

ANIMAL

Effects of dietary inclusion level of microwave-dried black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal on growth performance, cecal volatile fatty acid profiles, and blood parameters in broilers

Byeonghyeon Kim¹, Hye Ran Kim¹, Jin Young Jeong¹, Kwanho Park², Sang Yun Ji^{1,*}, Seol Hwa Park^{1,*}

¹Animal Nutrition & Physiology Team, National Institute of Animal Science, Rural Development Administration, Wanju 55365, Korea

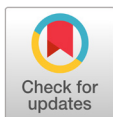
²Industrial Insect Division, Department of Agricultural Biology, National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration, Wanju 55365, Korea

*Corresponding authors: syjee@korea.kr, shwa6560@korea.kr

Abstract

This study evaluated the effect of microwave-dried black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal (HILM) as a dietary protein source for broiler diets. A total of 250 male broilers were randomly allocated to five dietary treatment groups (10 replicates and 5 birds:pen⁻¹) which were respectively fed the following: a control diet (HI0) and four experimental diets in which soybean meal was replaced with 2 (HI2), 4, 6, and 8% HILM. At the end of the study (35 d), blood samples were collected from 10 randomly selected broilers (1 bird per pen) to determine serum parameters. Then, the broilers were slaughtered to determine volatile fatty acid (VFA) profiles in cecal digesta. The average daily gain and average daily feed intake linearly decreased ($p < 0.01$), and the feed conversion ratio linearly increased ($p < 0.05$) according to the inclusion level of HILM; however, there were no significant differences between the HI0 and HI2 groups. Dietary HILM increased ($p < 0.01$) the total VFAs in cecal digesta and decreased ($p < 0.05$) the triglyceride level in the blood. The broilers fed HILM had lower ($p < 0.01$) serum phosphorus levels; dietary HILM increased ($p < 0.05$) the serum calcium level. The total VFAs in cecal digesta were positively influenced by the dietary microwave-dried HILM. However, a low inclusion level (2%) of HILM in broiler diets is proper in terms of growth performance and health.

Keywords: insect meal, serum parameter, volatile fatty acid



OPEN ACCESS

Citation: Kim B, Kim HR, Jeong JY, Park K, Ji SY, Park SH. 2021. Effects of dietary inclusion level of microwave-dried black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal on growth performance, cecal volatile fatty acid profiles, and blood parameters in broilers. Korean Journal of Agricultural Science 48:231-239. <https://doi.org/10.7744/kjoas.20210017>

Received: February 19, 2021

Revised: March 22, 2021

Accepted: April 16, 2021

Copyright: © 2021 Korean Journal of Agricultural Science



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Introduction

증가하는 인구 수는 식량 공급 및 유기 폐기물 처리 문제 등 다양한 문제를 야기 시킬 것으로 보인다(Wise, 2013). 그리고 가축의 주요 단백질 공급원인 대두박의 가격 증가로 인해 지속 가능한 대체제가 필요하다. 이러한 문제를 해결하기 위해 곤충이 대체 단백질 공급원으로 떠오르고 있다(Bovera et al., 2015). 특히, 동애등에 유충(*Hermetia illucens* larvae, HIL)은 유기물을 분해하여 체내에 단백질과 지방으로 전환하기 때문에 유기 폐기물 처리 및 양질의 가축 사료원으로써 공급이 가능할 것으로 보인다(Surendra et al., 2016; Spranghers et al., 2017).

동애등에 유충박(HIL meal)은 대두박에 비해 상대적으로 높은 조단백질 및 아미노산 함량을 가지고 있다. 하지만, 유충의 껍데기에 존재하는 키틴(chitin) 성분은 소화가 되지 않고 단백질과 결합하여 소화율을 낮추는 역할을 한다(Longvah et al., 2011; Borrelli et al., 2017). 이러한 키틴의 역할로 인해 육계에게 급여 시 단백질의 소화율을 감소시켜 성장률을 저하시키게 된다(Bovera et al., 2018; Dabbou et al., 2018). 하지만, 소화가 되지 않는 특성 때문에 프리바이오틱스(prebiotics) 역할을 하여 맹장 내 단쇄지방산(short chain fatty acid)을 증가시키고 미생물 균총을 바꾸게 된다(Borrelli et al., 2017).

