Journal of Environmental Science International
34(10); 645~651; October 2025

pISSN: 1225-4517 eISSN: 2287-3503
https://doi.org/10.5322/JESI.2025.34.10.645

SHORT COMMUNICATION

새송이버섯재배부산물 급이가 흰점박이꽃무지 유충의 발육 및 영양성 증진에 미치는 효과

박민지 · 박경민[1)]· 이예슬[2)] · 이경용[3)] · 김선영*

국립농업과학원 농업생물부 산업곤충과, [1)]국립농업과학원 농업생물부 농업미생물과, [2)]국립농업과학원 농업공학부 수확후관리공학과, [3)]국립농업과학원 농업생물부 양봉과

By-products of King Oyster Mushroom Cultivation in Feed Enhance Growth and Nutrition in *Protaetia brevitarsis* Larvae

Min Ji Park, Kyungmin Park[1)], Yeseul Lee[2)], Kyeong Yong Lee[3)], Sun Young Kim*

Industrial Entomology Division, National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration, Wanju-gun 55365, Korea

[1)]Agricultural Microbiology Division, National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration, Wanju-gun 55365, Korea

[2)]Post-Harvest Engineering Division, National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration, Wanju-gun 55365, Korea

[3)]Apiculture Division, National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration, Wanju-gun 55365, Korea

Abstract

To evaluate the effects of a mixed diet comprising fermented oak sawdust and king oyster mushroom cultivation by-products on the growth, nutritional composition, and safety of *Protaetia brevitarsis* larvae, we compared the body weight, survival rate, nutrient content, and hazardous substance levels in the larvae. When fermented oak sawdust (FOS) was supplemented with king oyster mushroom cultivation byproducts (FOS+KMCB), larval body weight increased 1.2-7.2 times compared to the control group (FOS alone), and survival rates prior to cocoon formation exceeded 89% across all groups. Nutritional analysis revealed a 1.3-fold increase in protein content and a 1.1-1.4-fold increase in minerals, including calcium and phosphorus, in the FOS+KMCB group. Heavy metal concentrations in all groups complied with safety standards for edible insects. These findings indicate that a mixed diet of FOS and KMCB enhanced larval development and nutritional value, supporting its potential use as a feed source for *P. brevitarsis* larvae.

Key words : *Protaetia brevitarsis* larvae, King oyster mushroom by-products, Fermented oak sawdust, Edible insect food source

Received 1 October, 2025; **Revised** 14 October, 2025;
Accepted 14 October, 2025

***Corresponding author** : Sun Young Kim, Industrial Entomology Division, National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration, Wanju-gun 55365, Korea
Phone : +82-63-238-1978
E-mail : carp0120@korea.kr

1. 서 론

전 세계적으로 식량과 사료 분야의 환경 부담을 낮추면서 단백질 수요를 충족할 수 있는 지속가능한 대체 식량 자원에 관심이 높아지고 있다. 이러한 맥락에서 식용곤충은 사육 면적과 물 사용량, 온실가스 배출 저감 측면에서 잠재적 이점 및 순환경제 전략과 접목될 후보로 논의되어 왔다(Nikkhah et al., 2021; Smetana et al., 2023). 특히 우리나라에서 널리 사육되는 흰점박이꽃무지(*Protaetia brevitarsis*) 유충은 식품 소재로의 활용 가능성과 함께 사육 체계와 먹이원의 차이가 영양성분과 품질 특성에 의미 있는 변화를 초래할 수 있다는 점이 보고되었다(Jeong et al., 2020; Yoon et al., 2020; Ham et al., 2021). 상업 농가 간 비교에서도 단백질과 지질 조성이 농장·급이 관리에 따라 상이하게 나타나며, 먹이의 유형에 따라 불포화지방산과 무기질 역시 달라질 수 있음이 제시되었다(Park and Kim, 2025). 이러한 사실은 곤충 사육에서 먹이원 선택과 조성이 식용곤충의 영양·기능 특성을 좌우하는 핵심 변수임을 시사한다.

