



사료 에너지 수준이 우리맛닭 2호 종계 육성기의 생산성과 지방침착에 미치는 영향

임천익¹ · 추효준² · 김현권² · 허강녕³ · 김의형³ · 홍의철^{2*}

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

Growth Performance and Fat Deposition in Woorimatdag2 Breeder Pullets in Response to Dietary Level of Energy

Chun Ik Lim¹, Hyo Jun Choo², Hyeon Kwon Kim², Kang Nyeong Heo³, Ui Hyung Kim³ and Eui Chul Hong^{2*}

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 investigated the growth performance and fat deposition in Woorimatdag2 (WMD2) breeder pullets in response to dietary levels of apparent metabolizable energy (AME_n). A total of 144 four-week-old WMD2 breeder pullets were weighed and equally divided into four dietary groups, each with four replications until 16 weeks of age. The dietary groups were fed diets formulated with AME_n levels; 2,600, 2,700, 2,800, and 2,900 kcal/kg. The results showed that birds fed 2,800 and 2,900 kcal/kg were higher ($P<0.05$) in body weight and weight gain compared to those fed 2,600 kcal/kg. Feed conversion ratio was significantly ($P<0.05$) improved in 2,900 kcal/kg-fed group compared to 2,600 and 2,700 kcal/kg-fed groups. The laying ages of first egg were earlier ($P<0.05$) in 2,600 and 2,700 kcal/kg-fed pullets than 2,900 kcal/kg-fed those. Meanwhile, the higher ($P<0.05$) fat (%) into both liver and abdomen was confirmed in groups fed 2,700, 2,800, and 2,900 kcal/kg compared to group fed 2,600 kcal/kg. Furthermore, blood concentrations of AST and ALT were significantly ($P<0.05$) increased in group fed 2,900 kcal/kg compared to groups fed 2,600, 2,700, and 2,800 kcal/kg. Accordingly, we suggest that 2,600 kcal AME_n/kg is appropriate for WMD2 breeders during growing phase, which may improve their productivity and health of those during laying phase.

(Key words: Woorimatdag breeders, growth performance, fat deposition, metabolizable energy)

서 론

최근 국제곡물가격은 수급여건 악화, 이상 기후 및 국내의 정세불안이 심화되어 단기간 내에 급증하였고, 원료사료의 수입의존도가 매우 높은 국내 사료시장에서는 배합사료의 가격상승이 불가피한 상황이다(Arndt et al., 2023; Odey et al., 2023). 이에 따라 사료업계에서는 가축의 성장을 저해하지 않는 범위에서 영양소의 최적화를 통한 원가절감이 필요하다.

가금의 배합사료에서 에너지 수준은 사료의 생산비용에 직결되는 요인으로(Han et al., 2023), 닭이 요구하는 에너지 보다 높은 수준의 배합사료는 체내 지방침착을 유도하여 지방간이나 고지혈증을 발생시킨다(Kim and Kang, 2022; Du

et al., 2024). 반대로 낮은 에너지 수준의 배합사료는 원활한 생리활동을 저해하여 닭의 성장이나 번식능력의 감소를 유도한다(Anene et al., 2023). 이에 따라 국내외 사양표준은 육계, 산란계 및 종계와 같은 상용화된 품종들에 대하여 최적 에너지 요구량을 제시하고 있다(NRC, 1994; KFSP, 2022). 그러나 국내 토종닭의 사료에너지 수준은 제시되어 있지 않으며, 외국계 품종의 에너지 요구량을 따르고 있어서 사료 효율이 떨어지는 실정이다(KNCA, 2022).

