



육성기 산란계 사료 내 에너지 수준에 따른 생산성 및 장기 발달에 미치는 영향

김희진^{1*} · 김현수^{2*} · 손지선² · 홍의철² · 변승준^{3†}

¹국립축산과학원 가금연구소 박사후연구원, ²국립축산과학원 가금연구소 농업연구사, ³국립축산과학원 가금연구소 농업연구관

The Effects of Feed Energy Level in Pullets on the Performance and Development

Hee-Jin Kim^{1*}, Hyunsoo Kim^{2*}, Jiseon Son², Eui-Chul Hong² and Sung-June Byun^{3†}

¹Post-Doctor Researcher, Poultry Research Institute, National Institute of Animal Science, Pyeongchang 25342, Republic of Korea

²Researcher, Poultry Research Institute, National Institute of Animal Science, Pyeongchang 25342, Republic of Korea

³Senior Researcher, Poultry Research Institute, National Institute of Animal Science, Pyeongchang 25342, Republic of Korea

ABSTRACT This study evaluated the impact of dietary energy levels on the growth and development of laying hens during the rearing phases (starter, grower, developer, and pre-lay). A total of 504 Hy-Line Brown hens, starting at 3 weeks of age, were housed in rearing cages from 3 to 16 weeks and then transferred to laying cages from 16 to 18 weeks, with a stocking density of 0.075 m² per bird. Four dietary treatments were applied: control (Con), high energy (H; +100 kcal), low energy (L; -100 kcal), and very low energy (VL; -200 kcal), with seven replicates per treatment. The results showed that hens in the VL group had significantly lower body weights by week 5. However, no significant differences in body weight gain or feed intake were observed between the Con and H groups throughout the study. The feed conversion ratio (FCR) increased as dietary energy levels decreased in the L and VL groups. Abdominal fat was also influenced by dietary energy levels up to week 16, and the H group reached sexual maturity earlier than all other groups. These findings suggest that optimal or higher dietary energy levels enhance growth performance and development during rearing. Further studies are recommended to explore the effects on laying performance, including age at first egg, peak production, and average egg production rates.

(Key words: pullets, energy, performance, layer hen, feed)

서론

산란계 생산성 향상은 축산 산업에서 매우 중요한 목표로 여겨지고 있다. 지난 50년간 산란계는 계란 생산성과 관련된 다양한 특성을 중심으로 육종과 선발 과정을 거쳐 왔으며, 최근에는 ‘산란 기간 연장’ 특성을 강화하기 위한 육종 연구가 추가적으로 진행되고 있다. 특히, 육종 회사들은 100주 동안 500개의 계란을 생산할 수 있는 산란계를 개발하는 것을 목표로 삼고 있다. 산란계의 생산성에 영향을 미치는 주요 요인 중 하나는 육성기 성장과 첫 산란 시기이다. 특히 육성기 산란계 사육에 있어 가장 중요한 것은 적절한 체중과 균일성을 유지하는 것으로 알려져 있다. 기존 연구에 따르면, 산란계는 산란 직전 단계(육성기)에서 목표 체중에 도달하는 것이 산란기 전반에 걸쳐 더 높은 산란량과 긍정적인

상관관계를 나타낸다고 보고되었다(Bouvaerl et al., 2011).

또한, 육성기 산란계의 체중뿐만 아니라 근육, 지방 등 신체 구성의 발달 또한 고려해야 한다(Kwakkel et al., 1995) 지방 조직은 계란 생산이 최고조에 달할 때 에너지 요구량 증가에 대응하여 추가적인 에너지를 공급하는 데 중요한 역할을 한다(Barboza and Hume, 2006). 그러나 체지방이 과도하게 높은 경우에는 오히려 난중과 산란율이 감소하는 부작용이 발생할 수 있다(Cheng et al., 1991; Milisits et al., 2015).

산란계의 육성기 동안 사료 내 에너지 수준은 육성기 산란계의 사료 섭취량과 성장에 중요한 영향을 미친다. 산란계는 에너지 요구량을 충족시키기 위해 자발적으로 섭취량을 조절하며, 높은 에너지 수준의 사료는 섭취량을 감소시키는 반면, 낮은 에너지 수준의 사료는 섭취량을 증가시키는 경향을 보인다. 따라서 사료 내 에너지 수준과 산란계가 실제로

* These authors contributed equally to this work.

† To whom correspondence should be addressed : pcs1778@korea.kr

섭취한 에너지는 차이가 발생할 수 있다(Cherry et al., 1983; Veldkamp et al., 2005). 그러나 산란계 육성기 동안의 에너지 수준이 육성기 생산성, 장기 발달, 그리고 산란기 초기 계란 생산에 미치는 기여도에 대해서는 여전히 연구가 부족한 실정이다. 또한, 산란 주기를 연장하기 위해서는 육성기와 산란기 동안의 에너지 균형을 조절하는 것이 필수적이라는 점이 잘 알려져 있다. 특히, 육성기와 산란 초기의 에너지 수준이 산란계의 장기적인 생산성, 나아가 100주령까지의 생산성에 미치는 영향을 규명하기 위해서는 추가적인 연구가 필요하다. 따라서 본 연구에서는 육성기와 산란 초기 사료 에너지 수준을 다르게 설정하여, 초기 육성기 성장과 발달, 그리고 초기 산란율에 미치는 영향을 조사하였다.

재료 및 방법

본 시험은 농촌진흥청 국립축산과학원의 동물실험 계획서에 의거 동물보호법 및 국립축산과학원 동물시험윤리위원회에서 승인된 동물실험방법(승인번호: NIAS2023-0601)에 따라 수행되었다.

