



사료 내 ME 수준에 따른 산란 후기 '우리맛닭' 종계의 생산성, 종란품질 및 부화율의 비교

임천익¹ · 이우도¹ · 김희진¹ · 윤연서² · 손지선³ · 김현권³ · 유아선³ · 허강녕⁴ · 추효준^{3*} · 홍의철^{3*}

¹국립축산과학원 가금연구소 박사후연구원, ²국립축산과학원 가금연구소 연구원
³국립축산과학원 가금연구소 농업연구사, ⁴국립축산과학원 가금연구소 농업연구관

Comparison of Performance, Egg Quality and Hatchability of Woorimatdag Breeders Fed the Dietary Levels of Metabolic Energy during Late Laying Period

Chun Ik Lim¹, Woo Do Lee¹, Hee Jin Kim¹, Yeon Seo Yun², Ji Seon Son³, Hyeon Kwon Kim³, Are Sun You³, Kang Nyeong Heo⁴, Hyo Jun Choo^{3*} and Eui Chul Hong^{3*}

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

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

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

⁴Senior Researcher, Poultry Research Institute, National Institute of Animal Science, Pyeongchang 25342, Republic of Korea

ABSTRACT This study was conducted to investigate the effect of dietary levels of the metabolic energy (ME) on performance, egg quality, and hatchability of Woorimatdag breeder hens during late laying period. A total of eighty Woorimatdag breeder hens were individually housed in cages from 48 to 64 weeks of age. The hens were assigned to two groups with different dietary ME levels: 2,500 kcal/kg and 2,700 kcal/kg. Each group consisted of four replicates of ten birds. The results indicated that the dietary ME levels did not have a significant effect on the body weight and feed intake of the breeder hens. The egg production was significantly ($P<0.05$) higher in breeder hens fed 2,500 kcal/kg ME than in those fed 2,700 kcal/kg ME from 48 to 52 weeks of age. However, the egg production was shown to be similar values in both groups from 52 to 64 weeks of age. No significant differences were observed between groups with respect to egg weight, eggshell thickness, and eggshell strength of breeder's eggs. There was no difference in the fertility and hatchability between dietary groups. In conclusion, 2,500 kcal/kg of dietary ME could be considered to meet Woorimatdag breeder hens requirement sufficiently during late laying period.

(Key words: performance, egg quality, hatchability, metabolic energy, Woorimatdag breeder hens)

서 론

전 세계적으로 유전자원은 식품이나 의약품 산업에서 다양하게 활용되고 있으므로 생물의 다양성을 보전하는 것은 국가산업의 경제성 측면에서 중요하다(Taylor et al., 2020). 토종닭은 과거부터 우수한 동물성 단백질원으로 활용되었고, 현재는 식품산업을 넘어서 사회문화적 공동체의 중요한 자산으로 그 중요성이 인정되고 있다(Jin et al., 2017). 국립축산과학원은 1992년부터 2006년까지 5품종 12계통의 토종닭을 복원하였으며(Jin et al., 2017), 복원된 품종들 중에서

성장능력과 육질을 고려하여 3원 교배 조합한 실용닭을 '우리맛닭'이라 한다. '우리맛닭'의 고기는 풍부한 향미를 보유한 고품질 단백질원으로 가치가 인정되고 있지만(Lee et al., 2021), 높은 생산비로 인해 '우리맛닭' 종계의 유통량은 전체 가금 산업 중 5% 미만으로 매우 낮다(KNCA, 2022).