동애등에 유충박의 영양소 함량은 유충이 섭취하는 물질의 성분에 따라 달라지지만, 건조 방식에 의해서도 영양소의 물리적 반응이 발생하게 된다(Huang et al., 2019). 마이크로웨이브 건조(microwave drying) 방법은 일반적인 건조(conventional drying) 방법(60°C in a drying oven)에 비해 시간이 적게 들고 에너지 이용 효율 측면에서 많은 장점을 가지고 있어 제품의 대량생산에 유리하다(Khodifad and Dhamsaniya, 2020). 하지만, 마이크로웨이브 방식은 단백질 입자의 중합 반응(polymerization reaction)으로 인해 입자의 크기를 증가시키고 소화효소와의 접촉 면적을 감소시켜 소화율을 저하한다(Yamamoto et al., 2016; Huang et al., 2019).

이전 연구에 따르면, 동애등에 유충박은 소화가 잘 되지 않는 특성 때문에 성장률 측면에서 낮은 함량(10% 이하)을 급여하는 것이 적절하다고 보고 되었다(Dabbou et al., 2018). 따라서, 본 연구에서는 마이크로웨이브 방식으로 건조(microwave-dried) 및 압착하여 탈지한(press-defatted) 동애등에 유충박을 육계 사료 내 0, 2, 4, 6, 8% 급여하여 성장률 지표, 맹장 내 휘발성 지방산(volatile fatty acid) 및 혈액 생화학 분석을 통해 육계의 성장과 건강에 미치는 영향을 조사하여 적정 급여 비율을 알아보고자 하였다.

Materials and Methods

본 실험은 국립축산과학원 가금사육시설에서 진행하였으며, 동물실험윤리위원회의 승인을 받고 운영 규정을 준수하였다(No. NIAS-2020-498).

공시 동물, 사료 및 실험 설계

시험 동물은 1일령 육계(Ross 308) 250수를 공시하였으며 공시 체중(initial body weight)을 고려하여 펜(pen)당 5수씩 처리구당 10반복으로 배치하였다. 시험 기간은 총 5주이며 초이, 전기, 후기 세 구간으로 나누어 영양소 함량을 달리하여 시험 사료를 배합하였다. 시험 사료는 옥수수(corn)와 대두박(soybean meal) 위주의 배합사료를 급여하였으며 동애등에 유충박을 0 (HI0), 2 (HI2), 4 (HI4), 6 (HI6), 8% (HI8) 급여하였다. 동애등에 유충박 급여 비율이 증가함에 따라 다른 원료 사료(옥수수, 대두박, 대두유 등)의 비율을 달리하여 한국가금사양표준(NIAS, 2017) 영양소 요구량 이상으로 배합하였으며 물과 함께 자유채식하도록 급여하였다. 시험 사료의 원료 및 화학적 조성은 Table 1에 나타내었으며 동애등에 유충박과 대두박의 화학적 조성은 Table 2와 같다.

Table 1. Ingredients and chemical composition of the experimental broiler diets containing different level of *Hermetia illucens* larvae meal (HILM).

Items	Starter					Grower					Finisher				
	HI0	HI2	HI4	HI6	HI8	HI0	HI2	HI4	HI6	HI8	HI0	HI2	HI4	HI6	HI8
Ingredients (%)															
Corn	52.02	53.63	55.24	56.85	58.47	57.90	59.53	61.16	62.75	64.37	61.35	63.00	64.61	66.22	67.83
Soybean meal, 45%	35.33	32.35	29.37	26.40	23.43	30.35	27.37	24.38	21.43	18.45	28.53	25.53	22.55	19.57	16.59
HILM	0.00	2.00	4.00	6.00	8.00	0.00	2.00	4.00	6.00	8.00	0.00	2.00	4.00	6.00	8.00
Corn gluten meal	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
Soybean oil	5.00	4.60	4.20	3.80	3.40	4.30	3.90	3.50	3.10	2.70	4.00	3.60	3.20	2.80	2.40
Dicalcium phosphate	1.71	1.68	1.65	1.62	1.53	1.46	1.43	1.40	1.37	1.36	1.24	1.21	1.18	1.15	1.12
Limestone	0.74	0.54	0.35	0.15	0.00	0.84	0.62	0.42	0.22	0.00	0.90	0.68	0.48	0.29	0.10
L-lysine, 78%	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.14	0.15	0.15	0.15	0.15
DL-methionine	0.15	0.15	0.14	0.13	0.12	0.15	0.15	0.14	0.13	0.12	0.09	0.08	0.08	0.07	0.06
Salt	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
Vitamin-mineral premix ²	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
Calculated composition															
ME (kcal·kg ⁻¹)	3,109	3,109	3,109	3,110	3,110	3,135	3,136	3,136	3,136	3,137	3,147	3,148	3,148	3,148	3,148
Lysine (%)	1.42	1.42	1.42	1.42	1.42	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10
Methionine (%)	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42
Calcium (%)	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
Total phosphorus (%)	0.77	0.77	0.77	0.77	0.76	0.70	0.70	0.70	0.70	0.71	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64
Analyzed composition (%)															
Crude protein	23.68	23.46	23.37	23.57	23.55	22.07	21.81	21.56	21.84	21.89	19.75	19.52	19.88	19.82	19.41
Crude fat	6.77	6.92	6.62	6.79	6.19	8.06	7.42	7.30	7.64	7.60	6.74	6.64	6.35	6.01	6.46

HI0, HI2, HI4, HI6, and HI8: HI groups in which the soybean meal was replaced with 0, 2, 4, 6, and 8% of the HILM, respectively.