우리맛닭은 토종닭 품종들 중에서 육질과 육량이 우수한 품종을 선발하여 교배한 것으로 특유의 향미와 질감 덕분에 그 가치를 인정받고 있다(Choo and Chung, 2014; Barido et al., 2022). 이에 따라 우리맛닭 종계의 사양관리의 중요성이 강조되고 있으며, 선행연구에서는 종계의 적정 사료에너지

* To whom correspondence should be addressed : drhong@korea.kr

수준을 구명하여 우리맛닭 병아리의 생산원가를 절감하고 있다(Choo et al., 2022; Lim et al., 2023). 종계에서 산란기의 에너지 수준은 체중, 산란율, 부화율, 산란지속성 및 건강상태에 영향을 미치는 주요인이며(Sunder et al., 2007; Moraes et al., 2014), 육성기의 에너지 수준도 종계의 체중 증감에 관여하여 향후 산란기의 산란율과 산란지속성에 영향을 미친다(Shini et al., 2020; Anene et al., 2023; Han et al., 2023). 이처럼 우리맛닭 종계의 생산성 개선을 위한 에너지 요구량의 평가는 산란기와 육성기 모두 고려되어야 한다.

본 연구는 우리맛닭 2호 종계의 육성기에서 사료 내 에너지 수준에 따른 생산성과 지방침착 정도를 확인하여 영양소 요구량 수준을 구명하고자 수행하였다.

재료 및 방법

1. 사양관리와 실험설계

본 연구는 동물실험윤리위원회에서 동물실험 승인을 받은 후 국립축산과학원 가금연구소의 실험농장에서 진행하였다(NIAS 2021-0519). 실험동물은 축산과학원에서 보유하고 있는 토종닭 순계 품종인 코니쉬(부계)와 재래종토종닭(모계)을 교배시킨 교잡종(우리맛닭 2호 종계)을 이용하였다. 4주령 우리맛닭 2호 종계 144수를 균등한 무게(275±5 g)로 구성하여 16개의 펜에 9수씩 배치하여 16주령(육성기)까지 사육하였다. 각 펜은 가로 × 세로 × 높이가 각각 120 × 60 × 40 cm (800 cm²/수)의 바닥 케이지 형태로 사료와 음용수는 직사각형 먹이통과 니플을 통해 무제한으로 공급하였다. 실험 계사의 내부 온도는 초기에 27°C로 설정되었으며, 이후 매주 2°C씩 점차 감소시켜 21°C로 유지시켰다. 또한 내부 습도는 50±10%로 일정하게 하였다. 점등시간은 4~16주령까지 8시간으로 고정하였으며, 이후 시산일령 조사를 위해 20주령까지 매주 1시간씩 연장하여 제공하였다. 실험은 4처리구(대사에너지; 2,600, 2,700, 2,800 및 2,900 kcal/kg)의 4반복으로 설계하였으며, 각 실험사료는 가루형태로 한국사양표준(KFSP, 2022)의 육용종계에서 권장하는 어린병아리 단계(4~6주령)와 중병아리 단계(7~16주령)로 구분하였다(Table 1).

2. 조사항목

1) 생산성

모든 펜에서 체중, 증체량, 사료섭취량 및 사료요구율을 4주 간격으로 측정하였다. 사료섭취량은 총 급여량에서 사료잔량을 공제하였고, 사료요구율은 증체량을 사료섭취량으로

나누어 계산하였다. 16주령 이후부터 상업용 산란예비사료(대사에너지, 2,800 kcal/kg; 단백질, 14.0%; 칼슘, 1.20% 및 유효인, 0.45%)를 급여하였고, 각 반복별 최초로 산란한 일령을 기록하여 시산일령을 나타내었다.

2) 지방침착

사양실험 종료시점에서 처리구 별 6마리의 종계를 무작위로 선발하여 체중을 측정 후 방혈하여 희생시켰고, 복강지방을 채집하여 무게를 측정하였다. 또한 간을 채집하여 무게를 측정 후 Digital Diagnostic X-Ray 분석장비(Inalyzer, #XRB80N100X4391, Medikors Inc., Korea)를 이용하여 간내 지방함량을 분석하였다.

3) 혈중 AST와 ALT

사양실험 종료 후 처리구 별로 6수를 무작위로 선발하여 채혈을 진행한 후 원심분리(3,000 rpm, 4°C, 15분)를 통해 혈청을 분리하였다. 분리된 혈청은 생화학 분석장비(AU480 Chemistry Analyzer, Beckman Coulter Inc., CA, USA)를 통해 aspartate aminotransferase(ALT)와 alanine aminotransferase(ALT)를 분석하였다.

