathering (EF) and late-feathering (LF) Korean native commercial chickens. ^{ab}: Means with different superscript significantly differ ($P < 0.01$).

브로일러에서 조우성 닭들이 만우성 닭들에 비해 빠른 성장과 높은 체중을 보인다는 보고나(Somes, 1970; Dunnington and Siegel, 1986; Khosravinia, 2008) 만우성 닭이 조우성 닭에 비해 오히려 성장 능력이 우수하다는 보고(Lowe and Merkley, 1986; Merkley and Lowe, 1988; Nahashon et al., 2004)와는 다소 상이하지만 성장율과 깃털 조만성 간에 관련이 없다는 보고들과는 일치하는 양상이다(Lowe et al., 1965; Lowe and Garwood, 1981; Dunnington et al., 1987; O'Sullivan et al., 1991; Fotsa et al., 2001). 한편, 한국재래닭 적갈색종의 경우 육성기 및 산란기 때 조우성 닭과 만우성 닭 간 체중의 차이는 없는 것으로 보고하였고, 단지 산란 후기로 진행되면서 만우성 닭의 성장 속도가 조우성 닭에 비해 다소 빠른 양상을 보인다고 하였다(Sohn et al., 2013). 또한 토종 종계의 경우 육성기 및 산란기 전반에 걸쳐 깃털의 조만성이 암수의 성장 능력에 미치는 영향은 거의 없다고 하였다(Kim et al., 2019). 이상의 결과들로부터 만우성 유전자(K)가 성장 능력에 미치는 영향이 품종에 따라 다소 다른 것으로 보이나 한국 토종닭의 경우 깃털의 조만성과 닭의 성장 능력 간에는 거의 연관성이 없는 것으로 생각된다.

3. 사료 이용성

조우성 토종닭과 만우성 토종닭의 주령별 수당 암수 평균 1일 사료 섭취량과 사료요구율을 Table 2에 제시하였다. 분석 결과, 입식 후 12주령까지 수당 총사료 섭취량은 조우성 닭은 $7,724.8 \pm 291.0$ g, 만우성 닭은 $7,572.3 \pm 217.5$ g으로 조우성 닭과 만우성 닭 간의 유의한 차이가 없었으며, 각 주령별 사료 섭취량의 차이도 없는 것으로 나타났다($P > 0.05$). 또한 12주령까지 사육 전 기간에 사료요구율은 조우성 닭은 3.07 ± 0.13 , 만우성 닭은 3.13 ± 0.17 로서 깃털 조만성에 따른 사료요구율의 차이는 없는 것으로 분석되었고, 각 주령별 사료요구율 또한 차이가 없는 것으로 나타났다. 깃털 조만성이 사료 이용성에 미치는 영향에 대한 연구는 그리 많지 않으나 브로일러의 초기 및 후기 성장기 모두에서 조우성 닭(k+/k+)과 만우성 닭(K/k+) 간 사료 효율의 차이는 없는 것으로 보고하였다(Guillaume, 1974; Pym et al., 1984; Lowe and Merkley, 1986; Dunnington et al., 1987; O'Sullivan et al., 1991). 한편, 토종닭에 있어서 깃털 조만성과 사료 이용성 간의 관계에 대해서는 거의 보고된 바가 없는데 본 연구

Table 2. Feed utility of the early-feathering and late-feathering Korean native commercial chickens

Feed utility	Feathering	2 weeks	4 weeks	6 weeks	8 weeks	10 weeks	12 weeks
Average daily feed intake (g/chick)	Early	27.6±1.7	77.3±4.3	86.2±6.4	109.3±4.8	111.3±5.4	141.1±13.4
	Late	27.2±1.5	79.0±2.5	89.1±3.0	111.4±4.2	106.8±2.2	127.5±10.2
	<i>P</i> -value	0.5970	0.4481	0.3936	0.4194	0.1175	0.0694
Cumulative feed conversion ratio (g/g)	Early	2.06±0.07	2.44±0.10	2.37±0.11	2.54±0.11	2.74±0.12	3.07±0.13
	Late	2.12±0.06	2.56±0.13	2.48±0.22	2.64±0.14	2.77±0.10	3.13±0.17
	<i>P</i> -value	0.1024	0.0566	0.1238	0.1270	0.6195	0.4491

Values (Means±SD) within the same column not significantly differ ($P>0.05$).

결과 토종닭도 브로일러와 마찬가지로 조우성 닭과 만우성 닭 간의 사료 섭취량 및 사료 요구율의 차이는 없는 것으로 보여진다. 따라서 닭의 깃털 조만성이 사료 이용성에는 거의 영향을 미치지 않는 것으로 생각된다.