ME는 닭의 실질적인 생체활동이나 세포분열과 같은 신체 유지 과정에 필요한 영양소로 간주되며(Richards and Proszkowiec-Weglarz, 2007), 다양한 연구에서 가금류의 에너지요구량 측정을 위한 모델로 적용되어왔다(NRC, 1994; Sakomura, 2004; KFSP, 2022). 육계에게 고 수준 ME 사료

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

를 급여할 경우 복강지방량이 증가하여 도체율이 감소하게 되며(Ghaffari et al., 2007), 배합사료 원가상승으로 인해 농가의 생산비가 증가한다(Ahiwe et al., 2018). 반대로 저 수준의 ME 사료 급여 육계의 성장과 면역력 저하를 유발하여 생산성을 떨어뜨릴 수 있다(Yang et al., 2015). 또한, 산란계와 종계에 서로 다른 수준의 ME 사료를 급여할 경우 닭의 산란율, 난중 및 계란 품질에 영향을 미친다고 보고되어 왔다(Jalal et al., 2006; Li et al., 2013; Van Emous et al., 2015). 이에 토종닭 종계에서도 종란의 생산량과 품질 향상을 위해서 최적의 ME 수준에 대한 조사가 필요하지만 이를 구명한 연구는 아직 부족하다. ME 수준에 관한 연구의 부재로 토종닭 종계 배합사료 내 영양소 수준은 대부분 최적 수준이 아닌 외국계 종계의 영양소 요구량에 의존하고 있는 실정이다(KNCA, 2022).

이에 본 연구는 사료 내 ME의 수준이 토종닭('우리맛닭') 종계의 산란율, 종란품질 및 부화율에 미치는 영향을 조사하고자 실시하였다.

재료 및 방법

1. 공시동물과 시험설계

본 시험은 실험동물윤리위원회의 관리기준에 의거하여 수행하였다(2021-2143). 48주령 '우리맛닭' 종계 암컷 중 유사한 체중으로 선별된 80수를 개별 케이지에 배치하여 64주령까지(16주간) 사양실험을 실시하였다. 처리구는 서로 다른 수준의 ME 사료(2,500 kcal/kg, 2,700 kcal/kg)를 각각의 처리구로 하고, 처리구당 4반복, 반복당 10수씩 완전임의 배치하였다. 각 처리구에 이용된 시험사료는 가루 형태로써, 원료들의 배합비를 조절하여 ME를 설정하였다(Table 1). 종계는 급이기와 급수기 니플이 설치된 사육케이지(밀도: 1,000 cm²/수)에 수용하였으며, 전 시험기간 동안 사료와 물은 무제한으로 급여하였다. 실험계사는 온습도 조절이 되는 무창계사로 점등은 16시간으로 고정하였으며, 온도와 습도는 각각 23±2℃와 50~60%로 유지하였다.

2. 조사항목

1) 체중과 사료섭취량

종계의 체중은 사양실험의 시작 시점(48주령)과 종료 시점(64주령)에 모든 개체를 측정하였고, 반복별로 평균 체중을 계산하여 나타내었다. 사료섭취량은 반복별로 사료급여량에서 사료잔량을 공제하여 전체 사료섭취량을 측정한 후 사육수수와 사육기간을 곱한 값으로 나누어 수당 평균 1일 사료섭취량을 구하였다.

Table 1. Ingredients and calculated nutrition composition of the experimental diets

Ingredients (%)	ME (kcal/kg)	
	2,500	2,700
Corn	48.08	50.80
Wheat	7.85	18.00
Wheat bran	3.0	-
Lupin	5.0	5.0
Soybean meal	5.11	5.00
Corn gluten meal	-	3.51
Corn gluten feed	5.00	-
Corn germ meal	8.11	4.77
Rice bran	2.0	2.0
DDGS	4.88	-
Liq. choline (50%)	0.06	0.06
Limestone	9.03	8.60
Tricalcium phosphate	0.60	0.87
NaCl, salt	0.25	0.29
Methionine-100%	0.11	0.10
Lysine-54%	0.35	0.41
Tryptophan	0.37	0.39
Mineral premix ¹	0.10	0.10
Vitamin premix ²	0.10	0.10
Calculated value		
ME (kcal/kg)	2,500	2,700
Crude protein (%)	15.0	15.0
Calcium (%)	3.60	3.52
Phosphorus (%)	0.48	0.46

¹ Mineral premix contained per kg of diets: vitamin A, 10,000 IU; vitamin D3, 2,000 IU; vitamin E, 10 mg; vitamin B1, 1 mg; vitamin B2, 4 mg; vitamin B6, 1 mg; vitamin B12, 15 mg; vitamin K3, 2.5 mg; choline, 150 mg; nicotinic acid, 25 mg; pantothenic acid, 7.5 mg; folic acid, 0.10 mg.

