

Improving the Nutritional Value of *Tenebrio molitor* Larvae by Feeding Them a Soymilk Residue-added Food Source

So-Yun Kim, Min Ji Park, Jeong-Hun Song, Sangmin Ji, Gyu-Dong Chang and Sun Young Kim*

Industrial Insect Sericulture Division, Department of Agricultural Biology, National Institute of Agricultural Sciences, RDA, Wanju 55365, Korea

Received February 8, 2024 / Revised March 18, 2024 / Accepted March 19, 2024

To verify the nutritional value and safety of larvae fed with a soymilk residue-added food source, we compared and analyzed the nutritional components of and harmful substances in *Tenebrio molitor* larvae reared on wheat bran. Crude protein content based on dry weight was 1.2 times higher in the 10% soymilk residue-fed group (SR) (54.0%) than in the wheat bran-fed group (WB) (43.5%). Dietary fiber also tended to be 1.9 times more in the SR (4.9%) than the WB (2.5%). Among unsaturated fatty acids, the linoleic acid content was found to be 1.1-fold higher in the SR (32.9%) than in the WB (29.0%). Potassium, which was the most abundant among the macro minerals, was 1.1-fold more abundant in the WB (1,074.5 mg/100 g) than in the SR (1,014.0 mg/100 g). Among the micro minerals, zinc content was 1.2-fold higher in the SR (14.5 mg/100 g) than in the WB (11.9 mg/100 g). The results of the analysis of hazardous substances in the WB and SR revealed that the amount of heavy metals met the standards for heavy metals in edible insects, and food poisoning-inducing bacteria such as *Escherichia coli* and *Salmonella* spp. were not detected in all groups. These results indicate that mealworm larvae fed with 10% soymilk residue have abundant nutrients and are safe for intake. Thus, food sources with added soymilk residue has the potential to be used as feed ingredients.

Key words : Hazardous substances, nutrients, soymilk residue, *Tenebrio molitor* larvae

서 론

식용곤충 산업은 전 세계적으로 시장 규모가 빠르게 성장하고 있다[13]. 곤충은 전 세계적으로 과거부터 세계 여러 지역에서 섭취해오고 있었으며, 최근에는 식용곤충이 가지고 있는 고품질의 단백질, 비타민, 미네랄 등의 영양성분과 함께 경제적, 환경적 이점에 따라 미래 식량 자원으로 주목받고 있다[12, 29]. 이에 따라 식용곤충 시장 또한 세계적으로 2026년까지 15억 달러 규모의 시장이 형성될 것으로 전망되며[13], 국내 시장은 2030년까지 6,309억 원의 시장이 형성될 것으로 예상되고 있다[32].

현재까지 국내에서 식용곤충으로 등록된 곤충 종은 총 10종이다. 그 가운데 판매량이 가장 많은 대표적인 곤충 종은 흰점박이꽃무지, 쌍별귀뚜라미, 갈색거저리 등이다. 이들 식용곤충은 동일한 곤충 종이라 할지라도, 곤충의

서식지 및 환경조건뿐만 아니라 곤충이 섭취하는 먹이 조건에 따라 영양성분이 달라질 수 있다[24]. 따라서 식품 소재로 재활용이 가능한 농업부산물, 식품가공 부산물 등을 첨가한 먹이원 급이를 통해 곤충의 영양성을 증진시키는 노력이 필요할 것이다.

지금까지 식용곤충의 이용 확대를 위해 이들 식용곤충 종에 대한 영양성분을 분석한 연구로는 갈색거저리[39], 장수풍뎅이 유충[3, 22, 23]을 대상으로 한 연구가 있다. 또한 기존의 먹이원에 새로운 첨가물로 비지박[24] 등 새로운 첨가물을 넣은 후 새롭게 영양분석을 시행한 연구들도 등장하고 있다. 뿐만 아니라, 갈색거저리 생리활성에 관한 연구로 유충 건조 방식이 갈색거저리 유충 추출물의 항산화 능력에 미치는 영향[19], 갈색거저리 유충 저온 추출물의 대식 세포 내 면역 반응 유도 효과[19], 동결건조 갈색거저리 유충의 항염증 효과[18] 등 많은 연구 결과가 발표되었다. 더불어, 텍사메타손으로 유발된 근육 위축에 대한 갈색거저리 추출물의 근육 위축 완화 효과 및 근육 조직 분화[6], 갈색거저리 유충 추출물의 인간 모유두세포 및 섬유아세포의 세포 증식 효과[3] 등 갈색거저리 유충의 기능성에 대한 연구가 활발하게 이루어지고 있다.

