pISSN 1229-1153 / eISSN 2465-9223 *J. Food Hyg. Saf.*
Vol. 41, No. 3, pp. 174~179 (2026)
https://doi.org/10.13103/JFHS.2026.41.3.174

Journal of Food Hygiene and Safety
Available online at http://www.foodhygiene.or.kr

가공 형태에 따른 식용곤충의 이화학적 특성 및 미생물학적 안전성 평가

김지연 · 신윤철 · 손양주 · 이선영*
중앙대학교 식품영양학과

Evaluation of Physicochemical Characteristics and Microbial Safety of Edible Insects Depending on Processing Forms

Ji-Yeon Kim, Yooncheol Shin, Yang-Ju Son, Sun-Young Lee*
Department of Food and Nutrition, Chung-Ang University, Anseong, Korea

(Received April 1, 2026/Revised April 23, 2026/Accepted April 29, 2026)

ABSTRACT - An increasing interest in edible insects has made their microbial quality of significant interest. In this study, the physicochemical characteristics and microbial safety of *Tenebrio molitor* larvae (mealworms; frozen, dried, full-fat powder, and defatted powder) and *Protaetia brevitarsis* larvae (dried) were investigated on the basis of their processing forms. Regardless of the processing step, all samples showed a neutral pH ranging from 6.56 to 7.03. Except for frozen mealworms (a_w: 0.97), all processed samples maintained low a_w values between 0.12 and 0.23. Microbial analysis revealed that the frozen mealworms exhibited the highest contamination levels across all aerobic bacteria, coliforms, yeasts, and molds; however, processing significantly ($P<0.05$) reduced the populations of the indicator microorganisms. Evaluation of foodborne pathogens revealed that, regardless of processing, no significant differences ($P>0.05$) in contamination levels were observed among the mealworm samples. In contrast, *Bacillus cereus* and *Staphylococcus aureus* were detected at 4.99 and 3.63 log CFU/g, respectively, in dried *P. brevitarsis* larvae, with significantly ($P<0.05$) higher populations than those in the mealworm samples; this indicates residual contamination in the processed products. These findings demonstrate that hygiene management is vulnerable throughout the production chain, from raw materials to the final processing steps. Therefore, these results highlight the necessity for standardized processing technologies and microbial safety assessments to prevent foodborne illnesses and ensure the safe utilization of edible insects.

Keywords: Edible insect, Mealworm, *Protaetia brevitarsis* larvae, Microbial safety, Foodborne pathogen

21세기에 들어서며 동물성 단백질 가격 상승, 식량 및 사료 수급 불안정, 환경 문제, 인구 증가, 중산층의 단백질 수요 증가 등으로 인해 곤충을 식품 및 사료로 사용하는 방안이 중요한 이슈로 부각되고 있다[1]. 국내에서도 곤충을 식품, 사료, 교육, 화장품, 신소재 등 다양한 분야에 적용 가능한 유망 생물자원으로 판단함에 따라 관련 산업 규모가 지속해서 증가하고 있다. 농촌진흥청에 따르면 2021년 국내 곤충산업 규모는 2020년 414억 원 대비 7.7% 증가한 446억 원으로 집계되었다. 이 중 식용곤충이 231억 원(51.8%)으로 가장 큰 비중을 차지하였으며, 사료용 곤충 109억 원(24.4%), 학습·애완 곤충 42억 원(9.4%), 기타 64억 원(14.3%) 순으로 나타나 식용곤충의 높은 부가가치가 입증되었다[2].

식용곤충은 영양학적 측면에서도 우수성이 활발히 규명되고 있다[3]. 식용 곤충은 단기간에 고단백질을 확보할 수 있는 좋은 공급원으로서, 일부 식용 곤충은 100 g 당 19-22 g의 단백질을 함유하고 있어 기존 동물성 단백질 공급원과 비슷하거나 우수한 영양 가치를 지니고 있다[4]. 또한 8.1-59.0%의 조지방, 4.9-12.1%의 식이섬유를 비롯해 철(Fe) 등 무기질과 비타민 B군이 풍부하여[5] 다양한 측면에서 영양학적 효용성이 높다. 이에 따라 현재 국내에서는 총 10종의 곤충인 벼메뚜기(*Oxya japonica* Thungberg), 누에번데기(*Bombyx mori* L.), 백강잠(*Bombyx batryticatus*),