1. 공시동물 및 시험설계

본 연구에서는 산란계 육성기 에너지 수준에 따른 생산성 및 발달을 비교하기 위해 3주령 Hy-line brown 병아리를 504 마리 공시하였으며, 18마리씩 7 반복으로 나누어 4개의 처리구에 무작위 배치하였다. 처리구는 에너지 수준을 기준으로 차등 설정하였으며, 높은 에너지(H, +100 kcal of ME/kg), 일반 사료 에너지(Con), 낮은 에너지(L, -100 kcal of ME/kg), 매우 낮은 에너지(VL, -200 kcal of ME/kg)로 구성하였다. Con 사료의 에너지 수준은 단계별로 어린병아리 2,960 kcal, 중병아리 2,910 kcal, 큰병아리 2,880 kcal, 산란예비는 2,890 kcal, 산란초기는 3,290 kcal로 설정하였다(Table 1). 단계별로 Con 사료의 에너지 수준은 commercial Hy-line brown 매뉴얼에서 권장하는 산란계 육성기, 산란초기 에너지 수준에 따라 설정하고 급여하였다. 3주령부터 15주령까지는 battery cages(750 × 600 × 400 mm)에서 사육하였으며, 16주령 이후에는 산란계 battery cages(600 × 625 × 450 mm)로 옮겨 사양 실험하였다. 실험 기간 동안 무제한 급수 및 급여하였다. 계사 내 온도 및 점등 조건은 commercial Hy-line brown 매뉴얼에 따라 설정하였으며, 습도는 50-60%를 유지하였다.

Table 1. Experimental diets and nutrient compositions

	Starter 2				Grower				Developer				Pre-lay			
	H	Con	L	VL	H	Con	L	VL	H	Con	L	VL	H	Con	L	VL
Corn	64.3	65.3	65.9	59.3	67.6	69.1	64.0	56.8	75.1	68.4	61.9	55.6	63.1	65.3	63.2	59.3
Wheat Gluten	0.00	0.00	0.00	8.56	0.00	0.00	5.48	14.60	0.00	7.72	14.36	18.64	0.00	0.00	4.00	9.76
Gluten	3.52	2.00	0.00	0.00	3.00	2.00	0.00	0.00	2.92	2.32	1.40	0.00	3.52	3.32	2.96	2.52
DDGS	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.28	3.00	5.00	9.88	0.00	0.00	0.00	0.00
Soybean meal	24.4	26.4	29.2	27.3	23.2	24.4	26.1	24.2	15.5	14.4	13.2	11.9	21.1	21.0	20.5	19.8
Maifan stone meal	0.91	0.91	0.90	0.89	0.86	0.86	0.84	0.83	0.87	0.86	0.86	0.86	2.97	2.97	2.96	2.96
M.C.P	1.52	1.52	1.48	1.48	1.48	1.48	1.44	1.44	1.28	1.24	1.20	1.12	1.44	1.44	1.44	1.44
NaCl	0.27	0.27	0.27	0.26	0.27	0.27	0.26	0.26	0.25	0.24	0.22	0.18	0.30	0.30	0.29	0.29
NaHCO ₃	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
Animal fat	3.32	1.88	0.64	0.52	2.08	0.44	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	3.96	2.00	1.00	0.40
DL-Methionine (98%)	0.19	0.20	0.22	0.22	0.14	0.15	0.16	0.16	0.02	0.03	0.03	0.03	0.13	0.13	0.13	0.13
L-Lysine-Sulfate (65%)	0.23	0.15	0.05	0.08	0.09	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Vitamin1	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00
Vitamin2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.15	0.15	0.15	0.15
Mineral	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
Crude protein, %	20.0	18.3	18.2	18.2	18.2	17.5	17.5	17.5	17.5	15.0	15.0	15.0	15.0	16.5	16.5	16.5
Metabolizable energy, kcal/kg	3,060	2,960	2,861	2,761	3,009	2,909	2,811	2,710	2,979	2,879	2,779	2,679	2,991	2,890	2,790	2,689
Calcium, %	1.05	1.00	1.00	1.00	1.00	0.95	0.95	0.95	0.95	0.90	0.90	0.90	0.90	2.50	2.50	2.50
Total phosphorus, %	0.69	0.67	0.67	0.68	0.72	0.65	0.66	0.69	0.74	0.59	0.63	0.66	0.68	0.62	0.63	0.65
Total lysine, %	1.11	1.00	1.00	1.00	1.00	0.89	0.89	0.92	0.90	0.66	0.66	0.66	0.66	0.78	0.78	0.78
Total methionine, %	0.53	0.50	0.50	0.50	0.50	0.44	0.44	0.44	0.44	0.30	0.30	0.29	0.29	0.41	0.41	0.41
Total methionine+cystine	0.86	0.81	0.81	0.81	0.81	0.74	0.74	0.74	0.74	0.57	0.57	0.57	0.57	0.70	0.70	0.70

H; high-level diets (+100 kcal of ME/kg), Con; normal level diets, L; low-level level diets (-100 kcal of ME/kg), VL; very low-level diets (-200 kcal of ME/kg).

2. 조사항목

1) 생산성 조사

생산성 조사 항목으로 체중(body weight, BW), 증체량(body weight gain, BWG), 일일사료섭취량(average daily feed intake, ADFI), 사료 요구율(feed conversion ratio, FCR)을 동일한 시간에 측정하였다. 체중은 20주까지 2주 간격으로 개체별로 측정하였으며, 사료섭취량 측정을 위해 사료 잔량은 사료가 변경되는 시기마다 측정하였다. 17주령 이후에는 매일 오후 2시에 집란하여 산란율을 조사하였다.

2) 혈액 생화학 분석

혈액 생화학 분석을 위하여 사료 전환시기(6, 12, 15, 17주)에 처리구별로 평균체중±10%인 9마리를 선별하여 혈액을 익하정맥에서 3 mL 채취하였다. 채취한 혈액은 serum separate tube에 담아 3,000 rpm, 4°C에서 20분간 원심분리 후 상층액(혈청)을 분리하였다. 분리한 혈청은 자동 혈액 분석기(AU 480 chemistry Analyzer, Beckman Coulter Inc., Korea)를 사용하여 혈청 내 T. chol(total cholesterol), TG(triglyceride), GLU(glucose), TP(total protein), AST(aspartate aminotransferase) ALT(alanine aminotransferase)를 분석하였다.

3) 육성기 장기 발달도 측정

사료 전환 시기(6, 12, 15, 17주)에 처리구별로 평균 체중 ±10%인 범위에 해당하는 9마리를 선별하였다. 이후, 이산화탄소(CO₂) 가스를 이용하여 안락사를 시행한 뒤 경동맥을 절단하여 방혈하였다. 방혈이 완료된 개체에서 복부지방, 간, 난소, 난관의 무게를 측정하였다.

