

ANIMAL

Carcass traits, meat quality, and fatty acid profiles of broiler chickens fed diets with increasing inclusion levels of microwave-dried black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal

Byeonghyeon Kim, Minji Kim, Hye Ran Kim, Jin Young Jeong, Hyunjung Jung, Seol Hwa Park*

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

*Corresponding author: shwa6560@korea.kr

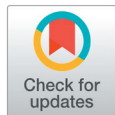
Abstract

The present study investigates the effects of different inclusion levels of a microwave-dried black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal (HILM) on the carcass characteristics, breast meat quality, and fatty acid profiles of leg meat in broiler chickens. A total of 150 male broilers were randomly assigned to three dietary treatment groups (10 replicates·treatment⁻¹ and 5 birds·replicate⁻¹). HILM was included at increasing levels (0, 2, and 4%; CON, 2HILM, and 4HILM, respectively) in diets formulated for three feeding phases: starter (1 - 7 d), grower (7 - 21 d), and finisher (21 - 35 d). One bird per replicate was slaughtered at d 35; the carcasses and organs were weighed, and breast and leg meats were excised for a meat analysis. A linear decrease ($p < 0.01$) was observed for live and carcass weights for the whole period of the experiment, with no difference between the CON and 2HILM groups. Broilers fed HILM showed no significant differences in meat quality parameters, except for an increase in yellowness (b^*) in the 2HILM and 4HILM groups compared to the CON group ($p < 0.01$). With an increase in the HILM inclusion level, the proportion of saturated fatty acids (SFAs) such as lauric, myristic, stearic, arachidic, and heneicosylic acids showed a linear increase ($p < 0.01$); however, total SFA, monounsaturated fatty acid, and polyunsaturated fatty acid did not differ among the dietary treatments. Thus, microwave-dried HILM can be considered as a possible alternative ingredient to soybean meal in broiler diets up to a 2% inclusion level.

Key words: black soldier fly larvae, broiler, fatty acid profile, meat quality

Introduction

2050년 인구 수가 90억명을 돌파할 것으로 전망되며 이에 따른 식량문제와 유기성 폐기물 처리 문제가 발생할 것으로 보인다(Wise, 2013). 또한 인구 증가는 육류 소비를 증가시키고 가축 사료 내 옥수수과 대두박과 같은 원료 사용을 증가시킬 수 있다(Cullere et al., 2016). 대두박의 경우 전 세계적으로 가축 생산에 필요한 단백질 원료로써 사용되고 있으며 수요 증가에 따라 가격이 증가하고 있다(Marano et al., 2015). 이러한 문제를 해결하기 위한 대체 단백질 자



OPEN ACCESS

Citation: Kim B, Kim M, Kim HR, Jeong JY, Jung H, Park SH. Carcass traits, meat quality, and fatty acid profiles of broiler chickens fed diets with increasing inclusion levels of microwave-dried black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal. Korean Journal of Agricultural Science 49:249-257. <https://doi.org/10.7744/kjoas.20220022>

Received: February 24, 2022

Revised: April 12, 2022

Accepted: April 26, 2022

Copyright: © 2022 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.

원으로 곤충이 각광받고 있으며 가금을 활용한 실험이 진행되었다(Bovera et al., 2015; 2016; Park et al., 2021).

