



사료 내 ME 수준이 ‘우리맛닭’ 종계의 생산성, 종란품질, 수정률 및 부화율, 병아리 체중에 미치는 영향

추효준¹ · 손지선¹ · 김현수¹ · 김희진³ · 이우도³ · 윤연서⁴ · 허강녕² · 김현권¹ · 강환구¹ · 유아선¹ · 홍의철^{1†}

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

The Effect of Dietary Metabolic Energy Level of ‘Woorimatdag’ Breeder on Performance, Egg Quality, Fertility and Hatchability, and Chick’s Weight

Hyo-Jun Choo¹, Jiseon Son¹, Hyun-Soo Kim¹, Hee-Jin Kim³, Woo-Do Lee³, Yeon-Seo Yun⁴
 Kang-Nyeong Heo², Hyeon-Kwon Kim¹, Hwan-Ku Kang¹, Are-Sun You¹ and Eui-Chul Hong^{1†}

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

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

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

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

ABSTRACT This study was conducted to investigate the effects of the metabolic energy levels of Korean native chicken breeder diets on laying performance, egg quality, fertility and hatchability. On the basis of dietary metabolic energy values (2,800, 2,700, and 2,650 kcal/kg), 168 twenty-week-old ‘Woorimatdag’ breeders (maternal line) were divided into three treatment groups (four replications per treatment with each replicate containing 14 birds) and reared until 32 weeks of age. We found that the body weight of hens increased with age, although there were no significant differences among treatments with respect to body weight or egg weight. Egg production ratio at 20-24 and 24-28 weeks of age tended to be low in birds fed the 2,700 and 2,650 kcal/kg diets, although the differences among treatments were none significant. Feed intakes was significantly decreased as the metabolic energy level reduced ($P<0.05$). There were no significant differences among treatments with respect to feed conversion ratio or the strength and thickness of eggshell. Similarly, we detected no significant differences among the three metabolic energy levels with regards to fertility, hatchability, or chick weight. In conclusion, our findings indicate that during the initial phase of laying, the metabolic energy level of ‘Woorimatdag’ breeder diets could be lowered to 2,700 kcal/kg without significantly influencing the laying performance of breeders or egg quality, fertility and hatchability, and chick weight.

(Key words: Woorimatdag, breeder, diet, metabolic energy)

서론

최근, 전 세계적으로 동물유전자원의 보전과 유전적 생물 다양성의 유지에 관한 연구에 많은 관심이 집중되면서 국내에서도 토종닭에 대한 관심이 급증하여 왔다. 특히, 국내 소비자들이 가축의 더 나은 맛과 건강한 사육 환경을 원함에 따라 토종닭의 소비가 지속적으로 증가하고 있다.

국내 유통되고 있는 실용닭의 종계는 거의 대부분이 외래 종이며, 토종닭 종계에서 생산되는 실용닭의 비율은 전체 육계 생산량의 3% 정도이다(Animal and Plant Quarantine Agency, 2018; Kim et al., 2019). 따라서, 국내 닭 종자는 거의 대부분이 해외에 의존하고 있으며, 국외 정세의 변화에 따라 국내 양계 산업이 크게 영향을 받게 된다(Kim et al., 2019). 가축의 경우, 품종의 통계 및 특성을 문서화하기 위해

[†] To whom correspondence should be addressed : drhong@korea.kr

FAO(Food and Agriculture Organization, USA)의 DAD-IS (Domestic Animal Diversity Information System)가 개발됨에 따라, 동물 유전자원의 다양한 수집과 세부 관리 체제가 많은 국가의 최우선 과제로 간주되었다(Jin et al., 2017). 국내에서는 DAD-IS에 15축종 120품(내)종을 등재하였고, 이 중 한국재래닭이 포함된 닭 40종이 포함되어 있으며(Kim et al., 2019), 국립축산과학원에서는 1992년부터 수집 복원한 5품종 12계통을 보유하고 있다. ‘우리맛닭’은 국립축산과학원에서 보유 중인 12품종 중 육질이 우수한 재래종 토종닭과 성장 능력이 우수한 토착종 토종닭을 교배하여 토종닭 실용계이다. 그러나, KPSF(Korea Poultry Standard Feeding, 2017)에는 산란계와 육계, 그리고 준육용계(토종닭 실용계)의 영양소 수준이 제시되고 있는 반면, 토종닭 종계의 영양소 수준에 대해서는 제시된 자료가 미비하다.