3. 통계처리

측정된 데이터는 SAS(Statistical Analysis System, 9.4 Version, Cary, NC)의 일원분산분석(one-way ANOVA)을 이용하여 분석하였으며, Duncan의 다중검정법을 이용하여 유의수준 95%에서 통계적 차이와 90%에서 경향성을 검정하였다. 모든 데이터 값은 평균값과 추정치의 표준오차로 제시하였다.

결과 및 고찰

1. 생산성

우리맛닭 2호 종계 암탉의 육성기에 대사에너지 수준이 성장능력에 미치는 영향은 Table 2에 제시하였다. 전체 사양실험 기간에서 체중과 증체량은 2,800과 2,900 kcal/kg 급여구에서 2,600 kcal/kg 급여구에 비해 유의적으로 높았다($P<0.05$). 사료섭취량은 처리구 간 유의적 차이가 없었으나, 사료요구율은 2,900 kcal/kg를 급여한 처리구에서 가장 개선되었다($P<0.05$). 이러한 결과와 유사하게 육용종계의 육성기에 높은 에너지 사료를 급여할 경우 체중과 사료효율이 증가한다고 보고되었다(Sunder et al., 2007; Moraes et al., 2014). 한편, 시산일령 결과에서(Fig. 1), 대사에너지 2,600과 2,700 kcal/kg 급여구에서 2,900 kcal/kg 급여구와 비교하여

Table 1. Ingredients and calculated nutrition composition of experimental diets

Ingredients (%)	4–6 weeks of age				7–16 weeks of age			
	2,600	2,700	2,800	2,900	2,600	2,700	2,800	2,900
Corn	48.3	52.0	55.7	59.4	52.3	56.0	59.7	63.4
Soybean meal	27.3	28.4	29.5	30.6	18.1	19.3	20.4	21.6
Wheat bran	19.0	13.7	8.40	3.10	24.2	18.8	13.5	8.10
Soybean oil	2.00	2.50	3.00	3.50	2.00	2.50	3.00	3.50
Limestone	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
DCP	0.600	0.600	0.600	0.600	0.600	0.600	0.600	0.600
Salt	0.250	0.250	0.250	0.250	0.250	0.250	0.250	0.250
Phytase	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100
Vit-Min premix ¹	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200
L-lysine	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200
DL-methionine	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200
Total	100							
Calculated chemical composition								
GE (kcal/kg)	4,080	4,110	4,140	4,170	4,074	4,104	4,134	4,164
AME _n (kcal/kg)	2,602	2,702	2,801	2,900	2,601	2,701	2,800	2,900
CP (%)	18.5			15.5				
Ca (%)	1.04			1.01				
TP (%)	0.562	0.531	0.500	0.470	0.558	0.527	0.497	0.466
AP (%)	0.241			0.220				
Lysine (%)	1.06	1.07	1.08	1.09	0.867	0.878	0.889	0.889
Methionine (%)	0.481	0.480	0.478	0.476	0.444	0.443	0.441	0.439
Tryptophan (%)	0.675	0.681	0.687	0.694	0.554	0.561	0.568	0.574

¹ Contains per kg: Vit A, 12,000 IU; Vit D3, 5,000 IU; Vit K3, 3 mg; Vit B1, 2 mg; Vit B2, 6 mg; Vit B6, 4 mg; Vit B12, 25 mg; biotin, 0.2 mg; folic acid, 0.2 mg; niacin, 70 mg; pantothenic acid, 20 mg; Cu, 20 mg; Co, 0.5 mg; Fe, 50 mg; I, 1,300 mg; Mn, 120 mg; Se, 0.3 mg; Zn, 100 mg. DCP, dicalcium phosphate; GE, gross energy; AME_n, apparent metabolizable energy; CP, crude protein; TP, total phosphorus; AP, available phosphorus.