이상의 결과를 종합할 때, 실용 토종닭의 경우 조우성 닭이 만우성 닭에 비해 생존율은 우수하나 깃털 조만성에 따른 산육 능력 및 사료 이용성에는 차이가 없는 것으로 보여진다. 이는 토종닭의 깃털 감별 종계 조성과 생산체계를 구축함에 있어 깃털 조만성에 의해 생산능력이 영향을 받지 않음을 시사하는 것으로써 산업적으로 깃털 감별을 실용화하는데 매우 바람직한 결과로 사료된다.

적 요

병아리의 성 감별은 양계 산업에 매우 중요한 요소이다. 현재, 산업적으로 병아리의 성 감별은 반성유전형질을 이용한 깃털감별법이 가장 널리 이용되고 있다. 그러나 깃털 감별로 생산된 병아리는 암컷은 모두 조우성, 수컷은 모두 만우성이므로 깃털의 조만성이 생산능력에 미치는 영향을 아는 것이 매우 중요하다. 따라서 본 연구에서는 실용 토종닭을 대상으로 조우성 닭과 만우성 닭의 생산능력을 비교 분석하고자 하였다. 분석 결과, 발생 후 12주령까지의 생존율에서 조우성 닭이 만우성 닭에 비해 유의하게 높은 생존율을 보이고 특히 암컷에서 이의 차이가 두드러졌다($P<0.05$). 체중은 거의 모든 주령에서 조우성 닭과 만우성 닭 간의 차이는 없는 것으로 나타났다. 사료 섭취량 및 사료요구율에 있어서도 모든 조사 기간내 두 집단 간의 차이가 없는 것으로 나타났다. 결론적으로 실용 토종닭의 경우 조우성 닭이 만우성 닭에 비해 생존율은 우수하나 산육 능력 및 사료 이용성에는 차이가 없는 것으로 보여진다. 이는 토종닭의 깃

털 감별 종계 조성과 생산체계를 구축함에 있어 깃털 조만성에 의해 생산능력이 영향을 받지 않음을 시사하는 것으로써 산업적으로 깃털 감별을 실용화하는데 매우 바람직한 결과로 사료된다.

(색인어: 한국토종실용닭, 조우성, 만우성, 생존율, 산육능력)

사 사

본 논문은 경상국립대학교 동물생명산업센터의 지원으로 수행되었음.

ORCID

Sea Hwan Sohn <https://orcid.org/0000-0001-6735-9761>
 Eun Sik Choi <https://orcid.org/0000-0002-5169-7034>
 Eun Jung Cho <https://orcid.org/0000-0003-1416-0884>
 Bo Gyeong Kim <https://orcid.org/0000-0003-2318-2874>

REFERENCES

- 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 September 1, 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.
- CNS (Chuksan News) 2021 Technology transfer of chick sex identification using feather-developing patterns. <http://www.chuksannews.co.kr/news/article.html?no=241419> Accessed on May 24, 2021.
- 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.
- Dunnington EA, Siegel PB, Katambaf NK, Gross WB 1987 Response of early and late feathering broilers to various stressors. *Poult Sci* 66(1): 168-170.
- 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 × brown egg type cross. *Genet Sel Evol* 33(6):659-670.
- Godfrey GF, Farnsworth GM Jr 1952 Relation of the sex-linked rapid feathering gene to chick growth and mortality. *Poult Sci* 31(1):65-68.
- Guillaume J 1974 Effets des gènes *s* et *k* sur la croissance et l'efficacité alimentaire chez les poussins dans 2 croisements et avec 2 niveaux protéiques, *Ann. Génét. Sél. Anim* 6(1): 29-34.
- 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 leukosis virus infection status and egg production. *Poult Sci* 63(3):401-413.
- 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 FDR, 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.
- Kwon JH, Choi ES, Sohn SH 2021 Establishment of Korean native chicken auto-sexing lines using sex-linked feathering gene. *Kor J Poult Sci* 48(1):41-50.
- 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 genotype 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, 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.
- 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.
- 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.
- Pym RAE, Nicholls PJ, Thomson E, Chice A, Farrell DJ 1984 Energy and nitrogen metabolism of broilers selected over ten generations for increased growth rate, food consumption and conversion of food to gain. *Br Poult Sci* 25(4): 529-539.
- Saeki Y, Katsuragi T 1961 Effect of early and late feathering gene on growth in New Hampshire, Leghorns and their crossbreds. *Poult Sci* 40(6):1612-1616.
- Smith EJ, Fadly AM 1988 Influence of congenital transmission of endogenous virus-21 on the immune response to avian leukosis virus infection and the incidence of tumors in

- chickens. *Poult Sci* 67(12):1674-1679.
- Smith EJ, Fadly AM 1994 Male-mediated venereal transmission of endogenous avian leukosis virus. *Poult Sci* 73(4):488-494.
- Sohn SH 2014 Method of identification of chicken feathering type using the late-feathering specific gene primer and probe. Korea Patent No. 10-1470742. Dec. 2.
- 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.
- 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.
-
- Received Oct. 19, 2021, Revised Nov. 22, 2021, Accepted Nov. 24, 2021