*Correspondence to: Sun-Young Lee, Department of Food and Nutrition, Chung-Ang University, Anseong-si 17546, Korea
Tel: +82-31-670-4587, Fax: +82-31-678-8741
E-mail: nina6026@cau.ac.kr

Copyright © The Korean Society of Food Hygiene and Safety. All rights reserved. The Journal of Food Hygiene and Safety is an Open-Access journal distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

갈색거저리 유충(*Tenebrio molitor* L.), 흰점박이꽃무지 유충(*Protaetia brevitarsis*), 장수풍뎅이 유충(*Allomyrina dichotoma*), 쌍별 귀뚜라미(*Gryllus bimaculatus*), 아메리카왕거저리 유충(*Zophobas atratus*), 수벌 번데기(*Apis mellifera* L.), 풀무치(*Locusta migratoria*)가 식용 원료로 허가되어 사용되고 있다[6].

과거 식용곤충의 소비 형태는 주로 건조, 볶음, 튀김 등 단순한 조리 과정을 거쳐 섭취하는 방식에 국한되었으며, 곤충생산 및 소비가 활발한 태국이나 중국 등의 지역에서도 채집된 곤충의 원물 형태로 유통되는 것이 일반적이었다[7]. 그러나 최근에는 분말, 환, 알약, 숙취해소제 등 가공 형태가 다양해짐에 따라 식용곤충의 활용 범위가 점차 확대되고 있는 추세이다[8]. 최근 한국식품연구원에서 곤충의 수분과 지방을 제거한 뒤 용해 및 원심분리를 거쳐 키틴을 제거하고 단백질만 분리하는 기술을 개발하였으며, 이는 필수 아미노산 지수를 향상시키는 데 기여할 것으로 기대된다[9]. 이러한 가공 및 추출 기술의 발전은 식용곤충의 상용화 촉진 및 활용도 증대로 이어질 것으로 사료된다.

그러나 식용곤충을 다양한 식품 소재로 활용하기 위해서는 무엇보다 안전성 확보가 선행되어야 한다. 식용곤충과 관련된 주요 식품 위해 인자로는 화학적 위해 요소, 미생물, 알레르겐, 프리온 등이 보고되고 있으며[10], 특히 병원성 미생물은 식용곤충 섭취로 인한 식중독의 주요 원인으로 작용할 수 있다. 현재 국외에서는 식용곤충의 미생물학적 안전성과 관련된 연구가 일부 진행되고 있으나[11-14], 국내에서 유통되는 식용곤충의 미생물학적 품질 및 안전성에 관한 연구는 매우 부족한 실정이다. 따라서 이러한 식용곤충의 안전성을 검증하고 잠재적인 식중독 사고를 예방하기 위해서는 식용곤충에 대한 미생물학적 품질 및 병원성 오염도 평가가 필수적이다.

그러나 기존 선행 연구들은 주로 특정 식용곤충의 미생물 분포 현황이나 단순 건조 시료의 안전성을 평가하는데 국한되었으며, 식용곤충이 다양한 식품의 원료로 활용됨에 따라 전지, 탈지 등 가공 형태에 따른 미생물학적 변화를 비교한 연구는 여전히 부족한 실정이다. 이에 본 연구에서는 시중에서 유통되는 대표적인 식용곤충인 갈색거저리 유충(밀웜) 4종(냉동 원물, 건조 밀웜, 전지 밀웜 분말, 탈지 밀웜 분말)과 건조 흰점박이꽃무지 유충(굼벵이)을 대상으로 가공 형태에 따른 미생물학적 품질 및 주요 식중독균의 오염도를 평가하였다.

Materials and Methods

실험재료

본 연구에서는 가공 형태가 다른 밀웜 4종(냉동 원물, 건조 밀웜, 전지 밀웜 분말, 탈지 밀웜 분말)과 건조 굼벵이를 실험재료로 사용하였다. 이후 본문에서는 각각을 냉동 원물, 건조 밀웜, 전지 밀웜, 탈지 밀웜으로 지칭하였다. 냉동 원물 밀웜은 경기도 소재의 농장에서 생물 상태로 구매하여 동결한 뒤 사용하였으며, 그 외 가공된 밀웜 시료는 각각 온라인 판매처인 농업회사법인 ㈜비프(양주, 한국)와 농업회사법인 곤충킹㈜(고양, 한국)에서 구매하여 사용하였다. 모든 시료는 실험에 사용하기 전까지 -22°C에서 냉동 보관하였으며, 각 시료의 형태는 Fig. 1에 나타내었다.