² Vitamin premix contained per kg of diets: manganese, 70 mg; zinc, 50 mg; iron, 30 mg; copper, 5 mg; iodine, 0.5 mg; selenium, 0.3 mg.

2) 산란율과 난중

전체 사양실험 기간 동안 모든 시험계의 산란 수는 매일 오전 9시에 측정하였다. 산란율은 반복별로 사육수수에 대

한 산란 수의 비율(%)을 계산하였고 4주 간격으로 평균값을 나타내었다. 난중은 주마다 반복당 모든 계란을 집란한 후 연란, 파란, 쌍란 및 기형란을 제외한 정상란의 평균 무게를 측정하였고 4주 간격으로 평균값을 산출하였다.

3) 난각강도와 난각두께

난각강도와 난각두께의 측정은 사양실험 종료 시점(64주령)에 각 처리구에서 30개의 계란을 무작위로 채집하여 분석하였다. 난각강도는 난각강도 측정기(Model-3, Texhnex Inc., Korea)를 이용하였고, 난각두께는 계란 중앙부의 난각막을 제거한 후 난각두께 측정기(ID-C1012 XBS, Mitutiyo Inc., Japan)를 이용하여 측정하였다.

4) 수정률과 부화율

60주령의 종계에서 각 처리구의 반복별로 모든 종란을 2주간 집란하여 부화기에 입란하였다. 입란 후 7일째에 모든 종란에서 수정여부를 검란하였고, 수정률은 입란 수 대비 수정란 수의 비율(%)로 나타내었다. 부화율은 입란 후 부화시점(입란 후 21일째)에서 입란된 종란과 수정된 종란 대비 발생한 병아리 숫자의 비율(%)을 각각 산출하여 나타내었다.

3. 통계처리

연구 자료는 SAS(Statistical Analysis System, 9.2 Version, Cary, NC, 2019)의 T-test를 이용하여 분석하였으며 95% 수준에서 유의성, 90% 수준에서 경향성을 검정하였다. 모든 데이터 값은 평균값과 표준오차로 나타내었다.

결 과

1. 체중과 사료섭취량

사료 내 ME 수준이 산란후기 '우리맛닭' 종계의 체중과 사료섭취량에 미치는 영향은 Table 2에 나타내었다. 연구 결과 ME 수준(2,500 kcal/kg, 2,700 kcal/kg)에 따른 종계의 체중은 각각 2,542 g, 2,619 g으로 통계적 차이가 없었으며, 사료섭취량도 각각 113 g, 115 g으로 통계적 차이를 보이지 않았다($P>0.05$).

2. 산란율과 난중

Tables 3 and 4는 사료 내 ME 수준에 따른 산란후기 '우리맛닭' 종계의 산란율과 난중을 나타낸 결과이다. 48~52주령의 종계에서 산란율은 2,500 kcal/kg 급여구(72.5%)에서 2,700 kcal/kg 급여구(55.0%)에 비해 유의적으로 더 높았다($P<0.05$). 반면에 52~64주령의 산란율은 처리구 간 유의미한 차이가 관찰되지 않았다($P>0.05$). 전체 사양실험 기간(48~64주령)의 산란율은

Table 2. Effect of dietary level of metabolic energy (ME) on the body weight and feed intake of Woorimatdag breeder from 48 to 64 weeks of age

Parameters	ME (kcal/kg)		SEM ¹	P-value
	2,500	2,700		
Initial body weight (g/bird)	2,285	2,303	255	0.893
Final body weight (g/bird)	2,542	2,619	340	0.320
Feed intake (g/bird/d)	113	115	5.05	0.646

¹ SEM, standard error of means.