국내 현장에서는 전통적으로 참나무발효톱밥이 먹이원으로 널리 이용되어 왔으나, 원료비 변동성과 공급 안정성, 배치 간 성분 차이 등은 생산비와 품질관리의 불확실성을 높이는 요인이 될 수 있다. 이에 따라 농업부산물을 사료화하여 비용과 환경 부담을 동시에 낮추려는 시도가 활발하며, 그 중 버섯 수확후배지(spent mushroom substrate, SMS)는 연중 대량 발생하는 리그노셀룰로오스계 자원으로서 고부가가치 전환 가능성이 높다는 평가를 받는다(Vasilakis et al., 2023; Dedousi et al., 2024). 최근 종합적 검토에 따르면 SMS는 물리·화학적 성상, 잔존 영양성분, 미생물 군집에 따라 활용 경로가 달라진다고 보고한다. 활용 예로는 토양 개량, 사료 원료, 효소·생리활성 물질의 회수 등이 있으며, 버섯 종과 재배 공정은 이러한 용도 적합성에 중요한 영향을 미친다(Baptista et al., 2023; Martín et al., 2023). 이러한 맥락에서 곤충 사육용 부산물 기반 기질을 선택할 때는 성분·물성·미생물학적 특성을 함께 고려할 필요가 있다.

흰점박이꽃무지 유충을 대상으로 한 선행연구에서는 SMS의 활용 가능성을 직접적으로 보여준다. 특히, 느타리나 표고 등 목질 기반 재배 배지를 유충이 섭식·분해하고, 유기물 전환과 분변토 생산을 통해 자원순환 효과를 창출할 수 있음이 보고되었으며, SMS의 미생물 군집을 조절해 기질의 품질과 사육 성능을 개선하려는 접근도 제시되었다(Li et al., 2019; Wei et al., 2020; Du et al., 2022). 또한, 국내에서는 산업곤충을 대상으로 SMS를 사육 기질로 적용하여 사료화 가능성, 품질 특성, 안전 관리 지표를 검토한 사례가 보고되어 왔다(Lee et al., 2018; Wei et al., 2020). 더 나아가 흰점박이꽃무지 유충에서도 느타리나 새송이, 표고버섯 재배부산물을 먹이원으로 활용한 연구들이 보고되어, 버섯재배부산물의 유충 사료 활용 가능성을 뒷받침한다(Lee et al., 2018; Kim et al., 2024; Park et al., 2024; Mansour et al., 2025). 이러한 근거는 곤충 사육에서 버섯재배부산물을 먹이원으로 활용할 때 생물전환과 경제성, 그리고 안전성 관리가 동시에 고려되어야 함을 보여준다.

그럼에도 불구하고 실제 사육 현장에서 표준 먹이원과 버섯재배부산물을 혼합하여 사용하는 최적 전략에 대해서는 여전히 공백으로 남아 있다. 기존 문헌은 특정 SMS의 단독 사용 가능성이나 일정 비율의 부분 대체성에 대한 검증이 주류를 이루며, 50% 참나무발효톱밥과 50% 새송이버섯(*Pleurotus eryngii*) 재배부산물을 혼합했을 때 경제성과 영양성분, 안전성을 하나의 설계에서 동시에 정량 평가한 자료는 제한적이다. 더불어 곤충 생산의 환경영향은 에너지·수분 관리뿐 아니라 사료원 선택에 크게 좌우되는 만큼, 부산물 기반 혼합 기질이 가져올 잠재적 환경 이익과 관리상 한계를 함께 규정할 필요가 있다. 이 부분은 부산물의 재활용과 산업 곤충의 지속 가능한 생산을 연결하는 응용 연구의 필요성을 의미한다.

본 연구는 이러한 배경에서 새송이버섯재배부산물과 참나무발효톱밥을 동량으로 혼합한 기질을 흰점박이꽃무지 유충에 급이하였다. 이에 참나무발효톱밥 단독과 비교했을 때의 유충의 성장과 영양성분 변화를 평가하고, 안전성 관점에서의 적합성을 확인하고자 하였다. 특히, 농업부산물의 자원순환이라는 환경적 목표와 산업 현장의 경제성이라는 실무적 요구를 함께 고려하였다. 이를 통해 부산물 기반 혼합 기질의 적용 가능성에 대한 근거를 제시하여 현장의 적용 시 기초 자료를 제공하였다.