본 연구에서는 대표적인 식용곤충 종 중의 하나인 갈색거저리(*Tenebrio molitor* L.) 유충의 사육 시 먹이원으로

*Corresponding author

Tel : +82-63-238-2978, Fax : +82-63-238-3833

E-mail : carp0120@korea.kr

This is an Open-Access article 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.

투입되는 밀기울에 친환경 소재인 콩류가공부산물로 두유박(두유 제조 시 부산물, Soymilk residue)을 첨가하여 먹이원 급이에 따른 갈색거저리 유충의 영양성을 분석하고자 하였다. 갈색거저리는 딱정벌레목(Coleoptera) 거저리과(Tenebrionidae), 곡물거저리속에 속하는 곤충으로 한국, 중국, 일본 등 전 세계에 분포하고 있으며, 식용 및 사료용 곤충으로 활발하게 이용되고 있는 종이다. 유충의 몸 길이는 28-35 mm이며, 알→애벌레→번데기→성충의 과정으로 성장하고, 사육환경에 따라 1년에 3-4세대를 이룰 수 있다[33]. 특히 대량으로 사육할 수 있는 시스템이 체계적으로 구축되어 있어서 산업화에 용이하다는 장점을 가지고 있다[39]. 또한 두유박은 사람이 섭취하기 위해 생산된 두유 음료의 부산물로 단백질 함량과 비섬유질 탄수화물 함량 등 영양성분이 높은 부산물 중 하나이다[8, 39].

최근 갈색거저리 관련 식품으로 쿠키[31], 파스타[20], 죽[36] 등에 갈색거저리 성분을 첨가하여 식품을 제조한 후 그 품질의 특성을 평가하는 연구가 진행되고 있기는 하지만, 그 원재료가 되는 식용곤충에 대한 영양성을 증진시키기 위한 연구는 아직까지 미비한 실정이다.

이에 본 연구에서는 갈색거저리의 먹이원으로 두유박을 첨가하여 급이 함으로써 유충의 성장과 사료 전환 효율을 높임으로써 유충의 발육 기간을 단축시키고 생산비의 단가를 줄일 뿐 아니라, 유충의 영양성 증진효과를 확인하고자 하였다. 이를 통해 보다 영양적으로 우수한 식품 및 사료원료로서의 영양적 가치가 높은 양질의 유충 수확 효과가 예상되며, 가격 경쟁력을 갖추는 등 가치를 증진시킬 수 있을 것으로 기대한다.

재료 및 방법

실험곤충 및 전처리

실험 곤충인 갈색거저리 유충은 농업생명자원 관리 업무에 관한 훈령[34]에 따라 등록하여 보존 중인 곤충생명자원 고103계통(곤충생명자원등록번호 KE20021, <https://genebank.rda.go.kr>)을 이용하였고, 국립농업과학원 곤충양잠산업과의 곤충사육실 내에서 사육하였다. 사육실 내부는 온도 26±1℃, 상대습도 60±5%, 광주기 9L:15D 조건이었으며, 사각 형태의 플라스틱 사육상자(가로 27 × 세로 36 × 높이 8 cm)에서 약 90일간 100% 밀기울과 10% 두유박+90% 밀기울 급이군으로 집단 사육하였다. 본 실험에 사용된 두유박은 정식품 청주공장(충북 청주시 흥덕구 산단로 124)으로부터 공급받았다. 실험은 1일 동안 산란한 갈색거저리 부화유충을 대상으로 12,000마리씩 3반복하였다. 이후 약 2일간 유충을 절식시킨 후 채반을 이용하여 이물질을 제거한 후 물에 2-3회 세척하고 물기를 제거하였다. 전 처리된 유충은 115℃, 0.9 kgf/cm²로 10-15분 동안

가압증기멸균기(Tomy Kogyo co., LTD, Tokyo, Japan)로 고온고압멸균하고 영하 70℃의 초저온 냉동고(NIHON freezer, Tokyo, Japan)에서 24시간 이상 급속 냉동하였다. 그런 다음 동결건조기(Ilshinbiobase, Dongducheon, Korea)를 이용하여 약 655시간 동안 건조시킨 후 100 메쉬로 분쇄기(Garyeo Industry, Siheung, Korea)에 분쇄하여 갈색거저리 유충의 분말을 제조하였다.