이화학적 특성 분석

식용곤충의 pH는 시료 2 g을 잘게 분쇄하고 증류수 8 mL와 균질화한 후, HI 2211 pH/ORP Meter (Hanna Instruments, Woonsocket, RI, USA)를 이용하여 실온에서 측정하였다. 식용곤충의 수분활성도(a_w)는 시료 5 g을 전용 용기에 취하여 Labmaster-a_w (Novasina, Lachen, Switzerland)를 이용하여 상온에서 측정하였다.

위생 지표 미생물 정량 평가

각 식용곤충의 미생물학적 품질 평가를 위해 일반세균(total aerobic bacteria, TAB), 대장균군(*Escherichia coli*/coliform, EC), 효모 및 곰팡이(yeast/mold, YM)를 분석하였다. 각 시료 10 g을 멸균 샘플백(sample bag; 3M, Seoul, Korea)에 취하고 0.2% peptone water (PW; Difco Laboratories,

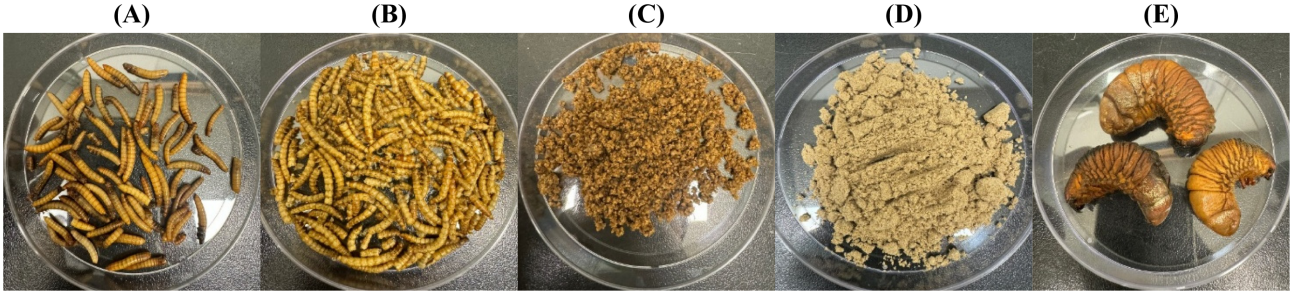

Fig. 1. Photographs of *Tenebrio molitor* larvae (mealworms) in different processing form: (A) Frozen, (B) Dried, (C) Full-fat powder, and (D) Defatted powder; and (E) Dried *Protaetia brevitarsis* larvae.

Detroit, MI, USA) 40 mL을 가한 후, 스토머커(BagMixer 400 W; Interscience, Breteche, France)를 이용하여 90초간 균질화하였다. 균질화된 시료액 0.1 mL을 9.9 mL의 0.2% PW에 희석하고, 각 희석액 1 mL를 Petrifilm (Aerobic, EC, YM count plate; 3M)에 접종하였다. 접종된 TAB와 EC는 37°C에서 24시간, YM은 30°C에서 72시간동안 배양한 후 생성된 집락(colony) 수를 측정하였다.

병원성 미생물 정량 평가

병원성 미생물의 경우, 대표적인 식중독균인 *Bacillus cereus*와 *Staphylococcus aureus*를 대상으로 분석을 진행하였다. 균질화된 시료액을 Mannitol Egg Yolk Polymyxin (MYP, Difco) agar plate와 Baird Parker (BPA, Difco) agar plate에 각각 도말 접종(spreading)하였다. 접종 후 MYP의 경우 30°C에서 24시간, BPA의 경우 37°C에서 24시간 동안 배양하였으며, 이후 생성된 집락(colony) 수를 계수하였다. 본 실험에서의 미생물 검출한계(detection limit)는 1.00 log CFU/g이었다.

통계 분석

실험은 각 시료별로 3회 반복 수행하였으며, 균 수 데이터는 통계분석 전 log CFU/g 단위로 변환하였다. 실험을 통해 얻은 결과값은 Statistical Analysis System (SAS v 9.1; SAS Institute, Cary, NC, USA) 프로그램을 이용하여 일원배치 분산분석(One-way ANOVA)을 실시하였다. 처리구 간의 유의적 차이는 $P<0.05$ 수준에서 Duncan의 다중범위검정(Duncan's multiple range test)을 통해 사후 검정하였다.