국내 가금류의 사료 내 영양소 수준은 KPFS(2017)에 맞추어 조절되고 있으며, 가장 기본이 되는 것이 CP(crude protein)와 ME 수준이다. 국내 시판되는 가금류의 배합 사료는 옥수수과 대두박이 가장 많은 비율을 차지하고 있으며, 이들 사료 원료의 조정을 통해 ME와 CP 수준을 조절하게 된다. 특히, 옥수수는 사료의 ME 수준에 영향을 주며, 외국에서 비싸게 수입되는 원료사료이다. 따라서, 토종닭의 생산성이 저하되지 않는 범위에서 사료 내 ME 수준을 줄일 수 있다면, 토종닭 농가에서는 생산성과 수익 면에서 개선 효과를 얻을 수 있다.

따라서, 본 연구는 토종닭 종계 사료의 ME 수준이 생산성, 종란품질, 수정률 및 부화율에 미치는 영향을 조사하고자 실시하였다.

재료 및 방법

1. 공시동물 및 시험설계

공시동물은 유사한 체중으로 선별된 20주령의 ‘우리맛닭’ 종계(모계, 재래종 R계통 × 토착육용종 H계통, 1,942~1,983 g) 168수를 1수용 3단 cage에서 32주령까지 사육하였다. 처리구는 사료 내 ME값 2,800(KPFS, 2017), 2,700 및 2,650 kcal/kg의 3처리구, 처리당 4반복, 반복당 14수씩 168수를 완전임의 배치하였다. Table 1은 시험사료의 배합비와 일반성분을 나타낸 것이다. 사료와 물은 자유롭게 섭취하도록 하였으며, 점등 및 기타 사양관리는 ‘우리맛닭’ 사양 지침을 따랐다.

2. 조사항목

1) 체중

체중은 20주령부터 32주령까지 전체 개체를 측정하였으며, 4주간 평균 체중으로 나타내었다.

2) 난중

난중은 20주령부터 32주령까지 매주 1회 09:00에 집란 후 처리구당 24개, 반복별로 6개씩 선별하여 총 난중(기형란, 연관 및 파란 제외)을 조사하여 반복별 산란 수로 나누어 측정하였으며, 4주 평균으로 나타내었다.

3) 산란율

산란율은 20주령부터 32주령까지 공시 수수에 대한 산란 수의 비율을 집계하여 4주 간격으로 나타내었다.

4) 사료섭취량 및 사료요구율

사료섭취량은 매주 급여량에서 잔량을 제하여 측정하였으며, 4주 간격으로 나타내었다. 사료요구율은 시험기간 중 매주 조사된 사료섭취량을 난중으로 나누어 4주 간격으로 나타내었다.

5) 난각강도 및 난각두께

난각강도는 Egg Shell Force Gauge(ROBOTMATION Co, LTD, Japan)를 이용하여 측정하였으며, 난각두께는 분리한 난각의 중앙부를 Digital indicator(Mitutoyo Co, LTD, Japan)를 이용하여 측정하였다.

6) 수정률 및 부화율

수정률은 종란을 처리구별로 구분하고 입란 후 7일령에 검란하여 입란 수에 대한 수정란의 비율(%)로 나타내었고, 부화율은 수정란 수에 대한 병아리 발생 수의 비율(%)로 나타내었다. 병아리 체중은 발생된 병아리를 반복당 20수씩 선별하여 개체 체중을 측정하였다.

3. 통계처리

본 시험에서 얻어진 모든 결과(n = 4)들은 SAS(2019)의 GLM(General Linear Model)을 이용하여 분석하였다. 주령에 따른 평균 값의 비교는 Duncan의 다중 검정을 이용하여 95% 신뢰 수준에서 유의성을 검정하였다.