ME, metabolizable energy.

² Supplied per kilogram of diet: Vitamin A 1,600,000 IU; vitamin D3 300,000 IU; vitamin E 800 IU; vitamin K3 132 mg; vitamin B1 97 mg; vitamin B2 500 mg; vitamin B6 200 mg; vitamin B12 1.2 mg; nicotinic acid 2,000 mg; pantothenic acid 800 mg; folic acid 60 mg; choline chloride 35,000 mg; Mn 12,000 mg; Zn 9,000 mg; Fe 4,000 mg; Cu 500 mg; I 250 mg; Co 100 mg; Se 50 mg.

Table 2. Chemical composition of the *Hermetia illucens* larvae meal (HILM) and soybean meal.

Items	HILM	Soybean meal
Chemical composition (%)		
Dry matter	98.53	87.95
Crude protein	61.24	45.76
Ether extract	6.16	2.23
NDF	20.34	10.14
ADF	11.24	9.50
ADF-linked protein	5.54	3.46
Ash	14.98	5.52

NDF, neutral detergent fiber; ADF, acid detergent fiber.

동애등에 유충박을 가공하기 위해 세척 후 탈수한 동애등에 유충을 마이크로웨이브 건조기를 이용해 건조한 후 (70 - 80°C for 30 min), 냉압착 착유기(NF-80; Karaerler, Aankara, Turkey)를 사용해 탈지하였다(45 - 48°C). 탈지된 유충박은 다른 사료 원료와 섞일 수 있도록 분쇄하였다.

성장 성적, 샘플링 및 도계

육계의 일당증체량(average daily gain)과 일당사료섭취량(average daily feed intake)을 조사하여 사료요구율(feed conversion ratio)을 계산하였으며, 실험 마지막 날(35 days) pen 당 1수씩(10 broilers per treatment) 임의로 선발하여 익하정맥에서 채취한 혈액을 혈청 튜브에 옮긴 후 경정맥을 절단하여 도계하였다. 이 후, 맹장을 적출하여 내용물을 채취하고 액체질소 통에 옮겼다. 또한, 혈청 튜브를 15분간 원심분리(1,800 × g) 후 상층액을 다른 튜브에 옮겨 맹장액 샘플과 함께 분석 전까지 -80°C에 보관하였다.

휘발성 지방산 분석

대략 1 g의 맹장액 샘플을 증류수 1 mL과 희석하여 10분 동안 원심분리(5,000 × g) 하였다. 상층액을 다른 튜브에 옮기고 metaphosphoric acid를 200 µL 넣어 다시 10분간 원심분리(5,000 × g) 하였다. 이 후, 상층액을 capillary column (15 m × 0.53 mm × 0.5 µm; Supelco Inc., Bellefonte, PA, USA)을 사용하여 가스 크로마토그래피(6890N Agilent Technologies, Waldbronn, Germany)로 휘발성 지방산을 분석하였다.

혈액 생화학 분석

혈청 샘플 내 글루코오스(glucose), 총 단백(total protein), 알부민(albumin), 글로불린(globulin), 알부민/글로불린, 콜레스테롤(cholesterol), high-density lipoprotein cholesterol (HDL-C), low-density lipoprotein cholesterol (LDL-C), 트리글리세라이드(triglyceride), 인(phosphorus), 칼슘(calcium), aspartate aminotransferase (AST), alanine aminotransferase (ALT), gamma-glutamyl transferase (GGT), alkaline phosphatase (ALP), 총 빌리루빈(total bilirubin), 혈중요소질소(blood urea nitrogen), 크레아티닌(creatinine), 크레아틴 인산화효소(creatine phosphokinase)를 혈액 생화학 분석기(Catalyst Dx; IDEXX Labs Inc., Westbrook, USA)를 사용하여 분석하였다.