Results and Discussion

이화학적 특성(pH 및 a_w) 분석 결과

식용곤충 시료 5종의 pH 및 수분활성도(a_w) 분석 결과는 Table 1에 나타내었다. 밀웜 시료 4종은 6.91-7.03, 건조 굼벵이는 6.56의 pH를 각각 나타내었다. 건조 굼벵이의 pH가 밀웜 시료들에 비해 유의적으로 낮게 측정되었으나, 결과적으로 5종의 시료 모두 전반적인 중성 pH 범위를 유지하는 것으로 확인되었다. 수분활성도의 경우, 냉동 원물 밀웜이 0.97로 가장 높게 나타났다. 반면 이를 제외한 나머지 4종의 가공 시료는 0.124-0.229 범위로 냉동 밀웜에 비해 모두 유의적으로 낮은 값을 보였다. 가공 시료 중에서는 건조 굼벵이가 가장 높았으며, 이어 전지, 탈지, 건조 밀웜 순으로 나타났다. 이는 냉동 원물 밀웜이 별도의 건조 공정을 거치지 않고 수분을 그대로 함유하고 있기 때문인 것으로 사료된다. 이러한 결과는 기존 연구에서 보고된 결과와 유사한 경향을 나타낸다. Vandeweyer 등[15]은 생물 밀웜에서 6.70의 중성 pH와 0.96의 높은 수분활성도 값을 가지는 것으로 보고하였다. 한편, Sim 등[16]의 연구에 따르면 발효 건조 굼벵이의 pH는 5.76±0.01로 보고된 바 있다. 본 연구에서 사용된 건조 굼벵이의 pH가 6.56으로 다소 높게 나타난 것은 발효 공정의 유무 및 분말화 등 가공 처리 방식의 차이에서 기인한 것으로 판단된다.

위생 지표 미생물 정량 평가 결과

식용곤충 시료 5종의 일반적인 위생 안전성을 평가하기 위해 일반세균, 대장균군, 효모 및 곰팡이를 분석한 결과는 Table 2와 같다. 일반세균의 경우 냉동 밀웜이 6.26±0.42 log CFU/g으로 가장 높은 오염도를 보였으며, 건조 굼벵이가 5.67±2.69 log CFU/g으로 뒤를 이었다. 이어 전지 밀웜(3.01±1.77 log CFU/g), 탈지 밀웜(2.52±1.15 log CFU/g), 건조 밀웜(1.61±0.93 log CFU/g) 순으로 검출되었으며, 가공된 밀웜 시료들은 냉동 밀웜에 비해 모두 유의적으로 낮은 수치를 나타내었다. 대장균군은 냉동 밀웜에서만 4.21±0.64 log CFU/g 수준으로 검출되었으며, 나머지 시료에서는 검출 한계(detection limit) 이하로 나타났다. 이와 유사하게 효모 및 곰팡이 또한 냉동 밀웜(4.78±0.43 log CFU/g)과 건조 굼벵이(3.23±0.38 log CFU/g)에서만 확인되었으며, 그 외 시료에서는 검출 한계 미만으로 나타났다.

본 연구 결과, 원물 상태인 냉동 밀웜에서 미생물 오염도가 가장 높았으며, 건조 및 탈지 등 가공 처리를 거칠수록 균 수가 유의적으로 감소하는 경향을 확인하였다. 이는 앞서 확인한 바와 같이 가공 과정을 통해 수분활성도가 미생물 생육 한계점 이하(0.12-0.23)로 현저히 저하되었기 때문으로 사료된다. 특히 가장 낮은 오염도를 보인

Table 1. Physicochemical characteristics of edible insects according to processing forms

Sample	Form	pH	a_w
T. molitor larvae	Frozen	6.93±0.04[a]	0.966±0.010[a]
	Dried	7.03±0.08[a]	0.124±0.011[d]
	Full-fat powder	6.96±0.14[a]	0.170±0.005[c]
	Defatted powder	6.91±0.13[a]	0.168±0.004[c]
P. brevitarsis larvae	Dried	6.56±0.19[b]	0.229±0.014[b]

[a-d] Mean values with different lowercase letters within the same column denote significant differences ($P<0.05$).