곤충 중에서 동애등에(*Hermetia illucens*, HI) 유충박(HI larvae meal, HILM)은 대두박에 비해 높은 단백질 함량 때문에 대체 자원으로 사용 될 수 있을 것으로 보인다(De Marco et al., 2015; Kim et al., 2021a). 하지만, 유충 외골격 세포 벽을 구성하는 키틴은 소화관 내에서 단백질의 소화를 방해하는 역할을 한다(Nafisah et al., 2019). 이러한 항영양 특성 때문에 산란계 사료 내 대두박을 100% 대체하였을 경우 산란 성적이 감소하였으며 낮은 함량(7% 이하)으로 급여하는 것이 단백질 소화율 측면에서 바람직하다고 보고되었다(Bovera et al., 2018; Liu et al., 2021; Park et al., 2021). 뿐만 아니라 육계 사료 내 HILM을 20% 첨가한 결과 생산성 및 도체중이 감소하였으며(Murawska et al., 2021) 사료 내 유충박을 10% 이하로 첨가 및 급여하는 것이 생산성 측면에서 부정적인 영향이 없다고 보고되었다(Dabbou et al., 2018). HILM의 사료 내 첨가 비율 증가는 생산성 저하 문제뿐만 아니라 계육 및 계란과 같은 동물성 식품의 지방산 조성에도 영향을 미치게 된다(Schiavone et al., 2019; Kim et al., 2021b; Park et al., 2021). 특히, HILM의 지방산 조성은 대두박에 비해 포화지방산(saturated fatty acid, SFA)이 높고 다가불포화지방산(polyunsaturated fatty acid, PUFA) 함량이 낮다(Schiavone et al., 2019; Kim et al., 2021b). 이러한 지방산 조성 특성 때문에 사료 내 HILM첨가 비율의 증가에 따라 가슴육의 SFA 함량이 증가하고 PUFA 함량은 감소하게 된다(Schiavone et al., 2019).

본 연구에서 사용된 HILM은 마이크로웨이브 건조 방식으로 가공되었으며 이전 연구와는 다른 건조 방식을 사용하였다. 하지만, 마이크로웨이브 건조 방식으로 생산된 HILM을 육계 사료 내 첨가 및 급여하였을 때 도체 특성 및 계육 품질에 미치는 영향에 대한 연구가 부족하다. 따라서 본 연구에서는 대두박을 HILM로 대체하여 육계 사료 내 낮은 함량(0%, 2% 및 4%)으로 첨가하였을 때 도체 특성, 가슴육 품질 및 다리육 지방산 조성에 미치는 영향을 알아보고자 하였다.

Materials and Methods

본 연구는 동물실험윤리위원회 승인을 받았으며(No. NIAS-2020-498) 국립축산과학원 내 동물사육시설에서 진행되었다.

공시 동물, 실험 사료 및 설계

본 연구에서 사용된 HILM은 세척한 유충을 탈수 한 후 마이크로웨이브 건조기로 건조 후(70 - 80°C) 냉압착 착유기로(NF-80; Karaerler, Aankara, Turkey) 탈지하여(45 - 48°C) 다른 사료 원료들과 혼합하기 위해 분쇄하였다.

1일령 육계(Ross 308) 150수를 공시하여 개시 체중을 고려하여 대조구와 두 처리구 총 세 그룹으로 그룹당 10반복 한 펜당 5수씩 배치하였다. 본 실험은 총 5주 동안 진행되었으며 초이(1 - 7 d), 전기(7 - 21 d) 및 후기(21 - 35 d) 총 세 단계로 나누고 각 단계별 영양소 요구량을 달리하여 옥수수과 대두박 위주로 사료를 배합하였다(NIAS, 2017). 또한 대두박을 대체하기 위해 HILM을 2%와 4%를 첨가하고자 영양소 요구량을 고려하여 다른 원료사료의 비율을 조정하였다. 사료는 물과 함께 자유채식하도록 하였으며 사료 원료 및 화학적 조성을 Table 1에 나타내었다.

도계 및 도체 특성

실험 마지막 날(35일령) 펜 당 1수씩(10반복) 총 30수를 처리구별 평균 체중을 고려 및 선발하여 도계하였다. 도계 전 생체중을 측정하고 머리, 발 및 내장을 제거한 후 도체, 간, 심장, 비장 및 F낭 무게를 측정하였다. 측정된 도체 및 내장 무게는 생체중 대비 수율 및 무게로 계산하였다.

Table 1. Ingredients and nutritional value of the experimental diets containing different levels of *Hermetia illucens* larvae meal (HILM).