4) 초산 및 시산 일령

초산일령은 매일 같은 시간(14:00)에 확인하여 반복수별로 처음 산란한 날을 초산일령으로 나타내었다. 산란율은 매일 같은 시간 집란하여 반복수별로 총 산란수를 사육수로 나누어 백분율로 나타내었으며, 시산일령은 산란율이 50%에 달하는 첫째날을 시산일령으로 나타내었다.

3. 통계처리

실험에서 얻어진 모든 자료들의 통계 분석은 Statistical Analysis System(SAS release ver 9.4)의 General Linear Model(GLM) procedure를 이용하여 분산 분석을 실시하였으며, 각 처리구간 유의성은 Duncan's multiple test를 이용하여 5% 수준에서 유의성을 검정하였다.

결과 및 고찰

1. 생산성

사료 에너지 수준이 산란계의 생산성 및 장기 발달에 미치는 영향을 분석한 결과는 다음과 같다(Table 2). 사료 급여 전 3주령 산란계의 초기 체중은 처리구 간 유의적인 차이가 없었다. 그러나 사료 내 에너지 수준이 증가함에 따라 체중이 유의적으로 증가하는 경향을 보였다. 높은 에너지 사료를 섭취한 처리구에서는 사료 섭취량이 감소하였고, 이에 따라 사료 요구율(FCR)이 개선되는 결과를 나타냈다.

0주에서 18주령까지의 육성기 체중 및 FCR은 이후 산란 단계로 이어지는 매우 중요한 생산 지표이며, 이것은 사료 섭취량과 관련이 있어 생산비와 매우 밀접한 상관관계가 있

Table 2. Effects of dietary metabolizable energy level during the pullets and growing period (3 to 18 weeks of age) on the growth performance of pullets

Parameter	Week	Treatment				SEM	P-value
		H	Con	L	VL		
Body weight (g)	3	206.06	206.46	205.97	204.77	0.544	0.174
	6	465.43 ^a	458.38 ^a	452.00 ^a	436.04 ^b	3.055	<.0001
	13	1,187.57 ^a	1,157.17 ^a	1,110.49 ^b	1,071.85 ^c	11.540	0.017
	16	1,406.86 ^a	1,401.62 ^{ab}	1,371.21 ^b	1,335.52 ^c	10.524	0.001
	18	1,628.51 ^a	1,625.52 ^a	1,591.29 ^b	1,549.67 ^c	9.753	<.0001
Weight gain (g/bird)	3-6	259.36 ^a	251.92 ^{ab}	246.03 ^b	231.26 ^c	3.024	<.0001
	6-13	722.14 ^a	698.78 ^a	658.49 ^b	635.81 ^b	10.829	<.0001
	13-16	219.29 ^b	244.45 ^{ab}	260.72 ^a	263.67 ^a	10.012	<.0001
	16-18	223.90	221.65	220.07	214.14	6.470	0.743
	3-18	1,419.06 ^a	1,422.44 ^a	1,385.31 ^b	1,344.90 ^c	9.744	<.0001
Feed intake (g/bird)	3-6	614.11	617.07	609.53	613.73	2.271	0.162
	6-13	2,119.42	2,180.65	2,148.20	2,139.96	24.738	0.385
	13-16	1,290.03 ^c	1,307.20 ^c	1,353.20 ^b	1,581.52 ^a	16.168	<.0001
	16-18	1,570.83 ^{bc}	1,545.28 ^c	1,602.31 ^b	1,650.37 ^a	16.329	0.001
	3-18	5,675.75 ^c	5,568.83 ^c	5,713.25 ^b	5,985.58 ^a	29.859	<.0001
FCR (feed/gain)	3-6	2.37 ^c	2.45 ^b	2.48 ^b	2.65 ^a	0.027	<.0001
	6-13	2.95 ^c	3.12 ^b	3.26 ^{ab}	3.37 ^a	0.051	<.0001
	13-16	5.98 ^a	5.36 ^b	5.24 ^b	6.03 ^a	0.202	0.017
	16-18	7.04 ^b	7.01 ^b	7.30 ^{ab}	7.75 ^a	0.193	0.043
	3-18	4.00 ^c	3.92 ^c	4.13 ^b	4.45 ^a	0.0252	<.0001

H; high-level diets (+100 kcal of ME/kg), Con; normal level diets, L; low-level level diets (-100 kcal of ME/kg), VL; very low-level diets (-200 kcal of ME/kg), SEM; standard error of means.

^{a-c} Means within the same row with different letters are significantly different at $P < 0.05$.

다(Guzmán et al., 2015b). Leeson et al.(1993)은 에너지 함량이 높은 사료를 섭취한 육성기 산란계는 에너지 함량이 낮은 사료를 섭취한 육성기 산란계보다 6% 더 많은 에너지를 소비한다고 보고하였으며, Keshavarz and Nakajima(1995)는 14-18주령 육성기 산란계에게 에너지 수준(AMEn)을 10.88에서 12.97 MJ/kg으로 증가시켜 공급하였을 때 FCR이 감소하고 체중이 증가한다고 하여 본 연구 결과와 일치하였다. Frikha et al.(2009)의 연구에 따르면, 사료의 에너지 수준의 증가는 육성기 산란계의 균일성에 영향을 미치지 않았으며, 이는 본 연구 결과와 유사하였다. 또한, Guzmán et al.(2015a)의 연구에서도 체중의 균일성은 모든 연령에서 사료 내 에너지 수준에 따른 차이는 없었다. 이는 육성기 산란계의 균일성이 사료 에너지 수준의 차이에 의해 영향을 받지 않으며, 산란계 품종, 연령, 사육 환경 등과 같은 다른 요인들에 의해 결정될 수 있음을 시사한다.