Table 2. Populations of indicator microorganisms in edible insects according to processing forms

Sample	Form	Indicator microorganisms (log CFU/g)		
		Total aerobic bacteria	Coliforms	Yeasts and molds
T. molitor larvae	Frozen	6.26±0.42[a]	4.21±0.64[a]	4.78±0.43[a]
	Dried	1.61±0.93[c]	N.D.[*,b]	N.D.[b]
	Full-fat powder	3.01±1.77[b]	N.D.[b]	N.D.[b]
	Defatted powder	2.52±1.15[bc]	N.D.[b]	N.D.[b]
P. brevitarsis larvae	Dried	5.67±2.69[a]	N.D.	3.23±0.38[b]

[a-c] Mean values with different lowercase letters within the same column denote significant differences (P<0.05).
[*]N.D.: Not detected (<1.00 log CFU/g).

Table 3. Populations of foodborne pathogens in edible insects according to processing forms

Sample	Form	Foodborne pathogens (log CFU/g)	
		Bacillus cereus	*Staphylococcus aureus*
T. molitor larvae	Frozen	2.12±1.37[b]	3.49±1.60[a]
	Dried	N.D.[*,b]	N.D.[a]
	Full-fat powder	N.D.[b]	N.D.[a]
	Defatted powder	1.68±0.67[b]	1.54±0.93[a]
P. brevitarsis larvae	Dried	4.99±2.19[a]	3.63±2.85[a]

[a-b] Mean values with different lowercase letters within the same column denote significant differences (P<0.05).
[*]N.D.: Not detected (<1.00 log CFU/g).

건조 밀웜의 경우 가장 낮은 수분활성도를 나타내어 이를 뒷받침한다. 가공 형태에 따른 식용곤충의 미생물학적 품질을 평가한 Grabowski 등[17]의 연구에 따르면 건조 식용곤충의 일반세균과 효모 및 곰팡이가 각각 약 5.5, 2.2 log CFU/g, 분말 식용곤충은 약 5.6, 4.6 log CFU/g 수준으로 검출되었다. Vandeweyer 등[15]은 생물 밀웜의 일반세균과 효모 및 곰팡이가 8.4 log CFU/g, 5.3 log CFU/g 수준으로 검출되었다고 보고하였다. 본 연구 결과는 선행 연구들과 비교할 때 절대적인 미생물 검출량에는 다소 차이가 있으나, 가공 단계를 거치며 미생물 수가 유의미하게 감소한다는 점에서는 일치하는 양상을 보였다. 그러나 가공된 형태의 식용곤충에서도 높은 균 수가 관찰되므로 가공 과정을 거쳤더라도 식용곤충의 경우 섭취 전 별도의 열처리 과정이 권장된다. 한편, Lee 등[18]은 건조 굼벵이의 경우 일반세균 8.71 log CFU/g, 대장균군 5.71 log CFU/g으로 본 연구보다 높은 수준으로 보고하였는데, 이는 건조 공정의 방식이나 제품 간의 편차에서 기인한 결과로 사료된다.

병원성 미생물 정량 평가 결과

본 연구에서는 식용곤충의 전 생산 공정상 위해 요소를 대표하기 위해 식중독 유발 병원성 미생물인 *B. cereus*와 *S. aureus*를 대상 균주로 하였다. *B. cereus*는 토양 및 사료 등 곤충의 사육 환경에 널리 분포하며, 특히 내열성 포자를 형성하여 건조 및 가열 공정 후에도 사멸되지 않고 잔존할 가능성이 커 원료 자체에서 유래하는 내재적 위해요소를 상징한다[19]. 반면, *S. aureus*는 사람의 피부나 점막에 존재하는 대표적 병원균으로 주로 가공 및 포장 단계에서 작업자의 부주의나 환경에 의한 가공 단계에서의 교차 오염 여부를 판단하는 핵심 지표를 의미한다[20]. 따라서 두 균주를 동시에 모니터링함으로써 원물의 위생 관리 상태와 가공 공정 전반의 미생물학적 안전성을 평가하고자 하였다.

식용곤충의 *B. cereus*와 *S. aureus* 오염도 분석 결과는 Table 3에 나타내었다. 냉동 밀웜에서 *B. cereus*와 *S. aureus*가 각각 2.12, 3.49 log CFU/g 수준으로 검출되었고, 탈지 밀웜에서는 각각 1.68, 1.54 log CFU/g, 건조 및 전지 밀웜에서는 두 종 모두 검출 한계 이하로 나타났다. 그러나 통계 분석 결과, 가공 공정에 관계없이 모든 밀웜 시료 간에는 두 병원성 미생물의 오염도에 유의적인 차이가 없는 것으로 확인되었다. 반면, 건조 굼벵이에서는 두 균주가 각각 4.99 log CFU/g, 3.63 log CFU/g으로 측정되어 밀웜 시료들에 비해 유의적으로 높은 *B. cereus* 균 수가 확인되어 다소 높은 오염도를 보였다.