일반성분 분석

일반성분 분석은 식품의약품안전처의 식품공전의 식품성분시험법에 따라 실시하였고, 공인분석화학자협회(Association of Official Analytical Chemists, AOAC) [2]의 기준에 따라 조사하였다. 수분 함량은 105℃ 건조기를 사용하여 상압건조법, 조회분 함량은 검체가 백색-회백색의 회분이 얻어질 때까지 550℃ 직접회화법을 이용하여 분석하였다. 조단백질 함량은 질소정량법으로 micro-Kjeldahl 법을 이용하여 검체에 단백질 분해촉진제와 황산을 넣어 분해한 다음 FOSS kjeltec 8400 (Fisher Scientific, Hampton, NH, USA) 단백질 자동분석기로 함량을 측정하였다. 조지방 함량분석은 석유 ether를 추출 용매로 Soxhlet 법을 이용하였고, 수분, 조회분, 조단백질, 조지방의 분석된 함량으로부터 탄수화물 함량을 계산하였다.

지방산 조성 분석

포화지방산과 불포화지방산은 식품공전의 지방산 시험법 및 Folch 등[11]의 방법에 준하여 실시하였다. 균질화된 시료 50 g과 chloroform:methanol (2:1) 용액 250 ml을 homogenizer 3,000 ppm으로 지질을 추출하였다. 무수황산나트륨으로 수분을 제거하고 여과액을 50-55℃에서 농축하였다. 1 ml 트리코산산을 먼저 첨가한 후, 1 ml 0.5 N 수산화나트륨을 첨가하였다. 100℃에서 20분 동안 가열 후 30분간 냉각한 다음 삼불화붕소를 2 ml 첨가하고 20분간 가열 후 30분간 냉각하였다. 1 ml 헵탄과 8 ml 염화나트륨을 첨가 후 상층액을 취하였다. 이 후 불꽃이온화 검출기가 장착된 GC (gas chromatograph, US/HP 6890, Agilent Technologies, Santa Clara, USA)에 주입하고 검출온도 285℃, 흐름속도 0.75 ml/min, 주입량 1 µl, 오븐온도 100℃ (4 min), 208℃(3℃/min), 244℃(15 min)의 분석조건으로 지방산을 분석을 실시하였다.

무기질 조성 비교분석

무기질 및 중금속 분석은 식품공전 규정에 따라 분석하였다. 아메리카왕거저리 유충시료 체내의 미량 원소 및 중금속 분석을 위해 동결건조된 시료 분말 50 mg을 예비회화 시켰다. 무기질 분석은 준비된 아메리카왕거저리 유충시료를 건조하고 탄화시키고 450-550℃에서 완전히 회화시켰다. 이 후 염산을 추가하여 유리여과기로 여과한 후

유도 결합 플라즈마 발광분석기(inductively coupled plasma optical emission spectrometer, ICP-OES, Horiba, Kyoto, Japan)를 이용하여 함량을 측정하였다. 몰리브덴(Mo) 및 셀레늄(Se)은 건식분해법에 의하여 시료를 전처리하였으며 염소(Cl) 분석은 식염 1 g을 함유하는 검체를 회화시킨 후 물에 녹여 여과하여 크롬산칼륨시액을 첨가한 후 질산 용액으로 적정하여 염소의 양을 산출하였다.