닭, 특히 산란계는 일정한 에너지 섭취량을 유지하기 위해 사료 에너지 수준에 따라 섭취량을 조절하는 것으로 알려져 있다. Pérez-Bonilla et al.(2012)은 사료 에너지가 2,650 kcal/kg에서 2,950 kcal/kg으로 증가하면 섭취하는 에너지 수준을 유지하기 위하여 사료 섭취량이 감소한다고 보고했다. 또한, Xin et al.(2024)의 연구에서는 10-21주령 암탉이 높은 에너지 사료(2,900 kcal/kg)를 섭취할 때 섭취량이 감소했지만, 섭취한 에너지량은 중간 수준 에너지 사료(2,750 kcal/kg)를 섭취한 경우와 유사하였다. 이는 육성기 산란계가 일정한 에너지 섭취 범위 내에서 사료 섭취량을 조절할 수 있음을 보여준다. Hussein et al.(1996)은 육성기 마지막 4주(15-18주) 동안 사료 내 에너지 수준을 다르게 하여 사료를 공급하였으며, 에너지를 증가시키면 체중 증가가 크게 증가하고 사료 섭취량이 감소하였다. Frikha et al.(2009)은 체중 증가를 효과적이기 위해서는 사료의 에너지의 수준 증가(2,735-3,025 kcal/kg)가 사육 기간 초기에 이루어져야 한다고 보고하였다.

2. 장기 발달도

육성기 산란계의 에너지 수준에 따른 간 및 지방 조직의 발달 변화를 분석한 결과는 Table 3과 같다. 간과 복부 지방의 무게는 연령이 증가함에 따라 유의적으로 증가하였으나, 체중 대비 간의 비율은 감소하는 경향을 보였다. 간 무게는 13주령에서 저에너지(VL) 처리구가 유의적으로 낮았으나, 다른 주령에서는 처리구 간 유의적인 차이가 없었다. 체중 대비 간 비율 역시 전 주령에서 처리구 간 유의적인 차이를 보이지 않았다. 복부 지방의 무게는 18주령을 제외한 모든 주령에서 에너지 수준이 증가함에 따라 유의적으로 증가하였다.

Table 3. Effects of dietary energy level during the pullets and growing period (3 to 18 weeks of age) on organ index and body size of pullets

Parameter	Treatment	Weeks				SEM	P-value
		6	13	16	18		
Liver	H	11.18 ^d	16.92 ^{Ac}	21.39 ^b	21.54 ^a	0.648	<.0001
	Con	11.24 ^c	16.60 ^{Ab}	22.60 ^a	20.22 ^a	0.562	<.0001
	L	10.48 ^c	16.85 ^{Ab}	21.78 ^a	20.27 ^a	0.529	<.0001
	VL	11.14 ^c	14.38 ^{Bb}	21.75 ^a	21.23 ^a	0.467	<.0001
	SEM	0.376	0.513	0.632	0.655		
	P-value	0.448	0.004	0.588	0.387		
Liver (% of BW)	H	2.37 ^a	1.56 ^b	1.48 ^b	1.33 ^c	0.057	<.0001
	Con	2.45 ^a	1.57 ^b	1.59 ^{bc}	1.25 ^c	0.051	<.0001
	L	2.30 ^a	1.66 ^b	1.56 ^b	1.28 ^c	0.059	<.0001
	VL	2.55 ^a	1.48 ^{bc}	1.59 ^b	1.37 ^c	0.060	<.0001
	SEM	0.084	0.048	0.046	0.039		
	P-value	0.219	0.090	0.297	0.174		
Abdominal fat pad (g)	H	2.36 ^{Ac}	7.55 ^{Ac}	32.91 ^{Ab}	47.75 ^a	2.329	<.0001
	Con	1.42 ^{Bc}	3.97 ^{Bc}	26.65 ^{ABb}	40.76 ^a	2.543	<.0001
	L	1.20 ^{BCc}	2.66 ^{BCc}	24.25 ^{Bb}	37.48 ^a	1.673	<.0001
	VL	0.76 ^{Cc}	0.95 ^{Cc}	19.49 ^{Bb}	37.97 ^a	2.101	<.0001
	SEM	0.163	0.987	2.368	3.536		
	P-value	<.0001	0.001	0.004	0.172		

H; high-level diets (+100 kcal of ME/kg), Con; normal level diets, L; low-level level diets (-100 kcal of ME/kg), VL; very low-level diets (-200 kcal of ME/kg), SEM; standard error of means.

^{A-C} Means within the same column with different letters are significantly different at $P < 0.05$.

^{a-d} Means within the same row with different letters are significantly different at $P < 0.05$.

간은 에너지 공급을 하는 생체 주요 기관으로서 초기 발달이 이후의 신체 성장과 산란 유지에 중요한 역할을 한다 (Scheele, 1997). 특히 장기적인 계란 생산을 위해서는 육성기의 건강한 간 발달이 필수적이다. 본 연구에서는 16주령 이후 에너지 수준에 따른 간 발달의 차이가 관찰되지 않았다. 다만, van Eck et al.(2024)의 연구에서 지적한 바와 같이 간의 무게뿐만 아니라 지방 함량도 산란 생산성에 영향을 미칠 수 있으므로, 추후 연구에서는 간의 구성 성분 분석이 필요할 것으로 사료된다.

지방 조직은 신체 에너지 균형 유지에 중요한 역할을 하며, 영양소 섭취가 불충분할 때 에너지원으로 활용된다 (Barboza and Hume, 2006). 특히 산란 시작 시점(16-18주)의 체중은 계란 생산과 난 크기에 영향을 미치는 가장 중요한 요소이다(Guzmán et al., 2015b). van Eck et al.(2024)은 산란 초기의 적정 수준의 체지방은 산란에 긍정적 영향을 미칠 수 있으나, 과도한 체지방은 산란율과 계란 무게를 감소시킨다고 보고하였다. Anene et al.(2023)은 산란계에서 과

또한 복부지방의 축적은 대사장애 및 생리적 항상성 유지에 악영향을 미치며, 특히, 복부지방의 과다 축적은 열 스트레스에 대한 민감도를 증가시키고, 비만을 유발할 뿐만 아니라, 지방간 출혈 증후군(Fatty Liver Hemorrhagic Syndrome, FLHS)의 주요 위험인자로 작용한다고 보고하였다. 또한 FLHS 발생 개체의 97%에서 과도한 복부지방 축적 관찰되었고(Anene et al., 2023), 이러한 복부지방의 축적은 대사적 항상성을 교란시켜 간 기능 저하, 간 건강 악화, 사료효율 저하 등 연쇄적인 생리적 장애를 초래한다(Shini et al., 2019). 따라서 복부지방의 함량은 산란계에서 중요한 지표이며, 추후 산란기 생산성과 관련하여 영양관리 전략이 필요하다.