Fasolato 등[21]은 식용곤충의 안전성을 확인한 결과 밀웜에서 *B. cereus* 군이 중앙값 기준 약 2.3 log CFU/g 수준으로 검출되었다고 보고한 바 있다. 또한, Pedonese 등[22]은 맥주박과 빵 부스러기 혼합 기질에 *S. aureus*를 인위적으로 접종하여 사육 기간 동안 밀웜 내 균의 이행을 연구

한 결과 생물 밀웜 내 *S. aureus*가 약 3.6-4.5 log CFU/g 수준으로 잔존하는 것을 확인하였다. 선행 연구와 본 실험 결과를 종합하였을 때, 원물 상태의 식용곤충에서 *B. cereus*뿐만 아니라 *S. aureus*와 같은 병원성 미생물의 오염을 고려해야 함을 알 수 있다. 이처럼 가공되지 않은 곤충 원물은 식품 가공 산업에서 핵심적인 위해 요인으로 꼽히는 *Bacillus* 속 및 *Staphylococcus* 속 등을 포함한 다양한 병원성균의 기계적·생물학적 매개체로 작용할 수 있어 중대한 위해 요인이 될 수 있다[22]. 특히 본 연구의 탈지 밀웜 및 건조 굼벵이에서 주목할 점은 수분활성도를 낮추는 건조 공정을 거쳤음에도 불구하고 *B. cereus*와 *S. aureus*가 모두 높은 수준으로 검출되었다는 점이다. 앞서 언급한 바와 같이 토양 및 사료 등에서 유래하는 *B. cereus*는 내열성 포자를 형성하는 특징이 있어, 원물 자체가 높게 오염되어 있을 경우 일반적인 건조나 가공 공정 후에도 사멸하지 않고 잔존할 가능성이 높다[23]. 따라서 곤충의 사육 환경 및 초기 원물의 위생 관리 상태가 안전성에 직접적인 영향을 미칠 수 있음을 시사한다. 이와 더불어 작업자의 신체나 작업 환경으로부터 유래하기 쉬운 *S. aureus*가 함께 검출된 것은 제조 및 포장 단계에서 위생 관리 미흡으로 인한 교차 오염이 발생했을 가능성이 있다는 것을 뒷받침한다[20]. 따라서 식용곤충의 미생물학적 안전성을 확보하기 위해서는 사육 단계에서의 원물 위생 관리뿐만 아니라 가공 단계에서의 교차 오염 방지 대책이 복합적으로 요구된다.

이상의 결과를 종합하면, 본 연구는 특정 식용곤충의 미생물 분포도에 집중했던 기존 선행연구들과 차별화하여 동일한 원물로부터 유래한 다양한 가공형태에 따른 미생물학적 안전성을 비교·분석하였다는 점에서 학술적 기여도가 크다. 특히, 가공 공정 전반의 위해 요소 저감 효과를 정량적으로 확인함과 동시에 균주별 특성을 바탕으로 오염 경로를 추정하였다는 점에서 향후 식용곤충 산업에서 가공 형태별 맞춤형 위생 관리 지침 수립을 위한 과학적 근거로 활용될 수 있을 것으로 기대된다. 다만, 본 연구는 가공 형태별 미생물학적 안전성을 비교하였다는 점에서 의의가 있으나, 특정 판매처로부터 공급받은 제한된 수의 시료를 대상으로 분석을 수행하였다는 한계점이 있다. 식용곤충의 미생물 오염도는 사육 환경 및 제조사별 공정 표준화 정도에 따라 차이가 발생할 수 있으므로, 본 연구 결과를 식용곤충 산업 전체로 일반화하기에는 제한이 따른다. 따라서 향후 다양한 생산 농가와 가공 업체를 포함한 광범위한 모니터링 연구가 지속적으로 수행될 필요가 있다.

그럼에도 불구하고, 본 연구는 시중에 유통되는 식용곤충이 가공 형태에 따라 병원성 미생물의 오염 수준이 다름을 확인하였다. 가공 공정을 통한 전반적인 위해 요소 저감 효과에도 불구하고, 원물 및 일부 가공품 내 고위험성 병원균의 존재는 초기 원물의 위생 관리와 제조 및 유통 과정 전반의 위생 취약성을 시사한다. 결론적으로 향후 식용곤충 산업의 안전성을 확보하기 위해서는 단순한 원물 모니터링을 넘어 각 제품의 가공 형태에 따른 체계적인 미생물 위해 평가 및 표준화된 위생 관리 가이드라인 마련이 필요할 것으로 사료된다.