Table 1. Ingredient composition and nutrient content of the experimental diets

Ingredients (%)	ME (kcal/kg)		
	2,800	2,700	2,650
Corn	44.87	39.89	36.50
Wheat	10.00	10.00	10.00
Soybean meal	19.37	19.44	21.72
Corn gluten meal	12.14	9.00	9.00
Sesame seed meal	2.00	2.00	2.00
DDGS	-	8.15	9.00
Liq. Choline (50%)	0.06	0.06	0.06
Limestone	8.82	9.05	10.32
Tricalcium phosphate	0.43	0.14	0.04
NaCl, Salt	0.21	0.18	0.26
Methionine-100%	0.60	0.56	0.47
Lysine-54%	1.00	1.00	-
Threonine	0.19	0.22	0.26
Tryptophan	-	-	0.06
Mineral premix ¹	0.12	0.12	0.12
Vitamin premix ²	0.14	0.14	0.14
Probiotics	0.05	0.05	0.05
Total			
Calculated value			
ME (kcal/kg)	2,800	2,700	2,622
CP (%)	18.0	18.0	18.0
Calcium (%)	3.52	3.52	4.00
Phosphorus (%)	0.22	0.22	0.22

¹ Supplied per kilogram of diet: 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 Supplied per kilogram of diet: manganese, 70 mg; zinc, 50 mg; iron, 30 mg; copper, 5 mg; iodine, 0.5 mg; selenium, 0.3 mg.

결 과

1. 체중 및 난중

‘우리맛닭’ 종계의 사료 내 ME 수준에 따른 체중과 난중은 Table 2와 3에 나타내었다. 체중은 각 주령에서 처리구간 유의적인 차이를 보이지 않았다. 난중은 체중과 마찬가지로 처리구 사이에서 유의차가 없었다.

2. 산란율

‘우리맛닭’ 종계의 사료 내 ME 수준에 따른 산란율은 Table 4에 나타내었다. 시험기간 동안의 모든 주령에서 산란율은 처리구간 유의적인 차이를 보이지 않았다.

3. 사료섭취량 및 사료요구율

‘우리맛닭’ 종계의 사료 내 ME 수준에 따른 사료섭취량과 사료요구율은 Table 5와 6에 나타내었다. 20~24주령 및

Table 2. Effect of dietary energy levels on body weight of 'Woorimatdag' breeder (female)

Weeks	ME (kcal/kg)			SEM ¹	P-value
	2,800	2,700	2,650		
	----- (g/bird) -----				
20	1,960	1,983	1,942	70.7	0.73
24	2,170	2,188	2,157	80.5	0.86
28	2,312	2,323	2,254	114.3	0.67
32	2,424	2,405	2,407	81.9	0.94

¹ SEM, standard error of means (n=14).**Table 3.** Effect of dietary energy levels on egg weight of 'Woorimatdag' breeder's egg

Weeks	ME (kcal/kg)			SEM ¹	P-value
	2,800	2,700	2,650		
	----- (g/egg) -----				
20	41.3	40.0	42.4	3.01	0.55
24	46.2	47.1	47.2	3.77	0.93
28	53.6	53.3	53.2	1.21	0.87
32	47.0	46.8	47.6	1.85	0.84

¹ SEM, standard error of means (n=24).**Table 4.** Effect of dietary energy levels on egg production ratio of 'Woorimatdag' breeder (female)

Weeks	ME (kcal/kg)			SEM ¹	P-value
	2,800	2,700	2,650		
	----- (%) -----				
20~24	67.0	67.0	60.3	4.15	0.08
24~28	76.2	72.0	77.4	6.35	0.48
28~32	76.4	75.2	73.5	2.79	0.37
20~32	72.3	69.8	68.9	4.03	0.50

¹ SEM, standard error of means (n=4).**Table 5.** Effect of dietary energy levels on feed intake of 'Woorimatdag' breeder (female)

Weeks	ME (kcal/kg)			SEM ¹	P-value
	2,800	2,700	2,650		
	----- (g/bird/d) -----				
20~24	120.5	122.0	121.7	2.79	0.73
24~28	123.3	121.8	123.7	1.65	0.31
28~32	127.7 ^a	126.4 ^{ab}	124.4 ^b	1.41	<0.05
20~32	123.8	123.4	123.3	0.85	0.63

¹ SEM, standard error of means (n=4).^{a,b} Means in same rows with different superscripts are significantly different ($P<0.05$).