빠른 산란을 보였다($P<0.05$). 종계의 성숙 시기는 주로 체중과 연관되므로 육성기부터 사료영양조절을 통한 체중관리가 필요하다(Robinson et al., 1995; Sakomura et al., 2003; Khalil, 2020). 또한 체중이 성숙에 미치는 영향은 품종별로 다르므로 육성기 체중 관리의 방법도 품종에 따라 다양하다(Lu et al., 2021; Song et al., 2023). 우리맛닭 종계의 육성단계에서 생산성을 조사한 연구는 전무하여 직접적인 비교는 어려우나, 선행연구에서 토종닭의 육성기에 체중과 초산일령은 부(negative)의 상관관계를 보인다고 하였다(Sohn et al., 2023). 이와 유사하게 본 연구에서도 우리맛닭 종계의 육성기에 낮은 대사에너지를 급여한 처리구에서 낮은 체중과 빠른 시산일령을 보였다. 결과적으로 우리맛닭 2호 종계에게 2,600~2,700 kcal/kg의 급여를 통한 체중조절은 산란 시기를 앞당기는 방안일 수 있다.

2. 지방침착

사료 내 대사에너지 수준이 육성기 우리맛닭 2호 종계의 지방침착에 미치는 영향은 Table 3에 제시하였다. 2,700~2,900 kcal/kg 급여구에서 2,600 kcal/kg의 급여구에 비해 복강지방 무게가 유의적으로 높았으며 생시체중 대비 복강지방 함량(%)도 높았다($P<0.05$). 간 무게는 처리구 간 유의적 차이가 없었으나, 간 지방 무게는 에너지의 증가에 따라 증가하는 경향이 있었다($P<0.10$). 또한 간 무게 대비 지방함량(%)은 2,700~2,900 kcal/kg의 급여구에서 2,600 kcal/kg에 비해 유의적으로 증가하였다($P<0.05$). 산란계와 종계는 높은 에너지 사료를 장기간 섭취할 경우 지방이 과도하게 침착될 수 있으며 이는 사료효율 감소와 닭의 건강악화와 같은 경제적 손실을 야기한다(Kim and Kang, 2022; Du et al., 2024). 특히 지방간은 주로 산란계 혹은 종계에서 발생하는

Table 2. Growth performance in WMD2 breeder pullets in response to dietary level of metabolizable energy

Groups	2,600	2,700	2,800	2,900	SEM	<i>P</i> value
4–8 weeks of age						
BW (g)	867 ^b	882 ^b	898 ^{ab}	934 ^a	8.48	0.013
WG (g)	592 ^b	606 ^b	621 ^{ab}	658 ^a	8.39	0.016
FI (g)	1,735	1,700	1,723	1,762	15.8	0.619
FCR	2.93	2.81	2.78	2.68	0.036	0.085
9–12 weeks of age						
BW (g)	1,571 ^c	1,620 ^{bc}	1,673 ^{ab}	1,725 ^a	17.3	0.001
WG (g)	1,081 ^c	1,144 ^b	1,191 ^{ab}	1,223 ^a	16.2	0.001
FI (g)	2,684	2,683	2,684	2,743	12.9	0.277
FCR	2.48 ^a	2.35 ^b	2.26 ^b	2.24 ^b	0.030	0.002
13–16 weeks of age						
BW (g)	2,206 ^b	2,318 ^{ab}	2,365 ^a	2,427 ^a	27.5	0.014
WG (g)	965	1,045	1,091	1,064	20.9	0.160
FI (g)	3,298	3,318	3,280	3,205	36.2	0.752
FCR	3.42 ^a	3.18 ^{ab}	3.03 ^b	3.01 ^b	0.058	0.021
Total (4–16 weeks of age)						
BW (g)	2,206 ^b	2,318 ^{ab}	2,365 ^a	2,427 ^a	27.5	0.014
WG (g)	1,932 ^b	2,043 ^{ab}	2,088 ^a	2,151 ^a	27.4	0.015
FI (g)	7,716	7,701	7,687	7,710	52.3	0.998
FCR	4.00 ^a	3.77 ^b	3.68 ^{bc}	3.58 ^c	0.045	0.003

^{a-c} Means sharing different superscripts differ significantly ($P < 0.05$). BW, body weight; WG, weight gain; FI, feed intake; FCR, feed conversion ratio; SEM, standard error of the mean.