중금속의 분석은 시료를 600°C의 전기로에서 2시간 이상 회화시키고 염산용액(1:1)을 첨가하여 18시간 방치하며 용해하였다. 용해된 시료를 No. 6 여과지(Whatman International Co., Maidstone, UK)로 여과하였고, 중금속 함량도 플라즈마 발광분석기(ICP-OES, Horiba, Kyoto, Japan)를 이용하여 분석하였다[11]. 분석시료는 유도결합플라즈마법(inductively coupled plasma, ICP)을 이용하여 측정하였고 원소별 측정 파장은 납(Pb) 207 amu, 카드뮴(Cd) 111 amu로 측정하였다. 수은(Hg) 분석은 황산-질산환류법으로 10 g의 동결건조된 유충을 분해플라스크에 취하고, 물 10 ml 및 질산 20 ml를 넣어 혼합하여 잠시 방치한 다음 황산 20 ml를 천천히 넣고 주의하며 NO₂의 발생이 끝나면 식힌 다음 물 50 ml 및 10% 요소용액 10 ml를 넣고 10분간 끓이고 식혀 과망간산칼륨 1 g을 넣고 10분간 때때로 흔들어서 섞었다. 자홍색이 없어지면 다시 과망간산칼륨 1 g을 넣고 흔들어서 자홍색이 남을 때까지 반복하여 20분간 끓였다. 자홍색이 없어지면 식힌 후 과망간산칼륨 1 g을 넣어 다시 20분간 가열한 후 식혀 용액이 무색투명하게 될 때까지 10% 과산화수소용액을 첨가하였다. 이후 식힌 후 장치의 내부 및 연결 부분을 희석된 황산 20 ml로 씻고 플라스크에 합쳐 일정량으로 하여 수은분석기로 측정하였다.

유해미생물 분석

식품공전의 규정에 따라 식중독균(*Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella* spp.) 유무를 검사하였다[17]. 대장균 O157:H7 (*E. coli* O157:H7)의 검사는 시료 25 g을 225 ml의 mEC 배지(EC broth, Novobiocin Supplement, Thermo Fisher Scientific, UK)에 첨가한 뒤 35-37°C에서 24±2시간 배양하였다. 증균 배양액을 cefixime (0.05 mg/l) 및 potassium tellurite (2.5 mg/l)가 첨가된 MacConkey sorbitol 한천배지(Sorbitol MacConkey Agar, Thermo Fisher Scientific, UK)에 도말하였고, 35-37°C에서 18시간 배양하였다. 대장균으로 간주되는 보라색 집락을 보통한천배지에 접종하여 순수 배양하였다. 이 후 그람염색법과 O/H 혈청형 시험법을 이용하여 대장균 유무를 확인하였다. 또한 분자생물학적 방법으로서 각각의 배지 225 ml에 시료 25 g을 넣고 36°C에서 24시간동안 배양한 배양액 1 ml를 취하여 세척한 후 멸균증류수 200 µl를 섞고 10분간 가열한 후 원심분리 후 상등액 5 µl를 주형 DNA로 사용하였고, PCR 분석은

VT1, VT2 프라이머를 이용하여 수행 후 전기영동으로 UV를 이용하여 균의 검출 여부를 평가하였다.

살모넬라균(*Salmonella* spp.)은 시료 25 g을 225 ml의 펩톤수에 첨가한 후 35-37°C에서 24±2시간 배양하였다. 배양액 0.1 ml를 취하여 10 ml의 Rappaport-Vassiliadis 배지에 접종한 뒤, 42±1°C에서 24±2시간 배양하였다. XLD 한천배지에 접종 후 집락의 중앙 부분이 검거나 붉으면 보통한천배지에 접종하여 36±1°C, 24시간 동안 배양하였다. 이 후, TSI 한천배지(Triple Sugar Iron Agar, Thermo Fisher Scientific, UK)에 접종 후 살모넬라균으로 의심될 경우, 그람염색법과 살모넬라균(*Salmonella* spp.) O/H 혈청 응집 시험법으로 확인하였다.