Table 6. Effect of dietary energy levels on feed conversion ratio of ‘Woorimatdag’ breeder (female)

Weeks	ME (kcal/kg)			SEM ¹	P-value
	2,800	2,700	2,650		
20~24	2.93	3.07	2.89	0.23	0.55
24~28	2.70	2.59	2.63	0.23	0.82
28~32	2.39	2.37	2.35	0.06	0.63
20~32	2.64	2.64	2.60	0.09	0.77

¹ SEM, standard error of means (n=4).

24~28주령의 사료섭취량은 처리구 사이에서 유의적인 차이를 보이지 않았으며, 시험기간 동안의 평균 사료섭취량도 처리구간 유의차가 없었다. 반면, 28~32주령의 사료섭취량은 2,800 kcal/kg 처리구에서 2,650 kcal/kg 처리구에 비해 높게 나타났다($P<0.05$).

사료요구율은 20~24주령, 24~28주령 및 28~32주령에서 처리구간 유의적인 차이가 없었으며, 20~32주령의 평균 사료요구율도 처리구 사이에서 유의적인 차이를 보이지 않았다.

4. 난각강도 및 난각두께

‘우리맛닭’ 종란의 사료 내 ME 수준에 따른 난각강도 및 난각두께는 Table 7과 8에 나타내었다. 4주 간격(24, 28 및 32주령)으로 조사된 종란의 난각강도는 처리구 사이에서 유의적인 차이를 보이지 않았다. 난각두께는 2,700 및 2,800

kcal/kg 처리구에서 높은 경향이 나타났으나, 난각강도와 마찬가지로 처리구간 유의차가 나타나지 않았다.

5. 수정률, 부화율 및 병아리 체중

‘우리맛닭’ 종란의 사료 내 ME 수준에 따른 수정률, 부화율 및 병아리 체중은 Table 9에 나타내었다. 수정률은 72.3~81.8%로 처리구에 따른 유의적인 차이가 나타나지 않았으며, 부화율은 94.7~95.0%로 ME 수준에 따른 유의차를 보이지 않았다. 또한, 병아리 체중도 수정률 및 부화율과 마찬가지로 처리구 사이에서 유의차가 나타나지 않았다.

고 찰

산란초기(20~32주령)의 ME 수준은 2,950 kcal/kg이며

Table 7. Effect of dietary energy levels on eggshell strength of ‘Woorimatdag’ breeder’s egg

Weeks	ME (kcal/kg)			SEM ¹	P-value
	2,800	2,700	2,650		
	----- (kg/cm ²) -----				
24	3.32	3.63	3.40	0.026	0.37
28	3.09	3.40	3.04	0.649	0.12
32	3.11	3.29	3.03	0.558	0.25

¹ SEM, standard error of means (n=24).

Table 8. Effect of dietary energy levels on eggshell thickness of ‘Woorimatdag’ breeder’s egg

Weeks	ME (kcal/kg)			SEM ¹	P-value
	2,800	2,700	2,650		
	----- (μm) -----				
24	354.2	357.5	357.9	25.49	0.37
28	362.1	365.0	357.1	21.63	0.44
32	362.5	365.4	351.2	23.64	0.09

¹ SEM, standard error of means (n=24).

Table 9. Effect of dietary energy levels on fertility and hatchability of ‘Woorimatdag’ breeder’s egg at the age of 32 weeks

Weeks	ME (kcal/kg)			SEM ¹	P-value
	2,800	2,700	2,650		
Fertility (%)	77.8	72.3	81.8	11.16	0.51
Hatchability (%)	94.7	95.0	95.0	7.94	0.99
BW of hatched chicks (g/bird)	36.7	37.3	37.4	1.08	0.64

¹ SEM, standard error of means (n=4).

(KPFS, 2017), 일반 육용종 종계(Aviagen, 2019)의 사양지침서는 2,800 kcal/kg을 제시하고 있다. 토종닭 종계의 ME 수준에 대해서는 특별히 지침이 없기 때문에 보통 산란계보다는 낮고 육용종 종계보다는 높게 설정하여 급여한다.