Item	Starter			Grower			Finisher		
	CON	2HILM	4HILM	CON	2HILM	4HILM	CON	2HILM	4HILM
Ingredients (%)									
Corn	52.02	53.63	55.24	57.90	59.53	61.16	61.35	63.00	64.61
Soybean meal, 45%	35.33	32.35	29.37	30.35	27.37	24.38	28.53	25.53	22.55
HILM	0.00	2.00	4.00	0.00	2.00	4.00	0.00	2.00	4.00
Corn gluten meal	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	3.00	3.00	3.00
Soybean oil	5.00	4.60	4.20	4.30	3.90	3.50	4.00	3.60	3.20
Dicalcium phosphate	1.71	1.68	1.65	1.46	1.43	1.40	1.24	1.21	1.18
Limestone	0.74	0.54	0.35	0.84	0.62	0.42	0.90	0.68	0.48
L-lysine, 78%	0.30	0.30	0.30	0.25	0.25	0.25	0.14	0.15	0.15
DL-methionine	0.15	0.15	0.14	0.15	0.15	0.14	0.09	0.08	0.08
Salt	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
Calculated composition									
ME (kcal·kg ⁻¹)	3,109	3,109	3,109	3,135	3,136	3,136	3,147	3,148	3,148
Lysine (%)	1.42	1.42	1.42	1.25	1.25	1.25	1.10	1.10	1.10
Methionine (%)	0.52	0.52	0.52	0.50	0.50	0.50	0.42	0.42	0.42
Calcium (%)	0.96	0.96	0.96	0.90	0.90	0.90	0.85	0.85	0.85
Total phosphorus (%)	0.77	0.77	0.77	0.70	0.70	0.70	0.64	0.64	0.64
Analyzed composition (%)									
Crude protein	23.68	23.46	23.37	22.07	21.81	21.56	19.75	19.52	19.88
Crude fat	6.77	6.92	6.62	8.06	7.42	7.30	6.74	6.64	6.35

CON, control diet; 2 and 4HILM, HILM groups in which the soybean meal was replaced with 2 and 4% 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.

가슴육 화학적 조성 및 품질

가슴육 왼쪽 부위는 AOAC 분석방법을 통해 일반성분 분석에 사용되었고(Horwitz and Latimer, 2005) 오른쪽 부위는 품질 검사에 사용되었다. 육색은 서로 다른 두 부위에서 밝기(L*), 적색도(a*) 및 황색도(b*)를 측정하였으며(CR-20; Konica Minolta, Ramsey, NJ, USA) pH는 같은 대흉근(*pectoralis major*) 부위에서 측정하였다(AM-7; Nihonseiki Kaisha Ltd., Tokyo, Japan). 그 후 진공포장하여 가슴육 중심부 온도가 75°C에 도달하도록 항온수조에서 80°C로 가열하였다. 방냉 후 무게와 수분을 측정하여 가열 감량 및 보수력을 계산하였으며 직경 0.5인치로 잘라 전 단력을 측정하였다(Model 4465, Instron Corp., MA, USA).

다리육 지방산 조성

지방산 조성 분석은 이전 연구를 바탕으로 실시하였으며(Folch et al., 1957) 지질을 chloroform과 methanol을 2 : 1로 혼합한 유기용매로 추출하였으며 지방산 분석은 가스 크로마토그래피(Star 3600; Varian Technologies, Palo Alto, CA, USA)를 이용하였다. Column은 Omegawax 205 fused-silica bond capillary (30 m × 0.32 mm × 0.25 μm)를 사용하였으며 오븐 온도는 50°C로 1분 동안 유지시킨 후 1분에 25°C씩 200°C까지 올려주었다. 주입구와 검출기 온도는 각각 250°C와 260°C로 유지하였고 운반 기체로 질소(1 mL·min⁻¹)를 사용하였으며 샘플은 2 μL를 주입하였다.

통계 분석

실험 단위로 처리구별 하나의 개체(n = 10 per treatment)를 이용하였고 SAS 프로그램(SAS, 2009)의 GLM procedures를 사용하여 통계 처리를 하였다. 처리구간 평균 차이를 비교하고자 Tukey's test를 사용하였으며 평균값의 선형 효과(linear effect)와 2차 효과(quadratic effect)를 보기 위해 orthogonal polynomial contrasts 방법을 사용하였다. 결과 값은 평균과 표준오차(standard error of the means)로 표기하였고 유의성 검정은 95% 유의수준으로 분석하였다.