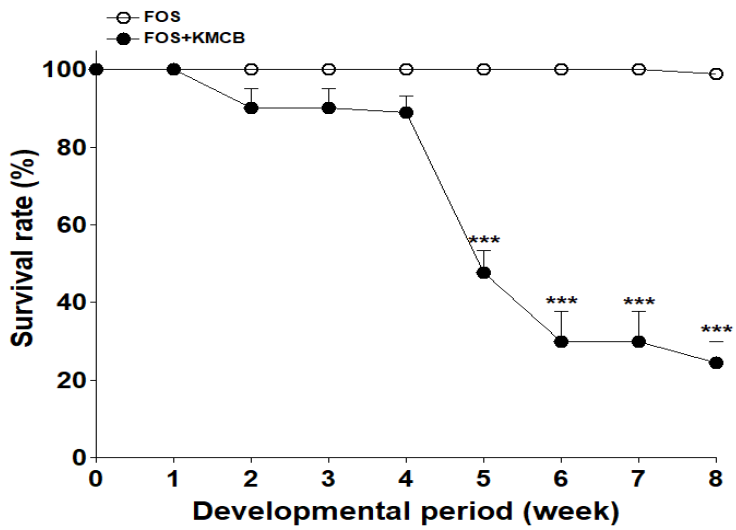


Fig. 1. Survival rate in *P. brevitarsis* larvae fed FOS and 50% fermented oak sawdust and 50% king oyster mushroom cultivation by-products (FOS+KMCB) from hatching to week 8.

2. 재료 및 방법

흰점박이꽃무지는 국립농업과학원 산업곤충과 곤충사육연구동에서 사육되었다. 곤충은 온도 25℃, 상대습도 50~60%, 광주기 16일:8일로 유지되었다. 참나무발효톱밥은 익산굼벵이농장에서 공급받았다. 먹이원에 따른 흰점박이꽃무지 유충의 발육 양상을 조사하기 위해 플라스틱 사육 상자(길이 25.7 cm × 너비 16.9 cm × 높이 14.0 cm)에서 사육하였다. 실험구는 참나무발효톱밥만으로 급이한 대조군(FOS, Fermented oak sawdust)과 참나무발효톱밥과 새송이버섯재배부산물을 1:1로 혼합 급이한 군(KMCB, 50% fermented oak sawdust + 50% king oyster mushroom cultivation by-products)으로 각 상자당 유충 30마리씩 1회 공급시 각각 먹이원을 300 g씩 공급하여 3회 반복 사육하였다.

사육상자 내 톱밥 수분 함량 60%였으며, 유충의 발육 특성을 조사하기 위해 주마다 생존율과 체중을 모니터링하였다. 유충을 먹이원별로 사육한 후 영양성분과 유해물질을 비교분석하였다. 유충의 표준 먹이원인 참나무발효톱밥과 참나무발효톱밥과 새송이버섯재배부산물을 1:1로 혼합한 먹이원을 각각 총 4 kg씩 준비하여 플라스틱 사육 상자(길이 54 cm × 너비 40.5 cm × 높이 18.5 cm)에서 250마리의 유충을 3회 반복 사육하였다. 수확기 유충 무게(2.5 g/1마리 유충)에 도달하면 장을 비우기 위해 2일 동안 찹쌀가루를 공급하고, 그 후 2일 동안 먹이를 완전히 제거한 후 절식하였다. 절식 과정이 끝나면, 흐르는 물에 세척 후 유충을 초저온냉동고(NIHON freezer, Tokyo, Japan)에서 최소 12시간이상 저장하였다가 동결건조기(Ilshinbiobase, Dongducheon, Korea)를 이용하여 약 65±5시간 동안 건조 후, 영양성분과 유해물질 함량을 측정하였다.