Table 3. Effect of dietary level of metabolic energy (ME) on the egg production (%) of Woorimatdag breeder from 48 to 64 weeks of age

Weeks of age	ME (kcal/kg)		SEM ¹	P-value
	2,500	2,700		
48~52	72.5 ^a	55.0 ^b	8.89	0.032
52~56	52.5	48.8	5.13	0.340
56~60	50.9	46.7	8.38	0.467
60~64	48.3	46.3	8.27	0.784
48~64	56.1	49.2	4.64	0.081

^{a,b} Means in same rows with different superscripts are significantly different ($P<0.05$).

¹ SEM, standard error of means.

Table 4. Effect of dietary level of metabolic energy (ME) on the egg weight of Woorimatdag breeder from 48 to 64 weeks of age

Weeks of age	ME (kcal/kg)		SEM ¹	P-value
	2,500	2,700		
48~52	59.3	59.3	1.85	0.985
52~56	59.1	59.9	1.54	0.531
56~60	57.3	59.9	1.74	0.079
60~64	59.8	60.1	0.93	0.691
48~64	58.9	59.8	1.19	0.327

¹ SEM, standard error of means.

2,500 kcal/kg 급여구(56.1%)가 2,700 kcal/kg 급여구(49.2%)보다 유의적인 차이 없이 더 높았다($P<0.10$). 종계의 난중은 전체 사양실험 기간 동안(48~64주령) 57.3~60.1 g으로 나타났으며 처리구 간 통계적 차이는 존재하지 않았다($P>0.05$).

3. 난각강도와 난각두께

산란후기 '우리맛닭' 종계에서 종란의 난각품질을 측정된 결과(Table 5), 난각두께는 0.341~0.354 mm이며 난각강도는 2.91~3.01 kg/cm²로 나타났다. 따라서 사료 내 ME의 수준이 종란의 난각두께와 강도에 영향을 미치지 않은 것으로 보인다($P>0.05$).

4. 수정률과 부화율

사료 내 ME 수준이 '우리맛닭' 종계의 수정률과 부화율에 미치는 영향은 Table 6에 나타내었다. 수정률은 70.6~71.0%로 사료 내 ME 수준에 따른 통계적 차이는 존재하지 않았다($P>0.05$). 이와 유사하게, 입란된 종란 대비 부화율과 수정된 종란 대비 부화율도 처리구 간 유의적 차이를 보이지 않았다($P>0.05$).

고 찰

단백질, 탄수화물 및 지방과 같은 영양소는 체내에서 대사과정을 통해 신체 기능에 필수적인 에너지를 생성하며 가

Table 5. Effect of dietary level of metabolic energy (ME) on the eggshell thickness and eggshell strength in the egg of Woorimatdag breeder

Parameters	ME (kcal/kg)		SEMI	P-value
	2,500	2,700		
Eggshell thickness (mm)	0.354	0.341	0.0276	0.112
Eggshell strength (kg/cm ²)	3.01	2.91	0.591	0.550

¹ SEM, standard error of means.

Table 6. Effect of dietary level of metabolic energy (ME) on the fertility and hatchability in the egg of Woorimatdag breeder

Parameters	ME (kcal/kg)		SEM ¹	P-value
	2,500	2,700		
Fertility (%)	71.0	70.6	8.53	0.946
Hatchability (% Based on setting eggs)	67.3	64.8	9.88	0.735
Hatchability (% Based on fertilized eggs)	94.5	91.6	4.51	0.402

¹ SEM, standard error of means.