Acknowledgement

본 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구(No. RS-2024-00359724)이며, 이에 감사드립니다.

국문요약

식용곤충에 대한 관심이 증가함에 따라 미생물학적 품질의 중요성 또한 커지고 있다. 이에 본 연구에서는 가공 형태에 따른 갈색거저리 유충(밀웜; 냉동 원물, 건조, 전지분말, 탈지 분말)과 흰점박이꽃무지 유충(굼벵이; 건조)의 이화학적 특성 및 미생물학적 안전성을 평가하였다. 가공 형태와 관계없이 모든 시료에서 6.56-7.03 범위의 중성 pH가 관찰되었으며, 냉동 원물 밀웜(a_w 0.97)을 제외한 모든 가공 시료에서 0.12-0.23 사이의 낮은 수분활성도(a_w)가 유지되는 것으로 나타났다. 미생물 분석 결과, 냉동 밀웜에서 일반세균, 대장균군, 효모 및 곰팡이의 오염도가 가장 높게 나타났으나, 가공 처리를 거치며 이러한 위생 지표 미생물의 수가 유의미하게 감소하였다. 병원성 미생물 분석 결과, 가공 공정에 관계없이 모든 밀웜 시료 간 식중독균 오염도의 통계적 유의차는 나타나지 않았다. 반면, 건조 굼벵이의 경우 *Bacillus cereus*와 *Staphylococcus aureus*가 각각 4.99, 3.63 log CFU/g으로 검출되었으며, 이는 밀웜 시료 대비 유의적으로 높은 수치로 일부 가공 제품 내 잔존 오염의 가능성을 시사한다. 이러한 결과는 원료 원물부터 가공 전반에서의 위생 관리 취약성을 보여준다. 따라서 본 연구 결과는 식중독을 예방하고 식용곤충의 안전한 활용을 도모하기 위해 표준화된 가공 기술 확립 및 체계적인 미생물 안전성 평가가 필요함을 시사한다.

Conflict of interests

The authors declare no potential conflict of interest.

ORCID

Ji-Yeon Kim https://orcid.org/0000-0001-9463-4562
Yooncheol Shin https://orcid.org/0000-0002-5390-4826
Yang-Ju Son https://orcid.org/0000-0002-7562-1915
Sun-Young Lee https://orcid.org/0000-0003-3911-4200