본 연구에서는 16주령까지 에너지 수준에 따른 복부 지방의 유의적인 차이가 관찰되었으나, 18주령에서는 차이가 없었다. 이는 사료 에너지 수준보다 산란계의 유전적 특성이 더 큰 영향을 미쳤을 것으로 추정된다. van Eck et al.(2024)의 연구에서는 육성기(1-35주) 사료 내 영양소 밀도 증가에 따라 복부 지방 함량이 선형적 및 이차적으로 증가하였다고 보고하였으나, 본 연구에서는 16주령까지만 유사한 경향을 보였다. 이러한 차이는 van Eck et al.(2024)의 연구가 에너지 뿐만 아니라 전체 영양소 수준을 다르게 설정한 데 기인한 것으로 사료된다.

육성기 산란계의 에너지 수준에 따른 난소, 난포수, 난관의 발달 변화를 분석한 결과는 Table 4와 같다. 사료 영양소는 계란의 품질과 난소 및 난포 발달에 영향을 미칠 수 있다(Zhao et al., 2023a). 또한 난포 발달은 산란계의 산란율을 결정하는데 중요하다. 먼저 난소가 발달하기 시작하면서 그 후에 난소에서 난포가 발달하게 된다. 배란은 큰 것부터 작은 것 순으로 발생하며, 배란 과정이 시작되면 새로운 전 등 급 난포가 등급 난포로 발달한다(Zhao et al., 2023b).

또한 산란계의 난소에서 난포 발달은 난황의 생산 및 축적과 긴밀하게 연관되어 있으며, 산란기 생산성에도 영향을 미친다. 하지만 과도한 에너지 섭취로 인하여 난포 발달과 성장이 증가하면 계란의 생산에 부정적인 영향을 미쳐 육성기 사료 에너지는 매우 중요하다(Stephen et al., 2022). Lu et al.(2023)의 연구에서는 에너지 제한 사료 공급이 체중과 성숙을 지연시켜 생식계 발달 또한 늦추는 것으로 보고하였다. Xin et al.(2024)의 연구에서는 10-21주령의 산란계를 2,600, 2,750, 2,900로 급여하였을 때 난소의 크기는 7주부터 21주령부터 유의적인 차이를 나타내지 않았으며, 난포 수도 유의적인 차이를 나타내지 않아 본 연구와 유사하였다.

따라서 육성기 산란계의 적정 에너지 수준 설정 시, 장기

Table 4. Effects of dietary energy level during the pullets and growing period (3 to 18 weeks of age) on ovary index and follicle development of pullets

Parameter	Treatment	Weeks				SEM	P-value
		6	13	16	18		
Ovary weight (g)	H	0.00 ^d	0.32 ^c	0.43 ^b	0.63 ^a	0.027	<.0001
	Con	0.00 ^d	0.29 ^c	0.44 ^b	0.77 ^b	0.042	<.0001
	L	0.00 ^d	0.28 ^c	0.40 ^b	0.74 ^b	0.027	<.0001
	VL	0.00 ^d	0.30 ^c	0.40 ^b	0.62 ^b	0.035	<.0001
	SEM	0.000	0.016	0.021	0.061		
	P-value	1.000	0.294	0.367	0.221		
Follicle numbers	H	0.00 ^b	0.00 ^b	1.00 ^b	5.56 ^a	0.501	<.0001
	Con	0.00 ^b	0.00 ^b	1.22 ^b	8.11 ^a	0.614	<.0001
	L	0.00 ^b	0.00 ^b	0.78 ^b	9.67 ^a	0.744	<.0001
	VL	0.00 ^b	0.00 ^b	0.11 ^b	6.00 ^a	0.626	<.0001
	SEM	0.000	0.000	0.449	1.171		
	P-value	1.000	1.000	0.346	0.064		
Oviduct weight (g)	H	-	-	-	1.95	-	-
	Con	-	-	-	2.52	-	-
	L	-	-	-	2.08	-	-
	VL	-	-	-	1.93	-	-
	SEM	-	-	-	1.017		
	P-value	-	-	-	0.974		

H; high-level diets (+100 kcal of ME/kg), Con; normal level diets, L; low-level level diets (-100 kcal of ME/kg), VL; very low-level diets (-200 kcal of ME/kg), SEM; standard error of means.

^{a-d} Means within the same row with different letters are significantly different at $P<0.05$.

발달의 시기별 특성 및 산란기의 산란율을 포함하여 종합적인 접근이 필요할 것으로 판단된다. 또한 추후 연구에서는 간의 구성 성분 분석 등 보다 세부적인 평가가 필요할 것으로 사료된다.

1) 혈청 내 생화학 지표

육성기 에너지 수준에 따른 혈청 내 생화학 변화는 Table 5에 나타내었다. 혈액 수치는 근육량, 연령, 신체 활동, 사료 등의 비유전적 요인과 품종, 성별 등의 유전적 요인에 영향을 받는 것으로 알려져 있다(Wyss and Kaddurah-Daoukr, 2000). 실험 결과, 혈청 내 T. chol, GLU, TP, AST, ALT는 모든 주령에서 처리구간 유의적 차이가 관찰되지 않았다. TG의 경우 16주령에서만 VL처리구가 H과 Con 처리구에 비해 유의적으로 낮은 수치를 나타내었다.

총 단백질은 알부민과 글로불린으로 구성되어 있으며, 영

Table 5. Effects of dietary energy level during the pullets and growing period (3 to 18 weeks of age) on serum biochemical profiles of pullets