유충의 일반성분은 식품의약품안전처의 ‘식품공전’ 일반시험법 및 공정분석화학자협회(Association of Official Analytical Chemists, AOAC; Baur and Ensminger, 1977)를 준용하여 수행하였다. 수분은 상압건조법, 조회분은 직접회화법, 조단백질은 micro-Kjeldahl법, 조지방은 Soxhlet 추출법, 식이섬유는 효소-중량법, 탄수화물 함량은 수분, 조회분, 조단백질과 조지방 분석 함량으로부터 계산하였다. 또한, 무기질과 중금속 분석 또한 식품공전 관련 시험법에 따라 분석하였다. 그리고 먹이원에 따른 유충의 발육 특성과 영양성분을 평가하기 위해 통계 분석은 IBM PASW Statistics 18 (IBM Corp., Armonk, NY, USA)를 이용하였다. 처리구 간 비교는 일원배치 분산분석(one-way ANOVA) 후 Tukey의 HDS로 사후검정을 실시하였고, 두 집단 비교에는 독립표본 t-검정을 사용하였다. 유의 수준은 양측 $p<0.05$로 설정하였다.

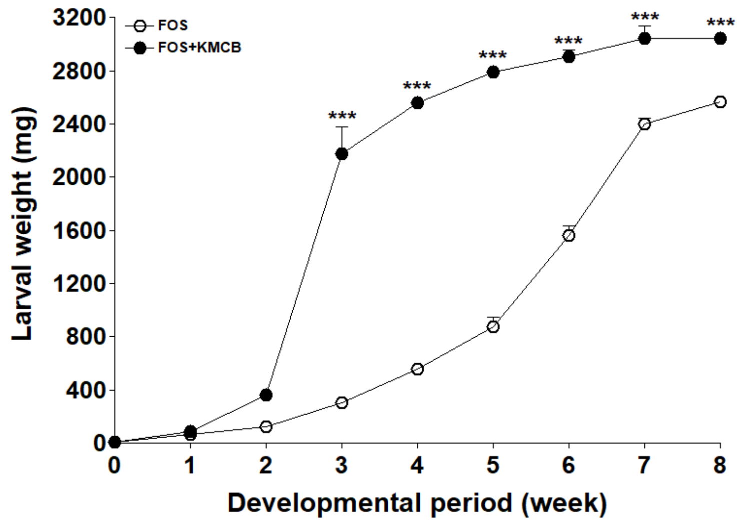


Fig. 2. Larval weight in *P. brevitarsis* larvae fed FOS and 50% fermented oak sawdust and 50% king oyster mushroom cultivation by-products (FOS+KMCB) from hatching to week 8.

3. 결과 및 고찰

대조군인 참나무발효톱밥을 급이하여 사육한 유충(FOS, *P. brevitarsis* larvae fed fermented oak sawdust)과 새송이버섯재배부산물과 참나무발효톱밥을 1:1로 혼합하여 급이한 유충(FOS+KMCB, *P. brevitarsis* larvae fed 50% fermented oak sawdust and 50% king oyster mushroom cultivation by-products)의 생존율을 비교 관찰한 결과는 Fig. 1에 제시하였다. 부화유충 시기부터 수확기 유충 무게(2.5 g)에 도달하는 시점인 8주까지 실험을 수행한 결과는 FOS(대조군)의 경우 7주까지 사망 개체가 발견되지 않았고, 8주차에도 98.9%의 높은 생존율이 관찰되어, 번데기방(cocoon)이 나타나기 시작하였다. 또한, FOS+KMCB에서는 4주까지 88.9%의 높은 생존율을 보이다가 5주차부터 번데기방(cocoon)이 나오기 시작함에 따라 5-8주차까지 24.4-47.8%의 상대적으로 낮은 유충 생존율이 관찰되었다. 선행 연구에 따르면, FOS만 급이한 대조군은 5-6주 평균체중이 1.31-1.64 g으로 2.5 g 수확 기준에 도달하지 못하였고, 번데기방 형성은 8-10주에 평균 27.7%로 보고된 바 있다(Kim et al., 2024; Park et al., 2025). 본 연구도 동일한 수확 기준(2.5 g)을 적용하였으므로, 대조군의 2.5 g 도달 시점은 대체로 7-10주로 해석되며, 이는 본 연구의 8주차 관찰 설계와 번데기방 출현 시점과 일치한다.