References

1. Huis, A.V., Itterbeeck, J.V., Klunder, H., Mertens, E., Halloran, A., Muir, G., Vantomme, P., 2013. Edible insects: future prospects for food and feed security, FAO Forestry Paper, Roma, Italy, pp. 15-22.
2. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA), (2024, July 31). The results of the 2021 insect industry survey announcement. Retrieved from https://www.mafra.go.kr/bbs/mafra/65/330865/artclView.do.
3. Rural Development Administration (RDA), (2024, July 30). Nutritious edible insects are health supplements. Retrieved from https://www.rda.go.kr/board/board.do?mode=view&prgId=day_farmprmninfoEntry&dataNo=100000748978.
4. Imathiu, S., Benefits and food safety concerns associated with consumption of edible insects. *NFS J.*, **18**, 1-11 (2020).
5. Yun, E.Y., Hwang, J.S., Goo, T.W., Yoon, Y.I., Chung, M.Y., Yoo, M.R., Comparative analysis of nutritional and harmful components in the Korean and Chinese mealworms (*Tenebrio molitor*). *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.*, **42**, 249-254 (2013).
6. Rural Development Administration (RDA), (2024, July 30). Are insects pests? Now they are helpful friends! Everything about insects. Retrieved from https://rda.go.kr/webzine/2022/11/sub1-7.html.
7. Kim, S.H., Current status and future prospects of the edible insect industry. *World Agric.*, **207**, 43-66 (2017).
8. Hwang, D.S., Lim, C.H., Lee, S.H., Yun, E.Y., Activation plan for the edible insect industry by improving perception. *Food Sci. Ind.*, **55**, 128-139 (2022).
9. Korea Food Research Institute (KFRI), (2024, August 5). Development of protein extraction technology from edible insects with improved essential amino acid index. Retrieved from https://www.nst.re.kr.
10. Van der Fels-Klerx, H.J., Camenzuli, L., Belluco, S., Meijer, N., Ricci, A., Food safety issues related to uses of insects for feeds and foods. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.*, **17**, 1172-1183 (2018).
11. Vandeweyer, D., Wynants, E., Crauwels, S., Verreth, C., Viaene, N., Claes, J., Lievens, B., Van Campenhout, L., Microbial dynamics during industrial rearing, processing, and storage of tropical house crickets (*Gryllodes sigillatus*) for human consumption. *Appl. Environ. Microbiol.*, **84**, e00255-18 (2018).
12. Nyangena, D.N., Mutungi, C., Imathiu, S., Kinyuru, J., Affognon, H., Ekesi, S., Nakimbugwe, D., Fiaboe, K.K.M., Effects of traditional processing techniques on the nutritional and microbiological quality of four edible insect species used for food and feed in East Africa. *Foods,* **9**, 574 (2020).
13. Pal, A., Mann, A., den Bakker, H.C., Analysis of microbial composition of edible insect products available for human consumption within the United States using traditional microbiological methods and whole genome sequencing. *J. Food Prot.*, **87**, 100277 (2024).
14. Megido, R.C., Poelaert, C., Ernens, M., Liotta, M., Blecker, C., Danthine, S., Tyteca, E., Haubruge, É., Alabi, T., Bindelle, J., Francis, F., Effect of household cooking techniques on the microbiological load and the nutritional quality of mealworms (*Tenebrio molitor* L. 1758). *Food Res. Int.*, **106**, 503-508 (2018).
15. Vandeweyer, D., Crauwels, S., Lievens, B., Van Campenhout, L., Microbial counts of mealworm larvae (*Tenebrio molitor*) and crickets (*Acheta domesticus* and *Gryllodes sigillatus*) from different rearing companies and different production batches. *Int. J. Food Microbiol.*, **242**, 13-18 (2017).
16. Sim, S.Y., Ahn, H.Y., Seo, K.I., Cho, Y.S., Physicochemical properties and biological activities of *Protaetia brevitarsis seulensis* larvae fermented by several kinds of micro-organisms. *J. Life Sci.*, **28**, 827-834 (2018).
17. Grabowski, N.T., Klein, G., Microbiology of processed edible insect products–results of a preliminary survey. *Int. J. Food Microbiol.*, **243**, 103-107 (2017).
18. Lee, S., Choi, Y.S., Jo, K., Kim, T.K., Yong, H.I., Jung, S., Quality characteristics and protein digestibility of *Protaetia brevitarsis* larvae. *J. Anim. Sci. Technol.*, **62**, 741-752 (2020).
19. Yang, S., Wang, Y., Ren, F., Wang, X., Zhang, W., Pei, X., Dong, Q., The sources of *Bacillus cereus* contamination and their association with cereulide production in dairy and cooked rice processing lines. *Food Qual. Saf.,* **7**, 1-14 (2023)
20. Khan, J.A., Ahmad, I., Gill, R., Husain, F.M., Albalawi, T., Alam, P., Kenea, T., Gizaw, O., Neyaz, L.A., Elbanna, K., Abulreesh, H.H., Prevalence, cross contamination, virulence, and multidrug resistance profiles of *Staphylococcus aureus* isolates from four middle-scale dairy farms in Bareilly, Northern India. *Foodborne Pathog. Dis.*, **22**, 540-550 (2025).
21. Fasolato, L., Cardazzo, B., Carraro, L., Fontana, F., Novelli, E., Balzan, S., Edible processed insects from e-commerce: food safety with a focus on the *Bacillus cereus* group. *Food Microbiol.*, **76**, 296-303 (2018).
22. Pedonese, F., Fratini, F., Copelotti, E., Marconi, F., Carrese, R., Mancini, S., Behaviour of *Staphylococcus aureus* in the rearing substrate of *Tenebrio molitor* larvae. *Vet. Sci.*, **10**, 549 (2023).
23. Gałęcki, R., Bakuła, T., Gołaszewski, J., Foodborne diseases in the edible insect industry in Europe—New challenges and old problems. *Foods,* **12**, 770 (2023).
24. Rodrigo, D., Rosell, C.M., Martinez, A., Risk of *Bacillus cereus* in relation to rice and derivatives. *Foods*, **10**, 302 (2021).