본 연구에서 대조구는 육용종 종계 ME 수준인 2,800 kcal/kg으로 맞추고, 처리구에서 ME 수준을 낮추어 비교 분석하였다. ME 수준이 너무 낮게 설정되는 경우, 품질이 낮은 원료사료를 사용하게 되므로, 가장 낮은 수준을 2,650 kcal/kg으로 설정하였다. ‘우리맛닭’ 종계 체중과 난중은 사료 내 ME 수준에 따른 유의적인 차이를 보이지 않았으며, 같은 주령의 산란계 체중(Hy-Line, 2019)과 비교하여 높게 나타났다. 또한, 일반 육용종(broiler) 종계(Aviagen, 2019)에 비해서는 체중이 낮게 나타났다.

‘우리맛닭’ 종계의 산란율 또한 처리구 사이에서 유의적인 차이를 보이지 않았으며, 사료섭취량, 사료요구율 및 종란 품질(난각강도, 난각두께)도 ME 수준에 따른 차이를 보이지 않았다. Riberio et al.(2014)은 ME 수준을 2,700 kcal/kg에서 3,000 kcal/kg까지 조절하였을 때, ME 수준이 증가함에 따라 산란율, 사료섭취량 및 사료요구율은 증가한다고 하여, 본 연구와의 차이를 나타내었다. 그러나, 다른 연구들은 산란 초기에 에너지와 산란율을 조사하였을 때 에너지 수준에 따른 산란율의 변화가 없다고 하였다(D’Alfonso et al., 1996; Keshavarz, 1998; Grobas et al., 1999b; Harms et al., 2000; Wu et al., 2005, 2007; Jalal et al., 2006, 2007).

본 연구에 사용된 공시계는 토종닭 종계로서 산란계 사료의 에너지 수준과 차이가 있는 것으로 사료되며, 대조구의 에너지 수준(2,800 kcal/kg)은 과잉으로 공급되는 것이며, 2,700 kcal/kg의 ME가 산란율을 개선시켜주는 에너지 수준이라고 판단된다.

Riberio et al.(2014)과 Valkonen et al.(2008)은 ME 수준에 따른 산란계의 난중 차이가 없다고 하였으며, Kumar et al.(2021)은 난각강도와 난각두께가 ME 수준에 따른 차이를 보이지 않는다고 하였다. 이들의 결과는 본 연구의 연구 결

과와 유사하였다. 계란의 주 성분이 수분, 지방, 단백질이며 (Kuang et al., 2018), 난각의 95% 이상은 탄산칼슘으로 되어 있다(KPFS, 2017). 따라서, 난중이나 난각두께 및 난각강도는 단백질이나 광물질에 의해 영향을 많이 받으며, 에너지에 의한 영향이 적다고 사료된다. 본 연구에서 난각두께는 2,700 kcal/kg 처리구에서 높은 경향이 나타났으며, 이에 ME 2,700 kcal/kg 수준으로 낮추는 것이 가능하다고 사료된다.

본 연구에서 ‘우리맛닭’ 종계의 산란초기 수정률은 Choi and Sohn(2000)이 보고한 재래종과 토착난용종의 수정률(87% 이상)에 비해 낮게 나타났다. 본 연구에서 사용된 ‘우리맛닭’ 종계는 수정률이 87% 이상인 재래종에 수정률이 낮은 토착육용종을 교배시켰기 때문에 수정률이 낮아진 것이라 사료된다. 반면, 본 연구의 부화율은 Choi and Sohn(2000)이 제시한 부화율에 비해 높게 나타났다. 본 연구의 결과에 따라, 수정된 종란은 품종에 관계없이 부화 조건만 맞으면 부화율이 향상될 수 있는 것으로 추정된다.

Saleh et al.(2018)은 에너지 수준에 관계없이 낮은 사료 단백질이 오히려 부화율을 낮춘다고 하였으며, Van Emous et al.(2015)은 산란 초기의 수정률은 사육 기간 동안 사료 내 에너지 수준에 의해 영향을 받지 않았다고 하였다. 본 연구에서도 이들 연구 결과와 유사하게 에너지 수준에 의해 영향을 받지 않았다.