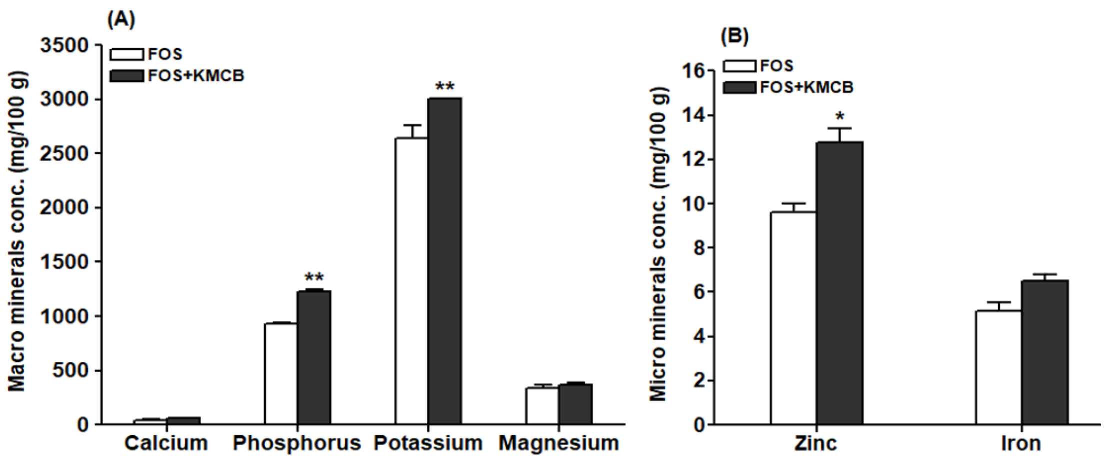
유충 무게(Fig. 2)는 FOS+KMCB에서 1-8주까지 1.2-7.2배 더 높았고, 3주차에서 무게 증가 폭이 최대였다. 특히 4주차에는 FOS(559.1 mg) 대비FOS+KMCB 2556.8 mg으로 4.6배를 보여, 4주차에 '수확기(2.5 g)' 기준을 충족하였다. 반면 FOS는 8주차에 2568.6 mg에 도달하였다. 이러한 조기 수확(4주 단축) 효과는, 감잎 분말 첨가군(5-10%)이 5주차에 2,531-2,619 mg에 도달하고 대조 FOS는 5-6주 1,310-1,638 mg 수준에 그쳤다고 보고한 선행연구의 성장 가속 경향과 일치한다(Park et al., 2025). 또한 버섯재배부산물 기반 사료는 영양성 개선과 원료비 절감 가능성이 보고되었다(Kim et al., 2024). 따라서 참나무발효톱밥과 새송이버섯재배부산물을 1:1로 혼합 급이할 경우, 발육 기간이 4주 단축되기 때문에 이를 먹이원으로 사용하면 농가 생산비 절감에 도움을 줄 수 있을 것으로 판단된다.

FOS와 FOS+KMCB의 일반성분 분석 결과(Table 1), 조단백질은 FOS+KMCB에서 64.2%로 FOS 50.7%대비 1.3배 높았고, 두 처리 모두에서 최대 성분이었다. 탄수화물은 FOS 24.0%가 FOS+KMCB 17.3%보다 1.4배 높았다. 이 값은 선행연구의 범위와 비교할 때, 느타리버섯재배부산물 급이 유충의 조단백질 54.0%(대조 FOS 47.2%) 보고치보다 본 연구의 FOS+KMCB가 높았고(Kim et al., 2024), 국내 상업 농가의 흰점박이꽃무지

Table 1. General components in *P. brevitarsis* larvae fed FOS and 50% fermented oak sawdust and 50% king oyster mushroom cultivation by-products (FOS+KMCB)

General component (%)	FOS	FOS+KMCB
Moisture	5.1±1.0	4.6±0.7
Crude protein	50.7±3.6	64.2±2.9***
Crude fat	11.3±0.2	6.3±1.2
Crude ash	6.9±0.6	7.5±0.8
Dietary fiber	10.6±4.6	9.5±0.7
Carbohydrate†	24.0±2.6	17.3±1.7

†Carbohydrate = 100 − (moisture + crude protein + crude fat + crude ash)
[1)]Values are mean ± S.D. (n= 2), t-test, ***, $p < 0.001$



The values showed as means ± S. D. (n = 4). One-way ANOVA test, *, $p < 0.05$; **, $p < 0.01$.