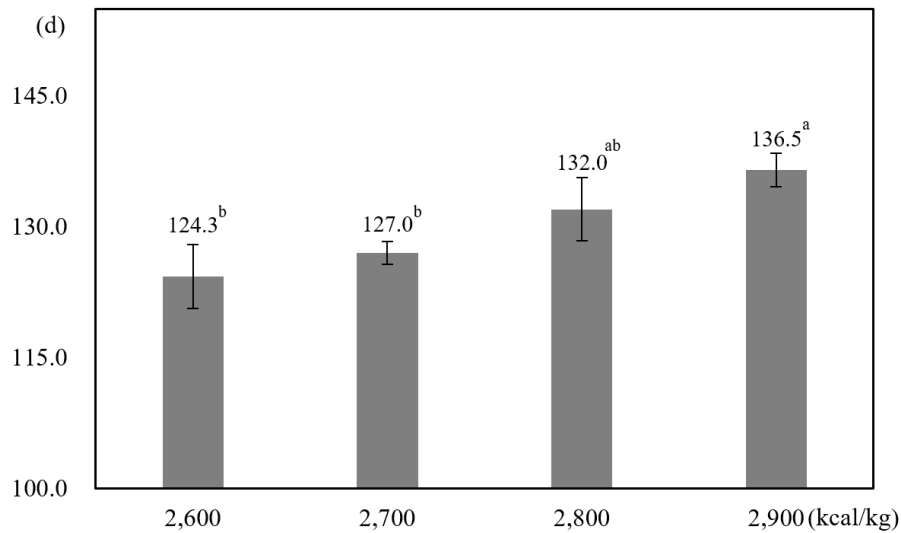


Fig. 1. Laying ages of first egg in WMD2 breeder pullets in response to dietary level of metabolizable energy. ^{a,b} Means sharing different superscripts differ significantly ($P < 0.05$). Data are presented as mean \pm standard error (S.E.).

Table 3. Fat deposition in WMD2 breeder pullets in response to dietary level of metabolizable energy

Groups	2,600	2,700	2,800	2,900	SEM	<i>P</i> value
Live weight (g)	2,267	2,300	2,320	2,460	46.5	0.499
Abdominal fat (g)	51.1 ^b	91.6 ^a	101.8 ^a	99.9 ^a	6.54	0.010
Abdominal fat (%)	2.32 ^b	3.99 ^a	4.39 ^a	4.05 ^a	0.266	0.016
Liver weight (g)	37.2	38.8	35.7	43.9	1.57	0.287
Liver fat (g)	6.46	8.51	8.15	11.32	0.666	0.064
Liver fat (%)	17.1 ^b	21.7 ^a	22.7 ^a	25.0 ^a	0.89	0.006

^{a,b} Means sharing different superscripts differ significantly ($P < 0.05$). SEM, standard error of the mean.