Parameter	Treatment	Weeks				SEM	P-value
		6	13	16	18		
Total cholesterol (mg/dL)	H	145.04 ^a	117.45 ^{bc}	109.61 ^c	125.73 ^b	4.271	<.0001
	Con	146.65 ^a	124.56 ^b	116.25 ^b	118.54 ^b	4.313	<.0001
	L	144.54 ^a	124.06 ^b	110.63 ^b	113.90 ^b	4.815	0.001
	VL	145.68 ^a	131.34 ^{ab}	115.86 ^b	121.19 ^b	5.898	0.007
	SEM	6.943	3.468	4.496	3.790		
	P-value	0.997	0.066	0.626	0.189		
Triglyceride (mg/dL)	H	37.21	68.14	39.44 ^A	42.85	8.996	0.077
	Con	38.34	61.78	44.03 ^A	44.65	5.692	0.050
	L	37.76 ^b	63.06 ^a	34.96 ^{ABb}	41.78 ^b	4.557	0.001
	VL	33.00 ^{ab}	36.94 ^a	28.60 ^{Bb}	34.48 ^a	1.787	0.020
	SEM	2.122	10.152	3.487	4.190		
	P-value	0.291	0.154	0.027	0.351		
Glucose (mg/dL)	H	259.10 ^a	199.29 ^c	247.71 ^a	228.50 ^b	5.451	<.0001
	Con	255.93 ^a	199.23 ^c	262.84 ^a	221.95 ^b	6.593	<.0001
	L	255.59 ^a	202.45 ^b	244.18 ^a	235.75 ^a	8.456	0.001
	VL	259.23 ^a	212.61 ^c	238.28 ^b	230.25 ^b	5.642	<.0001
	SEM	5.371	6.889	6.848	7.302		
	P-value	0.938	0.482	0.095	0.616		
Total protein (g/dL)	H	3.60 ^c	4.07 ^b	3.68 ^c	4.44 ^a	0.086	<.0001
	Con	3.66 ^b	4.07 ^a	4.06 ^a	4.30 ^a	0.103	0.001
	L	3.35 ^c	3.96 ^b	3.79 ^b	4.45 ^a	0.087	<.0001
	VL	3.58 ^c	3.98 ^b	3.87 ^{bc}	4.59 ^a	0.105	<.0001
	SEM	0.090	0.089	0.101	0.101		
	P-value	0.106	0.742	0.083	0.265		
AST (U/L)	H	217.39 ^b	273.44 ^a	216.88 ^b	225.61 ^b	6.362	<.0001
	Con	224.28 ^b	273.66 ^a	219.21 ^b	222.28 ^b	6.876	<.0001
	L	220.71 ^b	284.25 ^a	219.53 ^b	237.06 ^b	8.532	<.0001
	VL	234.26 ^b	291.25 ^a	220.54 ^b	220.16 ^b	5.446	<.0001
	SEM	4.928	8.859	6.515	6.707		
	P-value	0.111	0.425	0.982	0.307		
ALT (U/L)	H	2.27	2.00	2.24	2.20	0.135	0.509
	Con	2.33	2.06	2.63	2.37	0.133	0.050
	L	2.13	1.96	2.33	2.26	0.146	0.312
	VL	2.16	2.12	2.12	2.11	0.134	0.994
	SEM	0.138	0.134	0.146	0.130		
	P-value	0.702	0.840	0.102	0.559		

H; high-level diets (+100 kcal of ME/kg), Con; normal level diets, L; low-level level diets (-100 kcal of ME/kg), VL; very low-level diets (-200 kcal of ME/kg), SEM; standard error of means.

^{A,B} Means within the same column with different letters are significantly different at $P<0.05$.

^{a-c} Means within the same row with different letters are significantly different at $P<0.05$.

양 연구에서 주요 지표로 활용된다(Poosuwan et al., 2008). 혈액 내 단백질은 영양섭취에 민감하게 반응하며, 영양소 섭취 부족 시 공급원으로 사용될 수 있다(Kaneko, 1997). 그러나 본 연구에서는 사료 내 에너지 수준에 따른 차이가 관찰되지 않았다. 이는 선행연구들과 유사한 결과를 보였는데, Jariyahatthakij et al.(2018)의 연구에서는 11-42일에 에너지 수준을 다르게 사료를 급여하였 때 육계의 혈액 내 TG와 TP에는 유의적인 차이가 없었다고 보고하였다. Hassan et al.(2013)은 23주령의 닭의 에너지 수준(2,750, 2,775, 2,800 kcal of ME/kg)을 다르게 하여 23주 동안 사료를 급여하였을 때, 혈액 내 TP, T. chol, TG는 사료 에너지 수준에 따른 유의적인 차이는 없었다 보고하였다. 육성기 사료 내 에너지 수준에 따른 혈청 내 생화학 지표 변화를 보았을 때, 모든 처리구가 연령별 변화가 유사하였다. 연령에 따라 혈청 내 생화학 지표가 달라지는 것은 나이에 따른 에너지 대사의 차이로 사료되며, 산란계의 성장 과정에서 에너지 이동과 관련이 있다고 판단된다(Piotrowska et al., 2011).

2) 시산 및 초산 일령

육성기 에너지 수준에 따른 시산 및 초산 일령은 Table 6에 나타내었다. 시산일령에서는 처리구간 유의적인 차이가 나타나지 않았으나, 초산일령에서는 H 처리구가 유의적으로 가장 빠른 초산 일령이 관찰된 반면, HL 처리구에서 가장 늦은 초산 일령이 확인되었다.

계란의 생산성은 유전적 능력뿐만 아니라 영양적 요인 및 환경 조건에 의해서도 영향을 받는 것으로 알려져 있다(Alalade et al., 2007). Hussein et al.(1996)의 연구에서는 15

Table 6. Effects of dietary energy level during the pullets and growing period (3 to 18 weeks of age) on age at 1st egg and days to 50% production of pullets

Treatment	Age at 1st egg	Days to 50% production
H	136.43	142.8 ^b
Con	137.57	143.7 ^{ab}
L	136.00	144.5 ^{ab}
VL	138.14	145.8 ^a
SEM	1.041	0.766
P-value	0.452	0.047

H; high-level diets (+100 kcal of ME/kg), Con; normal level diets, L; low-level level diets (-100 kcal of ME/kg), VL; very low-level diets (-200 kcal of ME/kg), SEM; standard error of means.

^{a,b} Means within the same column with different letters are significantly different at $P<0.05$.

-18주령 육성기 산란계를 대상으로 사료 내 에너지 수준(3.09와 2.78 Mcal AMEn)을 달리하여 급여했을 때 시산주령에서 유의적 차이가 없었다고 보고하였다. 또한 Xin et al.(2022)의 연구에서도 15-20주령에 에너지 수준(2,700과 2,800 kcal/kg)을 달리했을 때 유사한 주령에서 50% 산란율에 도달하였다. 본 연구에서는 시산 일령으로 표현했을 때 유의적 차이가 관찰되었으나, 주령으로 환산 시에는 선행연구들과 유사한 결과를 보인 것으로 사료된다.