금사료에서 주로 ME을 이용하여 평가한다(NRC, 1994; Sakomura, 2004; KFSP, 2022). 가금류의 품종과 연령에 따라 영양소의 소화나 흡수과정이 생리학적으로 다르기 때문에 ME의 평가 값과 요구량은 차이가 있다(Lopez and Leeson, 2005; Cozannet et al., 2010). 상업적으로 주로 이용되고 있는 육계와 산란계의 ME 요구량은 널리 연구되었다(NRC, 1994; KFSP, 2022). 반면에 토종닭의 영양소 요구량에 관한 연구는 거의 없으므로 본 연구는 48~64주령 토종닭('우리맛닭') 종계의 ME 요구량을 확인하기 위한 기초 연구를 수행하였다.

본 연구에서 처리구(2,500 kcal/kg, 2,700 kcal/kg) 간 체중과 사료섭취량의 차이가 확인되지 않았으며, 이러한 결과는 20~32주령 '우리맛닭' 종계의 사료에서 2,650~2,800 kcal/kg 수준이 체중에 미치는 영향이 없다는 보고(Choo et al., 2022)와 일치하였다. 가금류의 사료에서 에너지의 수준은 선형적으로 체중을 증가시키지만, 요구량보다 높은 수준의 사료는 체중과 소화율에 영향을 미치지 않는다(Sunder et al., 2007; Zhou et al., 2009). 따라서 본 연구결과에서 처리구 간 체중의 차이가 없는 것은 두 처리구의 ME 수준(2,500 kcal/kg, 2,700 kcal/kg)이 산란후기 '우리맛닭' 종계의 요구량보다 높았기 때문일 수 있다.

선행연구에서 가금류의 에너지 요구량보다 높은 수준의 사료 급여가 산란율과 난중에 미치는 영향은 없다고 하였다(Sakomura, 2004; Zhou et al., 2009; Xia et al., 2019). 이와 유사하게, 20~32주령 '우리맛닭' 종계의 사료에서 2,650~2,800 kcal/kg의 ME 수준이 산란율과 난중에 미치는 영향은 없었고(Choo et al., 2022), 2,650 kcal/kg보다 낮은 수준으로 급여하는 추가 연구가 필요하다고 하였다(Choo et al., 2022). 본 연구결과에서 48~52주령 종계의 산란율은 2,500 kcal/kg 수준에서 높았지만, 52~64주령의 종계에서는 차이가 나타나지 않았다. 산란계와 종계의 에너지요구량은 일반적으로 산란시점 이후에 주령의 증가에 따라 감소하므로(Jalal et al., 2006; HLBMG, 2019; KFSP, 2022), 향후에는 52주령 이후의 '우리맛닭' 종계에게 2,500 kcal/kg보다 낮은 수준의 ME을 급여하는 연구가 필요하다.

난각두께와 난각강도는 종란의 부화율에 선형적으로 영향을 미치는 요인으로 종계의 경제성을 결정하는 요인 중 하나이다(Liao et al., 2013; Ergun and Yamak, 2017). 난각은 주로 섭취한 칼슘이나 인과 같은 미네랄 수준에 의해 구성되므로(Ketta and Tumova, 2016), 본 연구에서도 다른 수준의 ME 사료 급여가 난각 품질에 미치는 영향은 확인되지 않았다. 이와 유사하게, 산란계의 사료 내 에너지 수준이 난

각성상이나 품질에 영향을 미치지 않았으며(Jiang et al., 2013), 사료 내 에너지와 칼슘 사이의 상관관계도 없다고 보고되었다(Jiang et al., 2013). 또한 20~32주령의 '우리맛닭' 종계에서 ME 수준(2,650~2,800 kcal/kg)이 난각두께와 난각강도에 미치는 영향은 없었다(Choo et al., 2022). 즉, '우리맛닭' 종계의 사료 내 ME 수준은 난각품질과 밀접한 관련은 없는 것으로 사료된다.