결과 및 고찰

일반성분 비교분석

10% 두유박 첨가 급이균(SR)과 밀기울로 사육한 갈색 거저리 유충(WB)의 일반성분 분석 결과(Table 1), 건조중량 기준 조단백질 함량이 43.5-54.0%로 가장 많았고, 조지방 27.2-29.3%, 식이섬유 2.5-4.9%, 탄수화물 9.6-19.8%, 조회분 4.1-5.5%, 수분 함량은 3.3-3.7%로 나타났다. 조단백질은 SR에서 51.3%로 WB에 비해 1.2배 더 많았다. 식이섬유 함량은 SR (4.9%)가 WB (2.5%)에 비해 1.9배 더 많은 경향을 나타냈다.

일반식품의 단백질 함량은 난류 8.5-14.7%, 육류 16.1-35.1%, 어류 7.1-56.0%, 두류 7.9-26.1%이다[3]. 식용곤충인 벼메뚜기(70.4%), 쌍별귀뚜라미(64.3%), 흰점박이꽃무지(57.9%), 누에(56.8%), 장수풍뎅이(39.3%)의 단백질 함량은 39.3-70.4%로 육류에 비해 1.1-4.4배나 많았다[3, 7]. WB의 단백질 함량은 43.5%로 장수풍뎅이보다 1.1배 더 높았고, SR의 단백질은 54.0%로 장수풍뎅이보다 1.4배 더

Table 1. General components of wheat bran- and food source supplemented with 10% soymilk residue-eating *T. molitor* larvae

General component (%)	WB	SR
Moisture	3.3±0.7	3.7±0.4
Crude protein	43.5±3.3	54.0±1.8 ^{**1)}
Crude fat	29.3±0.3	27.2±0.4
Crude ash	4.1±0.2	5.5±0.3
Crude fiber	2.5±2.4	4.9±0.8
Carbohydrate [†]	19.8±3.1	9.6±0.7

[†]Carbohydrate = 100 - (moisture + crude protein + crude fat + crude ash)

¹⁾Values are mean ± S.D., n=2, T-Test, ^{**}p<0.01

WB, wheat bran-eating *T. molitor* larvae; SR, food source supplemented with 10% soymilk residue-eating *T. molitor* larvae.

높았다. 높은 단백질과 식이섬유 함량을 고려할 때, 10% 두유박 첨가 먹이원 급이 갈색거저리 유충은 식용 혹은 사료용 동물성 단백질 대체제로 활용될 가능성이 있다고 판단된다.

지방산 조성 비교분석

10% 첨가 두유박과 밀기울로 사육한 갈색거저리 유충(SR, WB)의 지방산을 불포화지방산과 포화지방산으로 나누어 분석하였다(Fig. 1). 전체 지방산 함량 중 불포화지방산 함량은 SR과 WB에서 각각 74.4%, 75.3%, 포화지방산은 25.5%, 25.2%로 불포화지방산과 포화지방산 모두 비슷한 함량을 나타냈다. Fig. 1에서 보는 바와 같이, 3개의 포화지방산(myristic acid, palmitic acid, stearic acid) 중, palmitic acid가 가장 많았으며, SR (19.0%)와 WB (19.2%)에서 비슷한 수치였다.

8개의 불포화지방산 중 γ -linolenic acid, eicosapentaenoic acid (EPA), docosahexaenoic acid (DHA)는 불검출되었다. 불포화지방산 중 oleic acid는 SR (38.6%)과 WB (42.1%)에서 가장 높은 함량을 나타냈고 WB에서 1.1배 더 높은 경향을 나타냈다. Oleic acid는 혈중 콜레스테롤 및 혈압 강하 등 심혈관 질환 예방 효과가 있을 뿐만 아니라, 뼈 손상 억제 및 뼈 조직 생성 효능도 있어 골다공증을 예방한다고 알려져 있다[3, 4, 9, 38]. 두 번째로 높은 수치를 나타낸 linoleic acid는 SR (32.9%)에서 WB (29.0%)보다 1.1배 더 높았다. 필수지방산에 속하는 linoleic acid는 지방세포가 커지는 것을 억제하고, 지방세포의 산화를 증진시키고, 근육의 생성을 도모하는 효능을 가져 체중 감량과 근력 강화에 도움이 된다고 보고하였다[1, 15, 30].