Sujatha et al.(2014)은 산란 전 사료가 계란 생산성에 긍정적인 영향을 미치며, 산란 전 에너지 수준 증가가 산란 초기 계란 생산성 향상으로 이어진다고 보고하였다. 일반적으로 단백질과 에너지 섭취량이 증가할수록 암탉의 체중과 계란 생산량이 증가하는 것으로 알려져 있다(Oluwabiyi et al., 2022). 이러한 결과는 사료 내 에너지 수준 차이가 클수록 시산 일령에 유의적인 영향을 미치는 것으로 사료된다. Baxter and Bédécarrats(2019)의 연구에서는 초산 일령과 산란계 체중 간 음의 상관관계가 관찰되었으며, 이는 대사 상태가 성적 성숙을 유도하는 데 있어 더 중요한 신호로 작용할 수 있음을 시사한다.

본 연구를 통해 육성기 사료의 에너지 수준이 산란계의 초산 및 시산 일령에 미치는 영향을 조사한 결과, 초산일령에서는 처리구간 유의적 차이가 나타나지 않았으나, 50% 이상 산란율 도달 시기인 시산일령에서는 고에너지(H) 처리구가 가장 빠른 것으로 나타났다. 이는 사료 내 에너지 수준의 차이가 산란계의 성성숙과 산란 개시에 영향을 미칠 수 있음을 시사한다. 또한 체중과 초산일령 간의 음의 상관관계가 관찰된 것은 대사 상태가 성적 성숙에 중요한 요인으로 작용함을 보여준다. 따라서 육성기 사료의 적정 에너지 수준 설정은 산란계의 생산성 향상을 위한 중요한 영양관리 전략이 될 수 있을 것으로 판단된다.

적 요

본 연구에서는 산란기 육성기(어린병아리, 중병아리, 큰병아리, 산란예비)동안 에너지 수준이 다른 사료를 급여하였을 때 육성기 성장 및 발달에 미치는 영향을 알아보기 위하여 실시하였다. 본 연구는 3주령 산란계(Hy-Line brown) 504수를 공시하였다. 초기 3-16주에서는 육성기 케이지에서 16-18주에는 산란기 케이지에서 사육하였으며, 모든 기간 사육밀도는 0.075m²/수로 하였다. 처리구당 7개의 반복을 두어 반복 실험하였다. 에너지 수준은 Con을 기준으로 H(+100 kcal), L(-100 kcal), VL(-200 kcal)로 설정하였다.

Con 사료는 어린병아리 2,960 kcal, 중병아리 2,910 kcal, 큰병아리 2,880 kcal, 산란예비 2,890 kcal로 하였다. 초기 체중 205.82 g으로 처리구간의 유의적인 차이가 없었으나, VL은 5주차에 다른 처리구보다 유의적으로 체중이 낮았다. 유사하게 모든 기간 동안 에너지 수준에 따라 증체량도 증가하였으나, Con과 H간의 유의적인 차이는 없었다. 사료섭취량은 모든 기간 동안 에너지 수준이 감소할수록 사료섭취량은 증가하였으나, Con과 H간의 유의적인 차이는 없었다. FCR은 H과 Con은 유의적인 차이가 없었으나, L과 VL은 사료 에너지 수준이 감소할수록 증가하였다. 간, 지방, 난소는 연령이 증가함에 따라 무게가 유의적으로 증가하였다. 복부지방은 16주까지 에너지 수준의 영향을 받았으며, 시산일령은 H 처리구가 가장 빨랐다. 산란계에서는 육성기 때 성장뿐만 아니라 산란기 산란율이 중요하다고 판단되며, 추후 산란기의 산란시기, 산란피크기, 평균 산란율 등의 추가적인 연구가 필요한 것으로 사료된다. 향후 연구에서는 산란기 산란율 등 생산성, 계란품질 데이터를 바탕으로 상업적 적용 가능성을 더욱 심층적으로 평가할 필요가 있다. 사료비 상승, 생산성 증대 효과, 계란 품질 개선 등을 종합적으로 고려한 경제성 분석은 산란계 산업에 중요한 과학적 근거를 제공할 수 있을 것이다.

(색인어 : 육성기, 산란계, 사료, 에너지, 생산성)

사 사

본 연구는 농촌진흥청 고유연구사업(과제번호: PJ017250)과 2024년도 농촌진흥청 국립축산과학원 전문연구원 과정 지원사업에 이루어진 것으로 이에 감사드립니다.

ORCID

Hee-Jin Kim	https://orcid.org/0000-0002-6959-9790
Hyunsoo Kim	https://orcid.org/0000-0001-8887-1318
Jiseon Son	https://orcid.org/0000-0002-5285-8186
Eui-Chul Hong	https://orcid.org/0000-0003-1982-2023
Sung-June Byun	https://orcid.org/0000-0001-6909-1025

REFERENCES

Alalade OA, Iyayi EA, Alalade TO 2007 The nutritive value of *Azolla (Azolla pinnata)* meal in diets for growing pullets and subsequent effect on laying performance. J