Results and Discussion

마이크로웨이브 건조 방식은 일반적인 열풍 건조 방식과 비교하였을 때 유충 외 주위의 공기와 벽을 가열하지 않기 때문에 에너지 효율이 높고 건조 시간을 절약할 수 있어 제품의 대량 생산이 가능하다는 장점이 있다 (Khodifad and Dhamsaniya, 2020). HILM은 대두박에 비해 상대적으로 높은 단백질 함량(61.24% vs. 45.76%) 때문에 가금 사료 내 대체 단백질 자원으로 활용 가능할 것으로 보인다. 하지만 HILM을 사료로 급여하였을 때 계육 품질에 미치는 영향과 이에 대한 소비자들의 인식을 개선하기 위한 연구가 필요하다.

본 연구에서 육계 사료 내 HILM의 급여 비율의 증가는 생체중 및 도체중에 부정적인 영향을 주었지만(Table 2) 장기 무게를 측정된 결과 간, 심장, 비장 및 F낭은 처리구간 차이가 없었다. 이전 연구결과에서도 HILM을 20%까지 급여하여도 장기 무게의 차이는 없었지만 30% 급여할 경우 간의 무게가 대조구에 비해 약 14.7% 증가하였다 (Murawska et al., 2021). 뿐만 아니라 본 연구에서는 측정하지 않았으나 HILM 첨가 비율이 증가할수록 복강 지방의 무게가 선형으로 증가하였으며 40% 첨가할 경우 약 2.25배 증가하였다(Schiavone et al., 2019; Murawska et al., 2021). 본 연구에서 HILM이 도체 특성에 미치는 영향을 분석한 결과 생체중과 도체중 모두 첨가 비율이 증가할수록 유의적으로 감소하였지만($p < 0.01$) 생체중 대비 도체중 비율은 처리구간 차이가 없었다. 그리고 생체중 및 도체중이 4HILM 처리구에서 CON과 2HILM 처리구에 비해 유의적으로 감소하였지만($p < 0.01$) CON 그룹과 2HILM 처리구간 유의적인 차이는 없었다. 이러한 체중 감소는 HILM 내 키틴에 의한 단백질 소화율 저하로 인한 것으로 판단되며(Bovera et al., 2018) 육계 사료 내 낮은 함량(2%)으로 급여하는 것이 바람직할 것으로 보인다. 이전 연구결과에 의하면 육계 사료 내 5%, 10% 및 15%를 급여하였을 때 15%를 급여할 경우 생체중과 도체중이 감소하였지만, 5%와 10%를 급여하여도 대조구와 차이가 없었으며(Schiavone et al., 2019) 다른 연구결과에서는 낮은 함량(5%)을 급여한 결과 생체중, 도체중 및 도체율이 오히려 증가하는 결과를 보여주었다(Popova et al., 2021). 반면에 메추리(broiler quails)에게 HILM을 15%까지 급여하여도 도체중 및 일당증체량은 처리구간 차이가 없었으며 이는 HILM의 체내 이용성이 종에 따라 다를 수 있다는 것을 알 수 있다(Cullere et al., 2016). 본 연구에서는 이전 연구에서 첨가한 비율보다 낮은 함량인 4%를 급여한 결과 도체중이 감소하였는데 이는 마이크로웨이브 건조에 의한 피가열물의 단백질 입자 중합반응으로 인해 증가한 입자 크기와 이로 인한 소화효소와의 접촉면적 감소로 인해 체내에서 단백질 소화율이 저하 된 것으로 판단된다(Huang et al., 2019). 따라서 마이크로웨이브 건조 방식으로 가공된 HILM의 체내 이용성 개선에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 보인다.

HILM의 급여가 가슴육 품질에 미치는 영향을 분석한 결과 pH, 가열감량, 보수력, 전단력 및 일반성분에 미치는 영향은 없었다(Table 3). 하지만 황색도(b*) 측정 결과 HILM 급여 비율 증가에 따라 선형으로 증가하였으며($p = 0.001$) 2HILM 처리구와 4HILM 처리구 모두 대조구에 비해 유의적으로 증가하였다($p = 0.002$). 이전 연구결과에 의하면 HILM 급여는 가슴육의 적색도(a*)를 증가시켰고(Kim et al., 2021b) 본 연구결과와는 반대로 황색도는 감소시켰다(Schiavone et al., 2019). 하지만 동애등에 유충유를 급여하였을 때에는 가슴육의 적색도는 차이가 없었으나 황색도가 증가하였으며(Kim et al., 2020) 다리육에서도 적색도는 차이가 없었고 황색도(b*)가 증가하는 경향을 보였다