Fig. 3. Macro (A) and micro mineral (B) concentrations in *P. brevitarsis* larvae fed fermented oak sawdust (FOS) and 50% fermented oak sawdust and 50% king oyster mushroom cultivation by-products (FOS+KMCB).

유충의 평균 일반성분(단백질 42.46-57.86%, 탄수화물 10.56-23.71%)와 비교할 때 단백질이 상한에 근접하였다(Ham et al., 2021).

FOS와 FOS+KMCB의 다량무기질 4종(칼슘, 인, 칼륨, 마그네슘)과 미량무기질 2종(아연, 철)을 분석한 결과(Fig. 3), FOS+KMCB가 FOS 대비 1.1-1.4배 높은 함량을 나타냈다. 다량무기질 중에는 칼륨 함량이 가장 높았고, 미량무기질 중에는 아연이 가장 높았다. 결과적으로 본 연구에서는 참나무발효톱밥에 새송이버섯재배부산물을 1:1로 혼합 급이(FOS+KMCB)했을 때, 흰점박이꽃무지 유충의 발육과 영양성이 동시에 향상됨을 알 수 있었다. 특히 FOS+KMCB가 초기부터 급격한 증체를 보여 4주 시점에 2.6 g에 도달한 반면, 대조군인 FOS는 8주 차에 도달하였다. 따라서 FOS+KMCB는 수확까지의 발육 기간이 4주 단축되었다. 이러한 발육 속도 증가는 5주차 이후 번데기방 형성 개체가 늘면서 유충 생존율이 상대적으로 낮아지는 현상으로 관찰되었는데, 이는 실제 사망률 증가가 아니라 발육 단계 전이(larva → pre-pupa/pupa)의 반영이라는 점을 함께 해석해야 한다.

FOS+KMCB 처리 유충의 조단백질 함량이 64.2%로 대조군(FOS, 50.7%) 대비 1.3배 높았고, 탄수화물 비중은 상대적으로 낮았다(FOS 24.0% vs FOS+KMCB 17.3%). 또한 다량·미량 무기질은 칼륨과 칼슘, 인, 마그

Table 2. Hazardous substances in *P. brevitarsis* larvae fed fermented oak sawdust (FOS) and 50% fermented oak sawdust and 50% king oyster mushroom cultivation by-products (FOS+KMCB)

Hazardous substance	Content	FOS	FOS+KMCB
Heavy metals (mg/kg)	Lead (Pb)	0.04±0.002	0.03±0.01
	Cadmium (Cd)	0.03±0.003	0.02±0.001
	Arsenic (As)	0.04±0.002	0.03±0.01

†ND, Not Detected.

네슘 및 아연, 철에서 1.1-1.4배 수준으로 증가하였다. 이 같은 결과는 버섯재배부산물에 잔존하는 균사체·세포벽 성분(베타글루칸 등)과 무기질이 유충의 소화·흡수 그리고 장내 미생물 군집을 통해 성장·체성분 축적에 기여했을 가능성을 시사한다(Wei et al., 2020; Park et al., 2025). 선행연구에서 보고된 버섯계 배지의 사료화 가능성(Lee et al., 2018; Nayak et al., 2024) 및 발효느타리버섯재배부산물에서 약간 더 낮은 미생물 부하, 유익균 촉진 효과가 나타나 미생물 개량 접근과도 방향성이 일치함을 확인하였다(Park et al., 2025).

본 연구에서는 FOS와 FOS+KMCB 처리 유충의 납, 카드뮴, 비소 함량을 식품공전 일반시험법에 따라 ICP-OES로 정량하여 Table 2에 제시하였다. FOS와 FOS + KMCB의 중금속 오염도 조사 결과를 보면, 모든 군에서 중금속(납, 카드뮴, 비소)은 식용곤충 중금속 기준에 적합함이 확인되어, 중금속에 대한 안전성을 확보하였다. 따라서, 50% 새송이버섯재배부산물로 대체 시에도 중금속 위해 가능성은 낮은 것으로 판단된다.