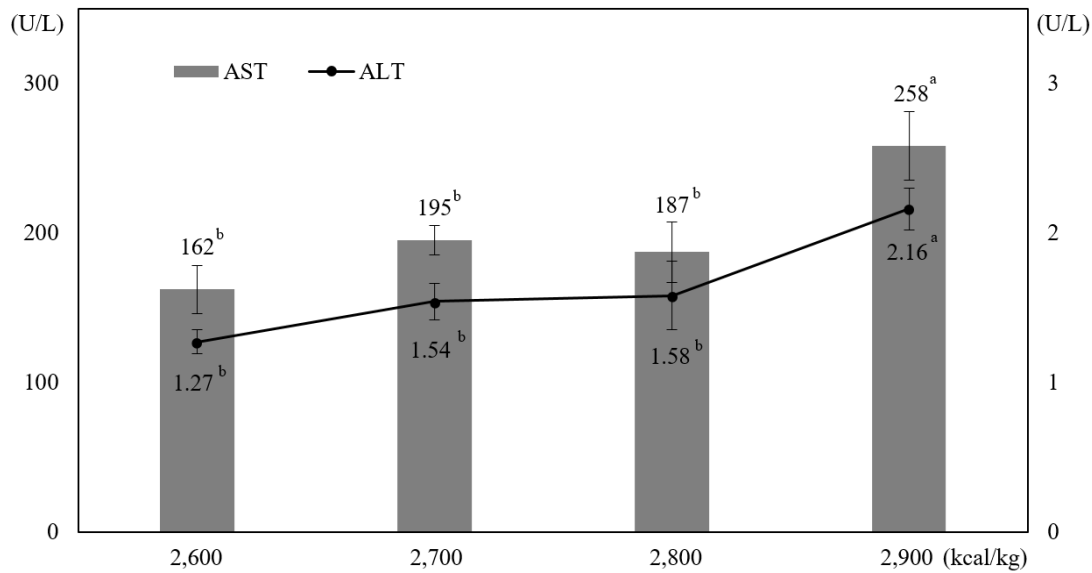


Fig. 2. AST and ALT concentrations in WMD2 breeder pullets in response to dietary level of metabolizable energy. ^{a,b} Means sharing different superscripts differ significantly ($P < 0.05$). Data are presented as mean \pm standard error (S.E.). AST, aspartate aminotransferase; ALT, alanine aminotransferase.

대사성 증후군으로 부검 시에는 증가된 피하지방 두께, 노란색 간, 간 출혈 및 간과 심장 주변에 다량의 지방이 확인된다(Moon, 2018; Shini et al., 2019). 이는 산란율과 계란 품질을 저해하며 간출혈에 의한 폐사가 발생하기도 한다(Ali, 2023). 이를 예방하기 위해서는 육성기부터 적정 영양공급을 통해 조직 내 과도한 지방의 생성을 완화하는 것이 중요하다(Shini et al., 2020; Anene et al., 2023; Han et al., 2023). 이외에도 복강지방은 요구량보다 높은 에너지의 사료를 급여한 닭에서 주로 관찰되며, 이를 줄이는 것은 사료의 경제성을 향상하는 방안으로 간주된다(Fouad and El-Senousey, 2014; Leng et al., 2016). 따라서 우리맛닭 2호 종계의 육성기에서 2,600 kcal/kg 수준의 에너지 급여는 사료의 경제성

을 높이며, 향후 산란기에서 지방간 발생을 완화하는 방안으로 사료된다.

3. 혈중 간수치

혈액성상을 조사한 결과에서(Fig. 2), 종계의 AST와 ALT는 2,900 kcal/kg를 급여한 처리구에서 가장 높은 수치를 보였다($P < 0.05$). 일반적으로 AST와 ALT는 지방간 증후군과 같은 손상된 간세포에서 방출되어 혈액으로 운반되는데, 이는 닭의 간 건강을 평가하는 중요한 지표로 활용된다(Zhang et al., 2008; Senanayake et al., 2015). 본 연구에서 사료 내 대사에너지의 증가에 따라 간 내 높은 지방 함량을 보였고(Table 3), 이와 유사하게 AST와 ALT 수치도 2,900 kcal/kg

급여구에서 2,600 kcal/kg 급여구에 비해 각각 1.7과 1.6배 증가하여 간 기능에 부정적인 영향을 미치는 것으로 확인되었다.