통계 분석

통계 처리는 SAS프로그램(SAS, 2009)을 사용하여 GLM procedures를 통해 실시하였고 각 처리구 평균 간의 차이를 비교하기 위해 Tukey's test를 사용하였다. 또한, orthogonal polynomial contrasts 방법을 사용하여 각 처리구 평균값의 선형 효과(linear effect)와 2차효과(quadratic effect)를 분석하였다. 성장 지표를 분석하기 위해 실험 단위(experimental unit)로 각 pen (n = 10 per treatment)을 이용하였고 휘발성 지방산과 혈액 생화학을 분석하기 위해 하나의 개체(broiler, n = 10 per treatment)를 실험 단위로 이용하였다. 결과 값은 평균과 standard error of the means (SEM)로 표기하였으며 유의성 검정은 95% 유의수준으로 분석하였다.

Results and Discussion

본 연구에서 동애등에 유충박의 급여 비율이 증가할수록 성장률에 부정적인 영향을 미쳤다(Table 3). 실험 마지막 날(35 days)에 생체중(final live weight)을 측정된 결과 급여 비율이 증가함에 따라 유의적으로($p < 0.01$) 감소하였으며, 이에 따라 일당증체량 또한 감소하였다($p < 0.01$). 사료요구율을 처리구간 비교한 결과 급여 비율의 증가에 따라 증가하였지만($p < 0.05$), 4%까지 급여 시 통계적으로 사료요구율의 차이는 없었다. 하지만, HI0과 HI4 처리구의 일당증체량을 비교한 결과 HI4 처리구가 낮았으며 이러한 결과는 낮은 함량(2%)의 급여가 4% 급여보다 적절하다고 판단된다. 이전 연구에 의하면 동애등에 유충박을 10%까지 급여하였을 때 도체중의 차이가 없었고 대두박을 대체할 수 있는 것으로 보고되었다(Schiavone et al., 2019). 하지만, 본 연구에서 사용된 동애등에 유충박은 마이크로웨이브로 유충을 건조 후 압착 방식으로 가공한 원료이다. 서로 다른 동애등에 유충박의 가공 및 건조 방식 차이에 의한 단백질의 구조적 변화로 인해 성장성 측면에서 대체 가능한 수준이 떨어지는 것으로 판단된다(Huang et al., 2019). 또한, 유충의 외골격에 존재하는 키틴은 단백질과 결합하여 소화가 되지 않게 방해하는 역할을 한다(Borrelli et al., 2017; Marono et al., 2017). 이러한 키틴의 특성과 건조 방식에 의한 단백질의 구조적 변화로 인해 소화율이 저하되었을 것이며 동애등에 유충박 급여 수준의 증가에 따라 성장률에 부정적인 영향을 끼친 것으로 판단된다. 하지만, 본 연구에서 동애등에 유충박 급여시 맹장 내 총 휘발성지방산 함량이 유의적으로($p < 0.01$) 증가하였으며(Table 4) 이러한 결과는 소화가 되지 않는 키틴의 특성 때문인 것으로 보인다(Cutrignelli et al., 2018). 유충박 급여 비율이 증가함에 따라 총 휘발성지방산 함량이 증가하였으며($p < 0.01$) 이는 동애등에 유충박이 장 발달에 긍정적인 효과를 준 것으로 해석된다.

Table 3. Effect of the dietary *Hermetia illucens* larvae meal (HILM) inclusion level on the growth performance in broilers.

Items	Dietary treatment ²					SEM	Diet	p-value	
	HI0	HI2	HI4	HI6	HI8			Contrast analysis	
								Linear	Quadratic
IBW (g, d 1)	39.32	39.44	39.30	39.40	39.34	0.21	0.9892	0.9471	0.6187
FBW (g, d 35)	1,706.14a	1,611.52a	1,505.08b	1,498.30b	1,397.49c	24.50	<0.0001	<0.0001	0.8447
ADFI (g)	64.85a	61.83a	59.02b	59.98b	55.69c	0.83	<0.0001	<0.0001	0.8474
ADG (g)	47.62a	44.92ab	41.88b	41.68b	38.80c	0.70	<0.0001	<0.0001	0.9224
FCR (g·g ⁻¹)	1.36c	1.38bc	1.41abc	1.44a	1.44ab	0.02	0.0016	0.0298	0.6069

IBW, initial body weight; FBW, final body weight; ADFI, average daily feed intake; ADG, average daily gain; FCR, feed conversion ratio; SEM, standard error of the means.

² HI0, HI2, HI4, HI6, and HI8: HI groups in which the soybean meal was replaced with 0, 2, 4, 6, and 8% of the HILM, respectively.

a - c: Means with different letters are significantly different ($p < 0.01$).