선행 연구에서 종계의 생산성 측면(체중, 산란율, 수정률 및 부화율)은 사료 내 에너지 수준에 의해 영향을 받으나(Marie et al., 2009; Lotfi et al., 2018), 적정 에너지 수준(2,800 kcal/kg)보다 높은 수준(3,000 kcal/kg)의 사료급여는 육용종계의 생산성에 영향을 미치지 않는다고 연구되었다(Van Emous et al., 2015). 이와 유사하게, 육계에 요구량보다 더 높은 수준의 ME를 함유한 사료 급여 시 사료소화율에 미치는 영향은 없었다고 보고된 바 있다(Zhou et al., 2009). 본 연구에서 두 처리구 사이의 체중, 산란율, 수정률 및 부화율의 통계적인 차이가 확인되지 않았고, 이러한 결과에서 '우리맛닭' 종계에게 2,700 kcal/kg의 ME 사료 급여는 실제 요구량보다 높을 수 있으며, 2,500 kcal/kg으로 낮추어 급여하더라도 요구량이 충족된 것으로 사료된다.

적 요

본 연구는 산란후기 '우리맛닭' 종계의 사료 내 ME 수준이 체중, 산란율, 종란품질 및 부화율에 미치는 영향을 조사하기 위해 수행되었다. 48주령 '우리맛닭' 종계 암탉 80수를 개별 케이지에 분배한 후 16주간 사양실험을 실시하였다. 처리구는 두 가지 수준의 ME(2,500 kcal/kg, 2,700 kcal/kg) 사료를 4반복과 반복 당 10수씩 배치하여 급여하였다. 본 연구결과, 종계의 체중과 사료섭취량은 ME의 수준에 따른 통계적 차이가 없었다. 48~52주령의 종계는 2,500 kcal/kg 처리구에서 2,700 kcal/kg 처리구보다 개선된 산란율을 나타냈다($P<0.05$). 그러나 52~64주령의 종계에서는 처리구 간 유의적 차이가 없었다. 종란의 난중, 난각두께 및 난각강도는 처리구 간에 차이가 나타나지 않았다. 종란의 수정률과 부화율은 ME 수준에 따른 차이를 보이지 않았다. 결론적으로 산란후기 '우리맛닭' 종계의 ME 수준을 2,500 kcal/kg으로 낮추어도 생산성 측면에서 에너지 요구량을 충족시킬 것으로 판단된다.

(색인어 : 생산성, 종란품질, 부화율, 대사에너지, '우리맛닭' 종계)

사 사

본 연구는 2023년 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
Woo Do Lee	https://orcid.org/0000-0003-4861-4637
Hee Jin Kim	https://orcid.org/0000-0002-6959-9790
Yeon Seo Yun	https://orcid.org/0000-0001-6950-0415
Ji Seon Son	https://orcid.org/0000-0002-5285-8186
Hyeon Kwon Kim	https://orcid.org/0000-0003-4456-111x
Are Sun You	https://orcid.org/0000-0001-7258-2626
Kang Nyeong Heo	https://orcid.org/0000-0002-2757-4333
Hyo Jun Choo	https://orcid.org/0000-0002-7747-5077
Eui Chul Hong	https://orcid.org/0000-0003-1982-2023

REFERENCES

- Ahiwe EU, Omede AA, Abdallh MB, Iji PA 2018 Managing dietary energy intake by broiler chickens to reduce production costs and improve product quality. *Anim Husb Nutr* 115:115-145.
- Choo HJ, Son JS, 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. *Kor J Poult Sci* 49(4):181-188.
- Cozannet P, Lessire M, Gady C, Metayer JP, Primot Y, Skiba F, Noblet J 2010 Energy value of wheat dried distillers grains with solubles in roosters, broilers, layers, and turkeys. *Poult Sci* 89(10):2230-2241.
- Ergun OF, Yamak US 2017 The effect of eggshell thickness on hatchability of quail eggs. *Vet World* 10(9):1114-1117.
- Ghaffari M, Shivazad M, Zaghari M, Taherkhani R 2007 Effects of different levels of metabolizable energy and formulation of diet based on digestible and total amino acid requirements on performance of male broiler. *Int J Poult Sci* 6(4):276-279.