(Cullere et al., 2019). 계육 뿐만 아니라 산란계 사료 내 HILM 급여는 난황의 적색도를 증가시켰으며 이러한 효과는 HILM 내 존재하는 카로티노이드(carotenoid) 성분으로 인한 것으로 판단된다(Secci et al., 2018; Park et al., 2021). 카로티노이드는 주황색 또는 노란색을 띠는 색소 성분으로 HILM 내 2.15 mg·kg⁻¹ 함유되어 있으며 그 중 루테인(lutein)은 1.15 mg·kg⁻¹, 제아잔틴(zeaxanthin)은 0.96 mg·kg⁻¹ 그리고 β-carotene이 0.04 mg·kg⁻¹ 함유되어 있다고 보고되었다(Secci et al., 2018).

Table 2. Effects of the dietary *Hermetia illucens* larvae meal (HILM) inclusion level on the carcass traits and relative weight (g·kg⁻¹) of the internal organs of broiler chickens at 35 d of age (10 replicates-treatment⁻¹).

Item	Dietary treatment			SEM	Diet	p-value	
	CON	2HILM	4HILM			Contrast analysis	
						Linear	Quadratic
Live weight, LW (kg)	1.84a	1.80a	1.71b	0.02	0.002	0.001	0.374
Carcass weight (kg)	1.31a	1.26ab	1.22b	0.02	0.008	0.002	0.984
Carcass weight (% LW)	71.24	70.17	71.23	0.56	0.313	0.992	0.131
Internal organs (g·kg ⁻¹ LW)							
Liver	18.83	19.50	20.42	0.55	0.147	0.053	0.851
Heart	5.67	5.74	6.52	0.31	0.127	0.068	0.369
Spleen	1.14	1.13	1.19	0.09	0.913	0.753	0.778
Bursa of Fabricius	2.89	2.73	2.91	0.19	0.787	0.958	0.496

CON, control diet; 2 and 4HILM, HILM groups in which the soybean meal was replaced with 2 and 4% of the HILM, respectively; SEM, standard error of the means.

a, b: Means with different letters in the same row are significantly different ($p < 0.01$).

Table 3. Effect of dietary *Hermetia illucens* larvae meal (HILM) inclusion level on the breast meat traits of broiler chickens (10 replicates-treatment⁻¹).

Item	Dietary treatment			SEM	Diet	p-value	
	CON	2HILM	4HILM			Contrast analysis	
						Linear	Quadratic
pH	5.91	5.85	5.85	0.03	0.089	0.058	0.253
Color							
Lightness, L*	54.10	55.55	55.39	0.78	0.365	0.252	0.402
Redness, a*	2.54	1.99	1.96	0.27	0.257	0.144	0.446
Yellowness, b*	10.33b	12.06a	12.84a	0.47	0.002	0.001	0.419
Cooking loss (%)	16.76	18.07	17.98	0.72	0.371	0.244	0.431
WHC (%)	61.20	62.29	62.39	0.44	0.130	0.069	0.376
Shear force (kg·0.5 inch ⁻²)	2.77	2.90	2.79	0.29	0.948	0.965	0.749
Moisture (%)	75.54	76.06	76.02	0.20	0.138	0.098	0.258
Protein (%)	23.01	22.88	22.84	0.18	0.766	0.487	0.838
Lipid (%)	1.75	1.34	1.52	0.15	0.168	0.288	0.116

CON, control diet; 2 and 4HILM, HILM groups in which the soybean meal was replaced with 2 and 4% of the HILM, respectively; SEM, standard error of the means; WHC, water holding capacity.

a, b: Means with different letters in the same row are significantly different ($p < 0.01$).