Table 4. Volatile fatty acids (VFAs) levels in the cecal contents of broilers fed *Hermetia illucens* larvae meal (HILM).

Items	Dietary treatment ²					SEM	Diet	p-value	
	HI0	HI2	HI4	HI6	HI8			Contrast analysis	
								Linear	Quadratic
Absolute value (mmol·g ⁻¹)									
Acetate	47.25c	70.91bc	94.65ab	119.53a	91.87ab	8.26	<0.0001	<0.0001	0.0031
Propionate	3.58	6.50	6.97	4.59	2.50	1.22	0.0748	0.3007	0.0093
Butyrate	6.22b	9.00b	11.86ab	16.02a	7.93b	1.39	0.0004	0.0255	0.0006
Valerate	1.79	1.84	2.21	2.10	1.82	0.13	0.1472	0.5429	0.0562
Total VFAs	57.95c	88.25bc	115.69ab	142.24a	103.81ab	9.97	<0.0001	<0.0001	0.0010

IBW, initial body weight; FBW, final body weight; ADFI, average daily feed intake; ADG, average daily gain; FCR, feed conversion ratio; SEM, standard error of the means.

² HI0, HI2, HI4, HI6, and HI8: HI groups in which the soybean meal was replaced with 0, 2, 4, 6, and 8% of the HILM, respectively.

a - c: Means with different letters are significantly different ($p < 0.01$).

동애등에 유충박 급여에 따른 육계의 건강에 미치는 효과를 알아보기 위하여 혈액 생화학 분석을 하였다(Table 5). 혈청 내 글루코오스, 단백질 및 지방 관련 지표를 분석한 결과 triglyceride 수치가 급여 비율의 증가에 따라 유의적으로 증가하였다($p < 0.05$). 이전 연구에 의하면 산란계에게 동애등에 유충박 급여 시 혈중 콜레스테롤과 triglyceride 수치를 감소 시켰으며 이는 키틴에 의한 효과라고 설명하였다(Marano et al., 2017; Bovera et al., 2018). 하지만, 본 연구에서 상반되는 결과를 보여주었으며 triglyceride 수치는 급여 비율에 따라 증가하였다($p < 0.05$). 이러한 결과는 동애등에 유충박과 대두박의 지방산 조성에 의한 차이로 볼 수 있다. 대두박은 불포화지방산(unsaturated fatty acid) 함량이 높은 반면에 동애등에 유충박의 경우 포화지방산(saturated fatty acid) 함량이 높고 불포화지방산이 낮은 특성을 가지고 있으며 포화지방산 중에서 lauric acid (C12:0)와 같은 중쇄지방산(medium-chain fatty acid) 함량이 높다(Schiavone et al., 2019; Kim et al., 2020a; Kim et al., 2020b). 중쇄지방산은 장쇄지방산(long-chain fatty acid)에 비해 사슬이 짧아 간문맥(portal vein)을 통한 흡수가 빠르며 혈중 LDL-C 수치를 낮추고 triglyceride 수치를 증가시키는 역할을 한다(Baltić et al., 2017; Hanczakowska, 2017). 따라서, 대두박에 비해 상대적으로 높은 동애등에 유충박의 중쇄지방산 함량 때문에 혈중 triglyceride 수치가 높아진 것으로 판단된다. 하지만, 본 연구결과에서 총 콜레스테롤(total cholesterol) 함량은 유충박 함량이 증가할수록 증가하는 경향을 보였지만 처리구간 유의적인 차이는 없었다. 이전 연구에 따르면, 동애등에 유충유와 비슷한 지방산 조성(높은 중쇄지방산 함량)을 가지고 있는 코코넛 오일(coconut oil)을 육계에게 급여시 혈액 내 total cholesterol과 HDL-C 수치가 높아지는 결과를 보여주었다(Kim et al., 2020c). 하지만, 동애등에 유충유 급여 시 total cholesterol 및 HDL-C 수치가 영향을 주지 않았으며 이는 서로 다른 지질 대사에 의한 차이와 코코넛 오일에 비해 상대적으로 높은 linolenic acid 함량에 의한 혈중 콜레스테롤 저하효과(hypocholesterolemic effect) 때문인 것으로 보인다(Kim et al., 2020c).

Table 5. Effect of dietary *Hermetia illucens* larvae meal (HILM) inclusion level on the serum glucose, proteins, and lipids in broilers.