Pramanik et al.(2020)은 병아리 체중이 부모의 체중에 의해 좌우된다고 하였다. 본 연구에서 체중이 유사한 부계를 이용하였으며, ME 수준에 따른 모계의 체중은 세 처리구에서 차이를 보이지 않았다. 따라서, 병아리 체중은 처리구 사이에서 유의적인 차이를 보이지 않은 것으로 사료된다.

결론적으로, ‘우리맛닭’ 종계의 산란초기 사료는 2,700 kcal/kg까지 낮추어도 종계의 성장 및 산란 능력에 크게 영향을 주지 않는 것으로 나타났다.

적 요

본 연구는 토종닭 종계 사료의 ME 수준이 생산성, 종란 품질, 수정률 및 부화율에 미치는 영향을 조사하기 위해 실시하였다. 20주령의 '우리맛닭' 종계(모계) 168수를 ME값(2,800, 2,700 및 2,650 kcal/kg)에 따라 3처리구(처리당 4만복, 반복당 14수)로 나누고 32주령까지 사육하였다. 조사항목은 체중, 난중, 산란율, 사료섭취량, 사료요구율, 난각강도, 난각두께, 수정률 및 부화율을 조사하였다. 체중은 주령이 경과함에 따라 증가하는 추세였으며, 체중과 난중은 처리구간 유의적인 차이를 보이지 않았다. 20~24주령과 24~28주령의 산란율은 ME 2,700 kcal/kg 및 2,650 kcal/kg 처리구에서 낮게 나타나는 경향을 보였으나, 처리구간 유의적인 차이를 보이지 않았다. 28~32주령의 사료섭취량은 각각의 처리구에서 127.7 g, 126.4 g 및 124.4 g으로 ME 수준에 따라 유의차가 나타났($P<0.05$). 사료요구율, 난각강도 및 난각두께는 처리구간 유의적인 차이를 보이지 않았다. 수정률과 부화율, 병아리 체중 또한 처리구에 따른 유의적인 차이가 나타나지 않았다. 결론적으로, '우리맛닭' 종계 산란초기 사료는 2,700 kcal/kg까지 낮추어도 종계의 생산성, 종란품질, 수정률 및 부화율, 병아리 체중에 크게 영향을 주지 않는 것으로 사료된다.

(색인어 : 토종닭, 종계, 사료, 대사 에너지)

사 사

본 연구는 2022년 농촌진흥청의 공동연구사업(과제번호: PJ01620501)에 의해 이루어진 것으로 이에 감사드립니다.

ORCID

Hyo-Jun Choo <https://orcid.org/0000-0002-7747-5077>
 Jiseon Son <https://orcid.org/0000-0002-5285-8186>
 Hyun-Soo Kim <https://orcid.org/0000-0001-8887-1318>
 Hee-Jin Kim <https://orcid.org/0000-0002-6959-9790>
 Woo-Do Lee <https://orcid.org/0000-0003-4861-4637>
 Yeon-Seo Yun <https://orcid.org/0000-0001-6950-0415>
 Kang-Nyeong Heo <https://orcid.org/0000-0002-2757-4333>
 Hyeon-Kwon Kim <https://orcid.org/0000-0003-4456-111x>
 Hwan-Ku Kang <https://orcid.org/0000-0002-4286-3141>
 Are-Sun You <https://orcid.org/0000-0001-7258-2626>