HILM을 가금에게 급여하였을 때 계육과 계란과 같은 동물성 식품에 미치는 영향에 대한 연구가 진행되었다(Cullere et al., 2018; Kim et al., 2021b; Park et al., 2021). HILM을 육계에게 급여하였을 때 가슴육의 물리 및 화학적 품질에 부정적인 영향이 없었으며(Schiavone et al., 2019) 산란계에게 급여하여도 계란 품질을 저하시키지 않았다(Park et al., 2021). 하지만 동태등에 유충의 경우 불포화지방산(unsaturated fatty acid, UFA) 함량이 다른 유충들(구더기, 갈색 거저리 및 귀뚜라미)에 비해 낮은 반면에(19 - 37% vs. 60 - 70%) SFA 함량이 58 - 72% 정도로 상대적으로 높다(Makkar et al., 2014; Schiavone et al., 2019). 뿐만 아니라 HILM의 지방산 조성의 경우 SFA 함량이 대두박에 비해 약 2.4배 높고

(55.15% vs. 22.89%) UFA 함량의 경우 대두박이 HILM 보다 약 2.76배 낮다(51.87% vs. 18.80%). 특히 SFA 중에서 중쇄지방산인 라우릭산(lauric acid) 함량이 약 30% 정도로 SFA 함량 중 대부분을 차지하고 있다(Kim et al., 2021b). 이러한 HILM의 지방산 조성은 가슴육 지방산 조성에 영향을 주었으며 급여 비율 증가에 따라 단일불포화지방산(monounsaturated fatty acid, MUFA) 함량이 증가하고 PUFA 함량을 감소시켰다(Schiavone et al., 2019). 본 연구에서 다리육의 지방산 조성을 분석한 결과(Table 4) HILM 급여 비율 증가에 따라 SFA 중에서 라우릭산(lauric acid), 미리스트산(myristic acid), 스테아르산(stearic acid) 및 아라키드산(arachidic acid) 함량이 선형으로 증가하였지만($p < 0.01$) 헨에이코실산(heneicosylic acid)은 선형으로 감소하였다($p = 0.0056$). 또한 MUFA인 미리스트올레산(myristoleic acid)과 팔미톨레산(palmitoleic acid) 함량은 선형으로 증가하였지만($p < 0.001$) PUFA인 도코사헥사엔산(docosahexaenoic acid)은 선형으로 감소하였다($p = 0.0029$). 하지만 총 SFA, MUFA 및 PUFA 함량은 처리구간 차이를 보이지 않았으며 이는 이전 연구에 비해 HILM 급여 비율이 상대적으로 낮았기 때문인 것으로 보인다(Schiavone et al., 2019).

Table 4. Effect of dietary *Hermetia illucens* larvae meal (HILM) inclusion level on the fatty acid profile in leg meat of broiler chickens (10 replicates·treatment⁻¹).