수확기 체중에 도달하는 시점의 단축과 단백질·무기질 증대는 생산비 절감 및 제품 가치 향상에 직결될 수 있는 요인이며, 대체 원료로서 부산물의 연중 안정적 수급은 농가의 원가 변동성 완화에 기여할 수 있다. 다만, 본 연구에서는 먹이원 조성(1:1로 고정), 기간, 반복수 등 설계상 제약이 있어, 부산물 배치 간 품질 변동성과 혼합비 최적화, 장기 연속 급이 안정성, 형질(지방산, 아미노산 프로파일 등) 정밀 분석에 대한 후속 검증이 필요하다.

4. 결 론

새송이버섯재배부산물을 참나무발효톱밥과 1:1로 혼합 급이하면(FOS+KMCB), 흰점박이꽃무지 유충의 성장 속도가 유의적으로 향상되어 수확기 체중(약 2.5 g)으로 도달하는 시점이 4주 단축되었다(4주 2,556.8 mg vs 8주 2,568.6 mg; 유충 발육기간 최대 1.2–7.2배 증체). 먹이원별 유충의 조성분과 무기질에서 FOS+KMCB 는 조단백 64.2%로 대조 50.7% 대비 1.3배 높았고, 칼슘·인·칼륨·마그네슘 및 아연·철 함량은 1.1-1.4배 수준으로 증가하였다. 또한, 중금속(납·카드뮴·비소)은 전 군이 식용곤충 안전 기준을 충족하여 원료 대체에 따른 위해 우려는 낮았다. 주목할 점은 새송이버섯재배부산물의 혼합 급이는 성장기간 단축과 영양가치 향상을 동시에 달성하는 유효한 전략으로 판단되며, 현장 적용을 위해서는 부산물 배치 간 변동성 관리와 혼합비 최적화, 장기 안전성 검증 등의 후속 연구가 필요하다.

감사의 글

본 논문은 농촌진흥청 연구사업(과제번호: PJ01749501)의 지원에 의해 이루어진 것으로, 2025년도 농촌진흥청 국립농업과학원 전문연구원(박민지) 과정 지원사업에 의해 이루어진 것임

REFERENCES

Baptista, F., Almeida, M., Paié-Ribeiro, J., Barros, A. N., Rodrigues, M., 2023, Unlocking the Potential of spent mushroom substrate (SMS) for enhanced agricultural sustainability: From environmental benefits to poultry nutrition, Life, 13(10), 1948.

Dedousi, M., Melanouri, E. M., Karayannis, D., Kaminarides, E. I., Diamantopoulou, P., 2024, Utilization of spent substrates and waste products of mushroom cultivation to produce new crops of Pleurotus ostreatus, *Pleurotus eryngii* and *Agaricus bisporus*, Carbon Resources Convers., 7(2), 100196.

Du, B., Xuan, H., Geng, L., Li, W., Zhang, J., Xiang, W., Liu, R., Shu, C., 2022, Microflora for improving the *Auricularia auricula* spent mushroom substrate for *Protaetia brevitarsis* production, iScience, 25(11), 105307.

Ham, Y. K., Kim, S. W., Song, D. H., Kim, H. W., Kim, I. S., 2021, Nutritional composition of white-spotted flower chafer (*Protaetia brevitarsis*) larvae produced from commercial insect farms in Korea, Food Sci. Anim. Resour., 41(3), 416-427.

Jeong, D., Min, N., Kim, Y., Kim, S. R., Kwon, O., 2020, The effects of feed materials on the nutrient composition of *Protaetia brevitarsis* larvae, Entomol. Res., 50(1), 23-27.

Kim, S. Y., Park, M. J., Lee, H. S., Koo, B., 2024, Analysis of nutritional components and harmful substances of *Protaetia brevitarsis* larvae fed fermented oyster mushroom cultivation by-products, Korean J. Appl. Entomol., 63(4), 373-382.

Lee, S. B., Kim, J. W., Bae, S. M., Hwang, Y. H., Lee, H. S., Lee, B. J., Hong, K. P., Park, C. G., 2018, Evaluation of spent mushroom substrate as feed for *Protaetia brevitarsis* larvae (Coleoptera: Scarabaeidae), Korean J. Appl. Entomol., 57(2), 97-104.