Eui-Chul Hong <https://orcid.org/0000-0003-1982-2023>

REFERENCES

- Animal and Plant Quarantine Agency 2018 Annual Report of Slaughter Animals in Korea.
- Aviagen 2019 ROSS 308 PARENTS STOCK: Performance Objectives.
- Choi ES, Sohn SH 2020 The effects of breed, laying age and egg storage period on the hatchability of Korean native chickens. *Kor J Poult Sci* 47(4):237-245.
- Costa FGP, Souza HC, Gomes CAV, Barros LR, Brandão PA, Nascimento GAJ, Santos AWS, Amarante Júnior VS 2004 Níveis de proteína bruta a energia metabolizável na produção e qualidade dos ovos de poedeiras da linhagem Lohmann Brown. *Ciência Agrotécnica* 28(6):1421-1427.
- D'Alfonso TH, Manbeck HB, Roush WB 1996 Effect of day to day variation of dietary energy on residual feed intake of laying hens. *Poult Sci* 75(3):362-369.
- Harms RH, Russell GB, Sloan RR 2000 Performance of four strains of commercial laying hens with major changes in dietary energy. *J Appl Poult Res* 9(4):535-541.
- 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.
- Jalal MA, Jalal MA, Scheideler SE, Pierson EM 2007 Strain response of laying hens to varying dietary energy levels with and without avizyme supplementation. *J Appl Poult Res* 16(3):289-295.
- Jin S, Jayasena DD, Jo C, Lee JH 2017 The breeding history and commercial development of the Korean native chicken. *World Poult Sci* 73(1):163-174.
- Keshavarz K 1998 The effect of light regimen, floor space, and energy and proteins levels during the growing period on body weight and early egg size. *Poult Sci* 77(9):1266-1279.
- Kim KG, Choi ES, Kwon JH, Jung HC, Sohn SH 2019 Production performance of 12 Korean domestic chicken varieties preserved as national genetic resources. *Korean J Poult Sci* 46(2):105-115.
- KPFS 2017 Korea Poultry Feeding Standard. National Institute of Animal Science.

- Kuang H, Yang F, Zhang Y, Chen G 2018 The impact of egg nutrient composition and its consumption on cholesterol homeostasis. *Cholesterol* 2018, ID:6303810.
- Kumar SS, Sampath V, Park JH, Kim IH 2021 Effects of different levels of dietary energy and nutrient density during the pre-peak and peak periods on egg quality in Hy-Line Brown laying hens. *Kor K Poult Sci* 48(4):319-325.
- Grobas S, Mendez J, De Blas C, Mateos GG 1999a Influence of dietary energy, supplemental fat and linoleic acid concentration on performance of laying hens at two ages. *Br Poult Sci* 40(5):681-687.
- Grobas S, Méndez J, Blas C, Mateos GG 1999b Laying hen productivity as affected by energy, supplemental fat, and linoleic acid concentration of the diet. *Poult Sci* 78(10): 1542-1551.
- Pramanik MAH, Chowdhury SD, Roy BC, Khatun MT, Biswas S 2020 Effect of body weight at maturity on fertility and hatchability traits of broiler parent stock. *Int J Appl Res* 6(2):16-25.
- Ribeiro PAP, Matos Jr JB, Lala LIC, Araújo LF, Baóo NC 2014 Effect of dietary concentration on performance parameters and egg quality of white Leghorn laying hens. *Rev Bras Cienc Avic* 19(4):381-388.
- Saleh B, Doma UD, Kalla DJU, Mbap ST, Mohammed G 2018 Influence of pre-breeder dietary energy and protein elvels on subsequent laying performance of FUNAAB-alpha chickens. *Nigerian J Anim Sci* 20(2):153-161.
- SAS 2019 SAS/STAT Software for PC. Release 9.4, SAS Institute, Cary, NC, USA.
- Valkonen E, Venalainen E, Rossow L, Valaja J 2008 Effects of dietary energy content on the performance of laying hens in furnished and conventional cages. *Poult Sci* 87(5):844-852.
- Van Emous RA, Kwakkel RP, van Krimpen MM, Hendriks WH 2015 Effects of dietary levels during rearing and dietary energy levels during lay on body composition and reproduction in broiler breeder females. *Poult Sci* 94(5):1030-1042.
- Wu G, Bryant MM, Gunawardana P, Roland Sr DA 2007 Effect of nutrient density on performance, egg components, egg solids, egg quality, and profits in eight commercial Leghorn strain during phase one. *Poult Sci* 86(4):691-697.
- Wu G, Bryant MM, Voitle RA, Roland DA 2005 Effect of dietary energy on performance and egg composition of Bovans White and Dekalb White hens during phase. *Poult Sci* 84(10):1610-1615.

Received Sep. 06, 2022, Revised Nov. 3, 2022, Accepted Nov. 8, 2022