Item	Dietary treatment			SEM	p-value		
	CON	2HILM	4HILM		Diet	Contrast analysis	
						Linear	Quadratic
Fatty acids							
C12:0 (lauric)	0.11c	0.32b	0.67a	0.027	< 0.0001	< 0.0001	0.0404
C14:0 (myristic)	0.52c	0.58b	0.71a	0.015	< 0.0001	< 0.0001	0.0666
C15:0 (pentadecanoic)	0.08	0.08	0.08	0.004	0.6733	0.5977	0.4780
C16:0 (palmitic)	20.62	20.97	21.41	0.249	0.0976	0.0330	0.8707
C17:0 (magaric)	0.17	0.16	0.16	0.006	0.2928	0.1208	0.9438
C18:0 (stearic)	6.51b	6.16ab	5.64a	0.177	0.0062	0.0017	0.7136
C20:0 (arachidic)	0.10b	0.09ab	0.07a	0.007	0.0063	0.0016	0.7753
C21:0 (heneicosylic)	0.29a	0.28ab	0.25b	0.010	0.0186	0.0056	0.6599
C24:0 (lignoceric)	0.15	0.18	0.15	0.011	0.0812	1.0000	0.0264
Total SFA	28.56	28.81	29.13	0.342	0.5050	0.2478	0.9387
C14:1 (myristoleic)	0.11b	0.13b	0.17a	0.007	< 0.0001	< 0.0001	0.3624
C15:1 (pentadecenoic)	0.06	0.06	0.05	0.008	0.3817	0.2499	0.4402
C16:1 (palmitoleic)	3.86b	4.14b	4.97a	0.189	0.0008	0.0003	0.2430
C17:1 (magaoleic)	0.09	0.09	0.09	0.004	0.9802	0.8636	0.9210
C18:1 (oleic)	35.50	35.93	36.24	0.510	0.5986	0.3179	0.9192
C20:1 n-9 (eicosenoic)	0.26	0.25	0.24	0.006	0.0622	0.0216	0.6426
C22:1 n-9 (erucic)	0.06	0.07	0.04	0.012	0.1620	0.1450	0.2106
Total MUFA	39.94	40.66	41.79	0.649	0.1473	0.0542	0.8046
C18:2 n-6 (linoleic)	27.77	26.87	25.63	0.663	0.0903	0.0304	0.8405
C18:3 n-6 (γ-linolenic)	0.22	0.21	0.21	0.007	0.6818	0.6290	0.4695
C18:3 n-3 (linolenic)	2.13	2.02	2.02	0.056	0.3022	0.1839	0.4296
C20:2 n-6 (eicosadienoic)	0.19	0.20	0.18	0.010	0.3702	0.3450	0.2954
C20:4 n-6 (arachidonic)	0.79	0.84	0.72	0.052	0.2454	0.3084	0.1812
C20:5 n-3 (eicosapentaenoic)	0.10	0.11	0.08	0.012	0.1866	0.2605	0.1448
C22:2 n-6 (docosadienoic)	0.17	0.18	0.19	0.032	0.9295	0.7281	0.8802
C22:6 n-3 (docosahexaenoic)	0.13a	0.10ab	0.07b	0.014	0.0109	0.0029	0.9311
Total PUFA	31.50	30.53	29.09	0.757	0.0955	0.0327	0.8069
UFA/SFA	2.51	2.47	2.44	0.041	0.5085	0.2492	0.9922
n-6	29.15	28.30	26.93	0.696	0.0932	0.0323	0.7590
n-3	2.36	2.23	2.17	0.065	0.1248	0.0475	0.6656
n-6/n-3	12.38	12.73	12.46	0.124	0.1259	0.6720	0.0479

CON, control diet; 2 and 4HILM, HILM groups in which the soybean meal was replaced with 2 and 4% of the HILM, respectively; SFA, saturated fatty acid; MUFA, monounsaturated fatty acid; PUFA, polyunsaturated fatty acid; UFA, unsaturated fatty acid; SEM, standard error of the means.

a - c: Means with different letters in the same row are significantly different ($p < 0.05$).

Conclusion

육계 사료 내 HILM 급여 비율 증가에 따라 생체중과 도체중이 감소하는 부정적인 영향이 있었지만 낮은 함량 (2%) 급여시 도체특성, 가슴육 품질 및 다리육 지방산 조성에 부정적인 영향이 없었으므로 육계 사료 내 대두박 대체 단백질 원료로써 사용이 가능할 것으로 보인다. 하지만 HILM의 체내 이용성을 개선할 수 있는 추가적인 연구와 이를 통한 급여 비율을 증가시킬 수 있는 방안이 필요할 것으로 보인다.

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 2022년도 농촌진흥청 국립축산과학원 전문연구원 과정 지원사업에 의해 수행되었습니다.

Authors Information

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

Minji Kim, <https://orcid.org/0000-0003-2106-1921>

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

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

Hyunjung Jung, <https://orcid.org/0000-0002-7004-2017>

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

References

- Bovera F, Loponte R, Marono S, Piccolo G, Parisi G, Iaconisi V, Gasco L, Nizza A. 2016. Use of *Tenebrio molitor* larvae meal as protein source in broiler diet: Effect on growth performance, nutrient digestibility, and carcass and meat traits. *Journal of Animal Science* 94:639-647.
- Bovera F, Loponte R, Pero ME, Cutrignelli MI, Calabrò S, Musco N, Vassalotti G, Panettieri V, Lombardi P, Piccolo G, et al. 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.
- Cullere M, Schiavone A, Dabbou S, Gasco L, Zotte AD. 2019. Meat quality and sensory traits of finisher broiler chickens fed with black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) larvae fat as alternative fat source. *Animals* 9:140.
- Cullere M, Tasoniero G, Giaccone V, Acuti G, Marangon A, Dalle Zotte A. 2018. Black soldier fly as dietary protein source for broiler quails: Meat proximate composition, fatty acid and amino acid profile, oxidative status and sensory traits. *Animal* 12:640-647.