Items	Dietary treatment ²					SEM	Diet	p-value	
	HI0	HI2	HI4	HI6	HI8			Contrast analysis	
								Linear	Quadratic
Glucose (mg·dL ⁻¹)	251.57	243.43	216.86	265.00	270.11	21.97	0.551	0.438	0.268
Proteins (g·dL ⁻¹)									
Total proteins	2.59	2.66	3.27	2.81	3.79	0.48	0.429	0.129	0.712
Albumin	1.30	1.30	1.63	1.39	1.90	0.24	0.401	0.128	0.649
Globulin	1.89	0.96	2.67	2.65	4.21	0.97	0.501	0.115	0.575
A/G	1.47	1.24	1.29	1.68	2.13	0.32	0.338	0.114	0.195
Lipids (mg·dL ⁻¹)									
Cholesterol	120.43	135.57	121.43	153.75	173.00	18.18	0.268	0.054	0.467
HDL-C	92.57	104.43	84.86	103.50	106.67	13.80	0.823	0.565	0.714
LDL-C	29.00	25.57	24.14	37.25	34.89	4.82	0.328	0.162	0.403
TG	18.14	15.00	19.43	22.00	54.11	10.39	0.084	0.032	0.116

A/G, albumin to globulin ratio; HDL-C, high-density lipoprotein cholesterol; LDL-C, low-density lipoprotein cholesterol; TG, triglycerides; SEM, standard error of the means.

² HI0, HI2, HI4, HI6, and HI8: HI groups in which the soybean meal was replaced with 0, 2, 4, 6, and 8% of the HILM, respectively.

실험 전체 기간 동안 실험 동물들의 건강상태는 외관적으로 이상이 없었으며 간, 신장 및 근육 기능 지표를 통해 확인하였다(Table 6). 간기능 지표인 AST, ALT, GGT, ALP, 총 빌리루빈 수치를 측정된 결과 처리구간 유의적인 차이는 없었으며 신장과 근육 기능 지표인 혈중요소질소, 크레아티닌 및 크레아틴 인산화효소 수치도 처리구간 유의적인 차이를 보이지 않았다. 하지만, 급여 비율의 증가에 따라 혈중 인 수치는 감소하였지만, 칼슘 수치는 역으로 증가하였다($p < 0.05$). 이전 연구결과에 의하면 동애등에 유충박을 급여한 육계의 혈중 인은 증가하였으며 이는 동애등에 유충 내 존재하는 인이 생체 이용률이 높기 때문이라고 추정되었다(Dabbou et al., 2018). 하지만, 본 연구 결과는 상반되는 결과를 보여주었으며 그 이유는 동애등에 유충박 내 키틴의 구조적 특성으로 판단된다. 키틴의 디아세틸화(deacetylation) 과정에 의해 생성되는 키토산(chitosan)은 아민기(-NH₂)를 가지고 있어 인과 결합하는 특성을 가지고 있다(Pap et al., 2020). 이전 연구에 의하면, 키토산을 rats에게 급여 시 혈중 인이 감소하였으며(Baxter et al., 2000) 본 연구에서 혈중 인이 감소한 이유는 키틴과 키토산의 비슷한 구조로 인한 것으로 볼 수 있다. 또한, 혈중 칼슘 농도가 높을 경우 부갑상선 호르몬(parathyroid hormone)의 분비가 감소하게 되고 이는 혈중 인 수치를 감소시키게 된다(Sun et al., 2020). 따라서, 혈중 칼슘과 인은 서로 반대로 작용하며 본 연구에서 칼슘과 인의 상반되는 결과는 혈중 인 수치의 감소에 따른 호르몬에 의한 조절때문으로 판단된다(Sun et al., 2020).

Table 6. Effect of dietary *Hermetia illucens* larvae meal (HILM) inclusion level on the electrolytes, liver, renal, and muscle function in broilers.

Items	Dietary treatment ^z					SEM	Diet	p-value	
	HI0	HI2	HI4	HI6	HI8			Contrast analysis	
								Linear	Quadratic
Electrolytes									
Phosphorus (U·L ⁻¹)	7.49a	5.76ab	5.39ab	6.36ab	4.26b	0.60	0.014	0.006	0.799
Calcium (mg·dL ⁻¹)	10.29	10.14	8.67	11.90	14.09	1.26	0.069	0.036	0.078
Liver function									
AST (U·L ⁻¹)	298.29	217.43	241.71	243.00	346.22	41.12	0.239	0.391	0.048
ALT (U·L ⁻¹)	0.86	1.29	1.14	2.88	1.67	0.73	0.424	0.205	0.642
GGT (U·L ⁻¹)	17.14	13.86	12.71	16.00	22.38	2.49	0.096	0.132	0.021
ALP (U·L ⁻¹)	1,814.57	1,503.43	1,641.00	2,055.13	1,855.89	409.87	0.925	0.652	0.767
Total bilirubin (mg·dL ⁻¹)	0.21	0.07	0.09	0.08	0.10	0.04	0.142	0.109	0.079
Renal and muscle function									
BUN (mg·dL ⁻¹)	0.51	0.53	0.77	0.66	0.63	0.15	0.827	0.479	0.487
Creatinine (mg·dL ⁻¹)	0.36	0.35	0.30	0.39	0.44	0.04	0.308	0.172	0.158
CPK (U·L ⁻¹)	5,423.57	3,513.49	3,371.47	3,815.51	4,066.09	805.72	0.529	0.385	0.146