- Hy-Line Brown Management Guide (HLBMG) 2019 Hy-Line International. www.hyline.com. Accessed on September 4, 2019.
- Jalal MA, Scheideler SE, Marx D 2006 Effect of bird cage space and dietary metabolizable energy level on production parameters in laying hens. *Poult Sci* 85(2):306-311.
- Jiang S, Cui L, Shi C, Ke X, Luo J, Hou J 2013 Effects of dietary energy and calcium levels on performance, egg shell quality and bone metabolism in hens. *Vet J* 198(1):252-258.
- Jin S, Jayasena DD, Jo C, Lee JH 2017 The breeding history and commercial development of the Korean native chicken. *Worlds Poult Sci J* 73(1):163-174.
- Ketta M, Tumova E 2016 Eggshell structure, measurements, and quality-affecting factors in laying hens: a review. *Czech J Anim Sci* 61(7):299-309.
- 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.
- Lee SY, Park JY, Jung S, Jung JH, Nam KC 2021 Effects of the raising period on meat quality in two new strains of Korean native chicken. *Kor J Poult Sci* 48(4):207-216.
- Li F, Zhang LM, Wu XH, Li CY, Yang XJ, Dong Y, Yao JH 2013 Effects of metabolizable energy and balanced protein on egg production, quality, and components of Lohmann Brown laying hens. *J Appl Poult Res* 22(1):36-46.
- Liao B, Qiao HG, Zhao XY, Bao M, Liu L, Zheng CW, Ning ZH 2013 Influence of eggshell ultrastructural organization on hatchability. *Poult Sci* 92(8):2236-2239.
- Lopez G, Leeson S 2005 Utilization of metabolizable energy by young broilers and birds of intermediate growth rate. *Poult Sci* 84(7):1069-1076.
- Lotfi E, Karimi N, Parizadian Kavan B, Sharifi MR 2018 Influence of different dietary levels of energy and protein on reproductive and post hatch growth performance in Japanese quails. *Iran J Appl Anim Sci* 8(1):137-145.
- Marie YA, Ibrahim MA, Mahmoud MA, Khashaba HAA 2009 Influence of nutrient density on productive and reproductive performance of some local laying hen strains. *Egypt Poult Sci J* 29(2):527-546.
- National Research Council (NRC) 1994 Committee on Animal Nutrition. Subcommittee on Poultry Nutrition. Nutrient Requirements of Poultry. 9th ed. National Academy of Sciences, Washington, DC.
- Richards MP, Proszkowiec-Weglarczyk M 2007 Mechanisms regulating feed intake, energy expenditure, and body weight in poultry. *Poult Sci* 86(7):1478-1490.
- Sakomura NK 2004 Modeling energy utilization in broiler breeders, laying hens and broilers. *Braz J Poult Sci* 6(1):1-11.
- 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.
- Taylor B, Chapron G, Kopnina H, Orlikowska E, Gray J, Piccolo JJ 2020 The need for ecocentrism in biodiversity conservation. *Conserv Biol* 34(5):1089-1096.
- Van Emous RA, Kwakkel RP, Van Krimpen MM, Hendriks WH 2015 Effects of dietary protein levels during rearing and dietary energy levels during lay on body composition and reproduction in broiler breeder females. *Poult Sci* 94(5):1030-1042.
- Xia WG, Abouelezz KFM, Fouad AM, Chen W, Ruan D, Wang S, Zheng CT 2019 Productivity, reproductive performance, and fat deposition of laying duck breeders in response to concentrations of dietary energy and protein. *Poult Sci* 98(9):3729-3738.
- Yang J, Liu L, Sheikahmadi A, Wang Y, Li C, Jiao H, Song Z 2015 Effects of corticosterone and dietary energy on immune function of broiler chickens. *PLoS One* 10(3):e0119750.
- Zhou Y, Jiang Z, Lv D, Wang T 2009 Improved energy-utilizing efficiency by enzyme preparation supplement in broiler diets with different metabolizable energy levels. *Poult Sci* 88(2):316-322.