적 요

본 연구는 사료 내 대사에너지 수준에 따른 육성기 우리맛닭 2호 중계의 생산성과 지방침착에 미치는 영향을 조사하여 최적 에너지 수준을 구명하고자 실시하였다. 4주령 우리맛닭 2호 중계 144수를 4처리구의 4반복으로 9수씩 체중이 유사하도록 배치하여 16주령까지 사양실험을 실시하였다. 각 처리구는 대사에너지를 2,600, 2,700, 2,800 및 2,900 kcal/kg 수준으로 배합하여 급여하였다. 본 연구결과 2,800과 2,900 kcal/kg 급여구에서 2,600 kcal/kg 급여구에 비해 체중과 증체량이 증가하였다($P<0.05$). 사료요구율은 2,900 kcal/kg 급여구가 2,600과 2,700 kcal/kg 급여구와 비교하여 개선됨을 보였다($P<0.05$). 시산일령은 2,600과 2,700 kcal/kg 급여구에서 2,900 kcal/kg 급여구에 비해 빠른 결과를 나타내었다($P<0.05$). 간과 복강 내 지방함량은 2,600 kcal/kg 급여구에서 다른 처리구에 비해 유의미하게 감소하였다($P<0.05$). 혈중 AST와 ALT 수치는 2,600, 2,700 및 2,800 kcal/kg 급여구에서 2,900 kcal/kg 급여구보다 감소하였다($P<0.05$). 결과적으로 중계 산란기의 계란생산과 건강을 고려한다면 육성기의 대사에너지는 2,600 kcal/kg 수준이 적합할 것으로 사료된다.

(색인어 : 우리맛닭 중계, 생산성, 지방침착, 대사에너지)

사 사

본 연구는 2024년 농촌진흥청 국립축산과학원 전문연구원 과정 지원사업과 농촌진흥청의 공동연구사업(과제번호: PJ01620501)에 의해 이루어진 것으로 이에 감사드립니다.

ORCID

Chun Ik Lim <https://orcid.org/0000-0003-0386-5694>
 Hyo Jun Choo <https://orcid.org/0000-0002-7747-5077>
 Hyeon Kwon Kim <https://orcid.org/0000-0003-4456-111x>
 Kang Nyeong Heo <https://orcid.org/0000-0002-2757-4333>
 Ui Hyung Kim <https://orcid.org/0000-0002-2197-5080>
 Eui Chul Hong <https://orcid.org/0000-0003-1982-2023>

REFERENCES

- Ali HI 2023 Clinical and pathological impact of fatty liver hemorrhagic syndrome in caged hens farms in Diyala Province. *Ann Rom Soc Cell Biol* 27(1):30-38.
- 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.
- Arndt C, Diao X, Dorosh P, Pauw K, Thurlow J 2023 The Ukraine war and rising commodity prices: Implications for developing countries. *Glob Food Sec* 36:100680.
- Barido FH, Kim HJ, Shin DJ, Kwon JS, Kim HJ, Kim D, Jang A 2022 Physicochemical characteristics and flavor-related compounds of fresh and frozen-thawed thigh meats from chickens. *Foods* 11(19):3006.
- Choo HJ, Son J, Kim HS, Kim HJ, Lee WD, Yun YS, Hong EC 2022 The effect of dietary metabolic energy level of 'Woorimatdag' breeder on performance, egg quality, fertility and hatchability, and chick's weight. *Korean J Poult Sci* 49(4):181-188.
- Choo YK, Chung SH 2014 Brief review on local chicken breeds in Korea with respect to growth performance and meat quality. *Int J Poult Sci* 13(11):662-664.
- Du X, Wang Y, Amevor FK, Ning Z, Deng X, Wu Y, Zhao X 2024 Effect of high energy low protein diet on lipid metabolism and inflammation in the liver and abdominal adipose tissue of laying hens. *Animals* 14(8):1199.
- Fouad AM, El-Senousey HK 2014 Nutritional factors affecting abdominal fat deposition in poultry: a review. *Asian-Australas J Anim Sci* 27(7):1057-1068.
- Han GP, Kim JH, Lee JH, Kim HW, Kil DY 2023 Research Note: effect of increasing fat supplementation in diets on productive performance, egg quality, and fatty liver incidence in laying hens throughout the entire laying cycle. *Poult Sci* 102(11):103069.
- Khalil M 2020 Genetic evaluation for sexual maturity and egg production traits in crossbreeding experiment involving four local strains of chickens. *Ann Agric Sci Moshtohor* 58(3):585-598.
- Kim CH, Kang HK 2022 Effects of energy and protein levels on laying performance, egg quality, blood parameters, blood