AST, aspartate aminotransferase; ALT, alanine aminotransferase; GGT, gamma-glutamyl transferase; ALP, alkaline phosphatase; BUN, blood urea nitrogen; CPK, creatine phosphokinase; SEM, standard error of the means.

^zHI0, HI2, HI4, HI6, and HI8: HI groups in which the soybean meal was replaced with 0, 2, 4, 6, and 8% of the HILM, respectively.

a, b: Means with different letters are significantly different ($p < 0.05$).

Conclusion

육계 사료 내 동애등에 유충박 급여 비율(0, 2, 4, 6, 8%)에 따른 생산성 및 건강에 미치는 영향을 조사해 본 결과 급여 비율이 증가함에 따라 맹장 내용물의 휘발성지방산 수치가 증가하였으며 이는 장 발달에 긍정적인 역할을 한 것으로 보인다. 또한, 혈액 생화학 분석을 통해 동애등에 유충박 급여가 육계의 건강에 부정적인 영향을 끼치지 않는다는 것을 확인할 수 있었다. 생산성 측면에서 낮은 함량(4% 이하)을 급여하였을 때 사료요구율은 차이가 없었으나 일당중체량과 사료섭취량이 감소하였기 때문에 2%이하로 급여하는 것이 바람직해 보인다. 따라서, 동애등에 유충박의 체내 이용 효율을 높이기 위한 유충박 건조 및 가공 방법의 개선이 필요해 보이며 이에 대한 추가 연구가 필요하다.

Conflict of Interests

No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

Acknowledgements

본 연구는 농촌진흥청 연구사업(세부과제명: 유용곤충 가공 사료소재별 닭 이용성 평가, 세부과제번호: PJ01456002)의 지원과 2021년도 농촌진흥청 국립축산과학원 전문연구원 과정 지원사업에 의해 수행되었습니다.

Authors Information

Byeonghyeon Kim, <https://orcid.org/0000-0003-4651-6857>

Hye Ran Kim, <https://orcid.org/0000-0003-2207-3668>

Jin Young Jeong, <https://orcid.org/0000-0002-8670-7036>

Kwanho Park, Industrial Insect Division, National Institute of Agricultural Sciences, Researcher

Sang Yun Ji, <https://orcid.org/0000-0001-7235-3655>

Seol Hwa Park, <https://orcid.org/0000-0002-7218-8212>

References

- Baltić B, Starčević M, Dordević J, Mrdović B, Marković R. 2017. Importance of medium chain fatty acids in animal nutrition. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 85:012048.
- Baxter J, Shimizu F, Takiguchi Y, Wada M, Yamaguchi T. 2000. Effect of iron (III) chitosan intake on the reduction of serum phosphorus in rats. Journal of Pharmacy and Pharmacology 52:863-874.
- Borrelli L, Coretti L, Dipineto L, Bovera F, Menna F, Chiariotti L, Nizza A, Lembo F, Fioretti A. 2017. Insect-based diet, a promising nutritional source, modulates gut microbiota composition and SCFAs production in laying hens. Scientific Reports 7:1-11.
- Bovera F, Loponte R, Pero ME, Cutrignelli MI, Calabrò S, Musco N, Vassalotti G, Panettieri V, Lombardi P, Piccolo G, Di Meo C, Siddi G, Fliegerova K, Moniello G. 2018. Laying performance, blood profiles, nutrient digestibility and inner organs traits of hens fed an insect meal from *Hermetia illucens* larvae. Research in Veterinary Science 120:86-93.
- Bovera F, Piccolo G, Gasco L, Marono S, Loponte R, Vassalotti G, Mastellone V, Lombardi P, Attia YA, Nizza A. 2015. Yellow mealworm larvae (*Tenebrio molitor*, L.) as a possible alternative to soybean meal in broiler diets. British Poultry Science 56:569-575.
- Cutrignelli MI, Messina M, Tulli F, Randazzi B, Olivotto I, Gasco L, Loponte R, Bovera F. 2018. Evaluation of an insect meal of the black soldier fly (*Hermetia illucens*) as soybean substitute: Intestinal morphometry, enzymatic and microbial activity in laying hens. Research in Veterinary Science 117:209-215.
- Dabbou S, Gai F, Biasato I, Capucchio MT, Biasibetti E, Dezzutto D, Meneguz M, Plachà I, Gasco L, Schiavone A. 2018. Black soldier fly defatted meal as a dietary protein source for broiler chickens: Effects on growth performance, blood traits, gut morphology and histological features. Journal of Animal Science and Biotechnology 9:1-10.
- Hanczakowska E. 2017. The use of medium-chain fatty acids in piglet feeding – A review. Annals of Animal Science 17:967-977.