- Cullere M, Tasoniero G, Giaccone V, Miotti-Scapin R, Claeys E, De Smet S, Dalle Zotte A. 2016. Black soldier fly as dietary protein source for broiler quails: Apparent digestibility, excreta microbial load, feed choice, performance, carcass and meat traits. *Animal* 10:1923-1930.
- 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.
- De Marco M, Martínez S, Hernandez F, Madrid J, Gai F, Rotolo L, Belforti M, Bergero D, Katz H, Dabbou S, et al. 2015. Nutritional value of two insect larval meals (*Tenebrio molitor* and *Hermetia illucens*) for broiler chickens: Apparent nutrient digestibility, apparent ileal amino acid digestibility and apparent metabolizable energy. *Animal Feed Science and Technology* 209:211-218.
- Folch J, Lees M, Sloane Stanley G. 1957. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *Journal of Biological Chemistry* 226:497-509.
- Horwitz W, Latimer GW. 2005. AOAC International. Official methods of analysis of AOAC International. 18th ed. AOAC International, Gaithersburg, MD, USA.
- 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, Kim HR, Jeong JY, Park K, Ji SY, Park SH. 2021a. 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. [in Korean]
- Kim B, Kim HR, Lee S, Baek YC, Jeong JY, Bang HT, Ji SY, Park SH. 2021b. Effects of dietary inclusion level of microwave-dried and press-defatted black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal on carcass traits and meat quality in broilers. *Animals* 11:665.
- Kim YB, Kim DH, Jeong SB, Lee JW, Kim TH, Lee HG, Lee KW. 2020. Black soldier fly larvae oil as an alternative fat source in broiler nutrition. *Poultry Science* 99:3133-3143.
- Liu X, Liu X, Yao Y, Qu X, Chen J, Xie K, Wang X, Qi Y, Xiao B, He C. 2021. Effects of different levels of *Hermetia illucens* larvae meal on performance, egg quality, yolk fatty acid composition and oxidative status of laying hens. *Italian Journal of Animal Science* 20:256-266.
- Makkar HPS, Tran G, Heuzé V, Ankers P. 2014. State-of-the-art on use of insects as animal feed. *Animal Feed Science and Technology* 197:1-33.
- Marono S, Piccolo G, Loponte R, Meo CD, Attia YA, Nizza A, Bovera F. 2015. *In vitro* crude protein digestibility of *Tenebrio molitor* and *Hermetia illucens* insect meals and its correlation with chemical composition traits. *Italian Journal of Animal Science* 14:338-343.
- Murawska D, Daszkiewicz T, Sobotka W, Gesek M, Witkowska D, Matusievičius P, Bakuła T. 2021. Partial and total replacement of soybean meal with full-fat black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) larvae meal in broiler chicken diets: Impact on growth performance, carcass quality and meat quality. *Animals* 11:2715.
- Nafisah A, Nahrowi, Mutia R, Jayanegara A. 2019. Chemical composition, chitin and cell wall nitrogen content of Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) larvae after physical and biological treatment. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 546:7-12.
- NIAS (National Institute of Animal Science). 2017. Korean feeding standard for swine. NIAS, RDA, Wanju, Korea. [in Korean]
- Park SH, Kim HR, Baek YC, Ryu CH, Ji SY, Jeong JY, Kim M, Jung H, Kim B. 2021. Effects of dietary inclusion level of microwave-dried and press-defatted black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal on productive performance, cecal volatile fatty acid profile, and egg quality in laying hens. *Animals* 11:1486.

- Popova T, Petkov E, Ignatova M. 2021. Effect of black soldier fly (*Hermetia illucens*) meals in the diet on the growth performance and carcass composition in broilers. *Journal of Insects as Food and Feed* 7:369-376.
- 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.
- Secci G, Bovera F, Nizza S, Baronti N, Gasco L, Conte G, Serra A, Bonelli A, Parisi G. 2018. Quality of eggs from Lohmann Brown Classic laying hens fed black soldier fly meal as substitute for soya bean. *Animal* 12:2191-2197.
- 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.