- biochemistry, and apparent total tract digestibility on laying hens in an aviary system. *Animals* 12(24):3513.
- Korean Feeding Standard for Poultry (KFSP) 2022 Nutrient Requirement of Poultry. National Institute of Animal Science, RDA, Wanju, Korea.
- Korean Native Chicken Association (KNCA) 2022 Korean Native Chicken Slaughter Status in Statistical Data. Seoul, Korea.
- Leng L, Zhang H, Dong JQ, Wang ZP, Zhang XY, Wang SZ, Li H 2016 Selection against abdominal fat percentage may increase intramuscular fat content in broilers. *J Anim Breed Genet* 133(5):422-428.
- Lim CI, Lee WD, Kim HJ, Yun YS, Son JS, Kim HK, Hong EC 2023 Comparison of performance, egg quality and hatchability of woorimatdag breeders fed the dietary levels of metabolic energy during late laying period. *Korean J Poult Sci* 50(3):119-124.
- Lu J, Li YF, Qu L, Ma M, Yang XD, Shen MM, Wang KH 2021 Effects of energy-restricted feeding during rearing on sexual maturation and reproductive performance of Rugao layer breeders. *Poult Sci* 100(8):101225.
- Moon YS 2018 Lipid metabolism and fatty liver in poultry. *Korean J Poult Sci* 45(2):109-118.
- Moraes TGV, Pishnamazi A, Mba ET, Wenger II, Renema RA, Zuidhof MJ 2014 Effect of maternal dietary energy and protein on live performance and yield dynamics of broiler progeny from young breeders. *Poult Sci* 93(11):2818-2826.
- National Research Council (NRC) 1994 Nutrient Requirements of Poultry. National Academy of Sciences, Washington, DC.
- Odey G, Adelodun B, Lee S, Adeyemi KA, Choi KS 2023 Assessing the impact of food trade centric on land, water, and food security in South Korea. *J Environ Manag* 332:117319.
- Robinson FE, Robinson NA, Hardin RT, Wilson JL 1995 The effects of 20-week body weight and feed allocation during early lay on female broiler breeders. *J Appl Poult Res* 4(2):203-210.
- Sakomura NK, Silva R, Couto HP, Coon C, Pacheco CR 2003 Modeling metabolizable energy utilization in broiler breeder pullets. *Poult Sci* 82(3):419-427.
- Senanayake S, Ranasinghe JGS, Waduge R, Nizanantha K, Alexander P 2015 Changes in the serum enzyme levels and liver lesions of broiler birds reared under different management conditions. *Trop Agric Res* 26(4):584-595.
- 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.
- Shini S, Shini A, Bryden WL 2020 Unravelling fatty liver haemorrhagic syndrome: 1. Oestrogen and inflammation. *Avian Pathol* 49(1):87-98.
- Sohn SH, Kim K, Choi ES, Oh SH 2023 Effect of body weight in growing period on laying performance of Korean native chicken breeders. *Korean J Poult Sci* 50(1):15-22.
- Song HM, Kim SC, Cho SR, Jin DH 2023 Investigation of growth and egg production performance of 6 indigenous Korean chicken breeds enrolled in DAD-IS. *Korean J Poult Sci* 50(4):241-249.
- Sunder GS, Kumar CV, Panda AK, Raju MVLN, Rao SV, Gopinath NCS, Reddy MR 2007 Restriction of metabolizable energy in broiler growers and its impact on grower and breeder performance. *Asian-Australas J Anim Sci* 20(8):1258-1265.
- Zhang J, Chen D, Yu B 2008 Effect of different dietary energy sources on induction of fatty liver-hemorrhagic syndrome in laying hens. *Int J Poult Sci* 7(12):1232-1236.

Received Jul. 4, 2024, Revised Jul. 26, 2024, Accepted Aug. 7, 2024