- Huang C, Feng W, Xiong J, Wang T, Wang W, Wang C, Yang F. 2019. Impact of drying method on the nutritional value of the edible insect protein from black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) larvae: Amino acid composition, nutritional value evaluation, *in vitro* digestibility, and thermal properties. *European Food Research and Technology* 245:11-21.
- Khodifad BC, Dhamsaniya NK. 2020. Drying of food materials by microwave energy – A review. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences* 9:1950-1973.
- Kim B, Bang HT, Jeong JY, Kim MJ, Kim KH, Chun JL, Reddy KE, Ji SY. 2020a. Effects of black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) oil on cecal microbiota in broilers. *Korean Journal of Agricultural Science* 47:219-227. [in Korean]
- Kim B, Bang HT, Kim KH, Kim MJ, Jeong JY, Chun JL, Ji SY. 2020b. Evaluation of black soldier fly larvae oil as a dietary fat source in broiler chicken diets. *Journal of Animal Science and Technology* 62:187-197.
- Kim YB, Kim DH, Jeong SB, Lee JW, Kim TH, Lee HG, Lee KW. 2020c. Black soldier fly larvae oil as an alternative fat source in broiler nutrition. *Poultry Science* 99:3133-3143.
- Longvah T, Mangthya K, Ramulu P. 2011. Nutrient composition and protein quality evaluation of eri silkworm (*Samia ricinii*) prepupae and pupae. *Food Chemistry* 128:400-403.
- Marono S, Loponte R, Lombardi P, Vassalotti G, Pero ME, Russo F, Gasco L, Parisi G, Piccolo G, Nizza S, Di Meo C, Attia YA, Bovera F. 2017. Productive performance and blood profiles of laying hens fed *Hermetia illucens* larvae meal as total replacement of soybean meal from 24 to 45 weeks of age. *Poultry Science* 96:1783-1790.
- NIAS (National Institute of Animal Science). 2017. Korean feeding standard for poultry. 3rd. NIAS, RDA, Wanju, Korea. [in Korean]
- Pap S, Kirk C, Bremner B, Turk Sekulic M, Gibb SW, Maletic S, Taggart MA. 2020. Synthesis optimisation and characterisation of chitosan-calcite adsorbent from fishery-food waste for phosphorus removal. *Environmental Science and Pollution Research* 27:9790-9802.
- SAS (Statistical Analysis System). 2009. SAS user's guide. Version 9.4. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.
- Schiavone A, Dabbou S, Petracci M, Zampiga M, Sirri F, Biasato I, Gai F, Gasco L. 2019. Black soldier fly defatted meal as a dietary protein source for broiler chickens: Effects on carcass traits, breast meat quality and safety. *Animal* 13:2397-2405.
- Sprangers T, Ottoboni M, Klootwijk C, Ovyn A, Deboosere S, De Meulenaer B, Michiels J, Eeckhout M, De Clercq P, De Smet S. 2017. Nutritional composition of black soldier fly (*Hermetia illucens*) prepupae reared on different organic waste substrates. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 97:2594-2600.
- Sun M, Wu X, Yu Y, Wang L, Xie D, Zhang Z, Chen L, Lu A, Zhang G, Li F. 2020. Disorders of calcium and phosphorus metabolism and the proteomics/metabolomics-based research. *Frontiers in Cell and Developmental Biology* 8:576110.
- Surendra KC, Olivier R, Tomberlin JK, Jha R, Khanal SK. 2016. Bioconversion of organic wastes into biodiesel and animal feed via insect farming. *Renewable Energy* 98:197-202.
- Wise TA. 2013. Can we feed the world in 2050? A scoping paper to assess the evidence. *Global Development and Environment Institute* 13:1-38.
- Yamamoto A, Ono K, Machino E, Takasu M, Imaeda N. 2016. Effect of particle size of brown rice on digestibility of energy and crude protein in growing-finishing Pigs. *Nihon Yoton Gakkaishi* 53:137-142.