- Poult Sci 44(3):273-277.
- Anene DO, Akter Y, Thomson PC, Groves P, O'Shea CJ 2023 Effect of restricted feeding on hen performance, egg quality and organ characteristics of individual laying hens. *Anim Nutr* 14:141-151.
- Barboza PS, Hume ID 2006 Physiology of intermittent feeding: integrating responses of vertebrates to nutritional deficit and excess. *Physiol Biochem Zool* 79(2):250-264.
- Baxter M, Bédécarrats GY 2019 Evaluation of the impact of light source on reproductive parameters in laying hens housed in individual cages. *J Poult Sci* 56(2):148-158.
- Bouvairel I, Nys Y, Lescoat P 2011 Hen nutrition for sustained egg quality. Pages 261-299 In: *Improving the Safety and Quality of Eggs and Egg Products*. Woodhead Publishing, Cambridge, UK.
- Cheng TK, Peguri A, Hamre ML, Coon CN 1991 Effect of rearing regimens on pullet growth and subsequent laying performance. *Poult Sci* 70(4):907-916.
- Cherry JA, Jones DE, Calabotta DF, Zelenka DJ 1983 Feed intake responses of mature White Leghorn chickens to changes in feed density. *Poult Sci* 62(9):1846-1849.
- Frikha M, Safaa HM, Jiménez-Moreno E, Lázaro R, Mateos GG 2009 Influence of energy concentration and feed form of the diet on growth performance and digestive traits of brown egg-laying pullets from 1 to 120 days of age. *Anim Feed Sci Technol* 153(3-4):292-302.
- Guzmán P, Saldaña B, Kimiaetalab MV, García J, Mateos GG 2015a Inclusion of fiber in diets for brown-egg laying pullets: Effects on growth performance and digestive tract traits from hatching to 17 weeks of age. *Poult Sci* 94(11):2722-2733.
- Guzmán P, Saldana B, Mandalawi HA, Pérez-Bonilla A, Lázaro R, Mateos GG 2015b Productive performance of brown-egg laying pullets from hatching to 5 weeks of age as affected by fiber inclusion, feed form, and energy concentration of the diet. *Poult Sci* 94(2):249-261.
- Hassan MR, Choe HS, Jeong YD, Hwangbo J, Ryu KS 2013 Effect of dietary energy and protein on the performance, egg quality, bone mineral density, blood properties and yolk fatty acid composition of organic laying hens. *Ital J Anim Sci* 12(1):e10.
- Hussein AS, Cantor AH, Pescatore AJ, Johnson TH 1996 Effect of dietary protein and energy levels on pullet development. *Poult Sci* 75(8):973-978.
- Jariyahatthakij P, Chomtee B, Poekhampha T, Loongyai W, Bunchasak C 2018 Effects of adding methionine in low-protein diet and subsequently fed low-energy diet on productive performance, blood chemical profile, and lipid metabolism-related gene expression of broiler chickens. *Poult Sci* 97(6):2021-2033.
- Kwakkel RP, Vanesch JA, DUCRO BJ, KOOPS WJ 1995 Onset of lay related to multiphasic growth and body composition in White Leghorn pullets provided *ad libitum* and restricted diets. *Poult Sci* 74(5):821-832.
- Leeson S, Summers JD, Caston L 1993 Response of brown-egg strain layers to dietary calcium or phosphorus. *Poult Sci* 72(8):1510-1514.
- Lu J, Wang Q, Wang KH, Ma M, Wang XG, Guo J, Dou TC, Hu YP, Li YF, Yang Z, Qu L 2023 Effects of energy restriction during growing phase on the productive performance of Hyline Brown laying hens aged 6 to 72 wk. *Poult Sci* 102(10):102942.
- Milisits G, Szentirmai E, Donkó T, Budai Z, Ujvári J, Áprily S, Bajzil G, Sütő Z 2015 Effect of starting body fat content and genotype of laying hens on the changes in their live weight, body fat content, egg production and egg composition during the first egg-laying period. *Br Poult Sci* 56(6):666-672.
- Oluwabiyi CT, Zhao J, Jiao H, Wang X, Lin H 2022 Dietary protein levels during the pullet phase (8-18 week) influence the mortality during laying stage. *J Appl Poult Res* 31(1):100223.
- Pérez-Bonilla A, Novoa S, García J, Mohiti-Asli M, Frikha M, Mateos GG 2012 Effects of energy concentration of the diet on productive performance and egg quality of brown egg-laying hens differing in initial body weight. *Poult Sci* 91(12):3156-3166.
- Piotrowska A, Burlikowska K, Szymeczko R 2011 Changes in blood chemistry in broiler chickens during the fattening period. *Folia Biol (Krakow)* 59(3-4):183-187.
- Poosuwan K, Bunchasak C, Kaewtapee C 2010 Long-term feeding effects of dietary protein levels on egg production, immunocompetence and plasma amino acids of laying hens in subtropical condition. *J Anim Physiol Anim Nutr*

- 94(2):186-195.
- Scheele CW 1997 Pathological changes in metabolism of poultry related to increasing production levels. *Vet Q* 19(3):127-130.
- Shini A, Shini S, Bryden WL 2019 Fatty liver haemorrhagic syndrome occurrence in laying hens: impact of production system. *Avian Pathol* 48(1):25-34.
- Stephens CS, Hill-Ricciuti A, Francoeur L, Johnson PA 2022 Feeding level is associated with altered liver transcriptome and follicle selection in hen. *Biol Reprod* 106(5):943-952.
- Sujatha T, Rajini RA, Prabakaran R 2014 Efficacy of pre-lay diet. *J Appl Anim Res* 42(1):57-64.
- van Eck L, Schouten A, Powell S, Lamot D, Enting H, Kwakkel R 2024 The effect of diet density on allometry in pullet growth and early egg production. *Poult Sci* 103(1):103211.
- Veldkamp T, Kwakkel RP, Ferket PR, Verstegen MWA 2005 Growth responses to dietary energy and lysine at high and low ambient temperature in male turkeys. *Poult Sci* 84(2):273-282.
- Wyss M, Kaddurah-Daouk R 2000 Creatine and creatinine metabolism. *Physiol Rev* 80(3):1107-1213.
- Xin Q, Jiao H, Wang X, Zhao J, Liu M, Li H, Zhou Y, Lin H 2024 Effect of energy level of pullet diet and age on laying performance and expression of hypothalamus-pituitary-gonadal related genes in laying hens. *Poult Sci* 103(8):103873.
- Xin Q, Ma N, Jiao H, Wang X, Li H, Zhou Y, Zhao J, Lin H 2022 Dietary energy and protein levels during the prelay period on production performance, egg quality, expression of genes in hypothalamus-pituitary-ovary axis, and bone parameters in aged laying hens. *Front Physiol* 13:887381.
- Zhao J, Pan H, Liu Y, He Y, Shi H, Ge C 2023a Interacting networks of the hypothalamic-pituitary-ovarian axis regulate layer hens performance. *Genes* 14(1):141.
- Zhao Z, Wu J, Liu Y, Zhuang Y, Yan H, Xiao M, Zhang L, An L 2023b Dietary canthaxanthin supplementation promotes the laying rate and follicular development of Huaixiang hens. *Biol* 12(11):1375.

Received Nov. 27, 2024, Revised Dec. 10, 2024, Accepted Dec. 10, 2024