Li, Y., Fu, T., Geng, L., Shi, Y., Chu, H., Liu, F., Liu, C., Song, F., Zhang, J., Shu, C., 2019, *Protaetia brevitarsis* larvae can efficiently convert herbaceous and ligneous plant residues to humic acids, Waste Manage., 83, 79-82.

Mansour, A., Lee, J., Jeong, T., Mannaa, M., Kim, S. Y., Song, J. H., Seo, Y. S., Lee, D. W., 2025, Efficient conversion of mushroom and sawdust residues in *Protaetia brevitarsis* biosystem: Characterization of humic acid and bacterial communities, Insects, 16(9), 893.

Martín, C., Zervakis, G. I., Xiong, S., Koutrotsios, G., Strætkvern, K. O., 2023, Spent substrate from mushroom cultivation: Exploitation potential toward various applications and value-added products, Bioengineered, 14(1), 2252138.

Nayak, A., Rühl, M., Klüber, P., 2024, Bioconversion efficiency and chemical composition of *Hermetia illucens* larvae fed spent mushroom substrates, AMB Expr., 14, 133.

Nikkhah, A., Van Haute, S., Jovanovic, V., Jung, H., Dewulf, J., Velickovic, T. C., Ghnimi, S., 2021, Life cycle assessment of edible insects (*Protaetia brevitarsis* larvae) as a future protein and fat source, Sci. Rep., 11, 14030.

Park, K. M., Kim, S. Y., Lee, Y. S., 2025, Microbiological quality and bacterial diversity of *Protaetia brevitarsis* (White-spotted flower chafer) larvae reared on oak sawdust and spent mushroom substrate, J. Food Prot., 88, 100608.

Park, M. J., Kim, S. Y., 2025, Persimmon leaf as a functional additive for enhancing productivity and nutritional value in *Protaetia brevitarsis* larvae, Int. J. Indust. Entomol. Biomater., 49(2), 43-54.

Park, M. J., Yoon, H. J., Kim, S. Y., 2024, Analyzing the nutritional value of *Protaetia brevitarsis* larvae feeding on coffee and oyster mushroom cultivation by-products, Int. J. Indust. Entomol. Biomater., 48(3), 147-155.

Smetana, S., Bhatia, A., Batta, U., Mouhrim, N., Tonda, A., 2023, Environmental impact potential of insect production chains for food and feed in Europe, Anim. Front., 13(4), 112-120.

Vasilakis, G., Rigos, E. M., Giannakis, N., Diamantopoulou, P., Papanikolaou, S., 2023, Spent mushroom sSubstrate hydrolysis and utilization as potential alternative feedstock for anaerobic co-Digestion, Microorganisms, 11(2), 532.

Wei, P., Li, Y., Lai, D., Geng, L., Liu, C., Zhang, J., Shu, C., Liu, R., 2020, *Protaetia brevitarsis* larvae can feed on and convert spent mushroom substrate from *Auricularia auricula* and *Lentinula edodes* cultivation, Waste Manage., 114, 234-239.

Yoon, C. H., Jeon, S. H., Ha, Y. J., Kim, S. W., Bang, W. Y., Bang, K. H., Gal S. W., Kim, I. S., Cho, Y. S., 2020, Functional chemical components in *Protaetia brevitarsis* Larvae: Impact of supplementary feeds, Food Sci. Anim. Resour., 40(3), 461-473.

• Research Associate. Min Ji Park
Industrial Entomology Division, Department of Agricultural Biology, National Institute of Agricultural Sciences
parkmj0706@korea.kr

• Researcher. Kyungmin Park
Agricultural Microbiology Division, Department of Agricultural Biology, National Institute of Agricultural Sciences
kmpark82@korea.kr

• Researcher. Yeseul Lee
Post-Harvest Engineering Division, Department of Agricultural Biology, National Institute of Agricultural Sciences
yes1115@korea.kr

• Researcher. Kyeong Yong Lee
Apiculture Division, Department of Agricultural Biology, National Institute of Agricultural Sciences
ultrataro@korea.kr

• Researcher. Sun Young Kim
Industrial Entomology Division, Department of Agricultural Biology, National Institute of Agricultural Sciences
carp0120@korea.kr