10% 두유박 첨가 먹이원과 밀기울로 사육한 갈색거저리 유충(SR, WB)의 불포화지방산은 각각 75.3%와 74.4%

로 흰점박이꽃무지(80.0%)에 비해 1.1배 낮게 포함되어 있었고, 장수풍뎅이(59.6%)보다는 1.2-1.3배 높은 수치였다[1, 22]. 또한, 불포화지방산은 주로 식물성지방과 어패류 지방에 많으며, 식품 중 올리브 오일 84.1%, 아보카도 오일 62.5%, 계란 65.5%, 소고기(안심) 56.5%, 고등어 70.6%, 오리고기에서 69.3%를 함유하고 있다[5, 16, 17, 27]. SR과 WB의 불포화지방산은 주단백질원에 속하는 소고기(안심) 56.5% 보다 1.3배 높았기 때문에 육류 대체식품으로 활용될 가치가 있다. 특히, linoleic acid와 oleic acid 함량이 높은 점을 고려했을 때, 두유박 첨가 먹이원으로 사육한 갈색거저리 유충은 심혈관 질환 및 골다공증 예방 효과를 가지는 식품 및 사료 원료로 이용될 가능성이 매우 높다고 생각된다.

무기질 조성 비교분석

10% 두유박 첨가 먹이원과 밀기울로 사육한 갈색거저리 유충(SR, WB)의 다량무기질 함량을 비교분석한 결과, 칼륨(1,014.0 mg/100 g과 1,074.5 mg/100 g), 인(879.2 mg/100 g과 740.7 mg/100 g), 마그네슘(245.7 mg/100 g과 202.3 mg/100 g), 칼슘(43.9 mg/100 g 과 37.9 mg/100 g) 순으로 나타났다(Fig. 2). 다량무기질은 칼륨을 제외한 모든 항목의 SR에서 WB에 비해 1.2배 높았다. SR과 WB에서 가장 높은 함량이었던 칼륨은 근육의 수축과 이완, 나트륨 과잉섭취에 의한 고혈압, 심근경색 등의 심혈관 질환 발생 억제 효능이 있다고 알려져 있으며[24, 23], 칼륨의 섭취는 신장결석 예방[10]과 골다공증[14, 40, 41]에 도움을 주는 것으로 연구된 바 있다. SR과 WB에서 2번째로 높았던 인 함량은 SR이 WB에 비해 1.2배 많았으며, 인은 뼈와 이를 형성하고, 근육, 뇌, 신경 등에 포함되어 에너지를 발생시키는 화합물의 구성 성분이 된다고 연구되어 있으며, 초

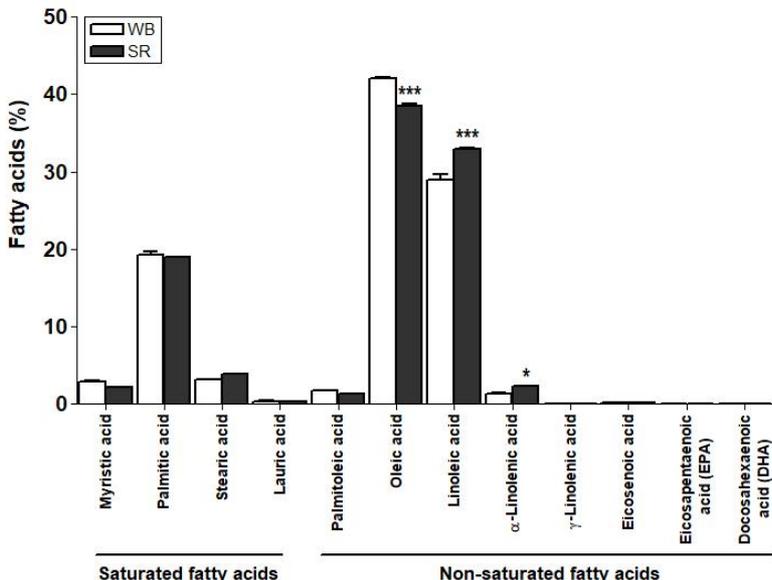


Fig. 1. Fatty acid compositions of of wheat bran- and food source supplemented with 10% soymilk residue-eating *T. molitor* larvae. The values showed as means \pm S.D., n=2. One-way ANOVA test, * p <0.05, *** p <0.001

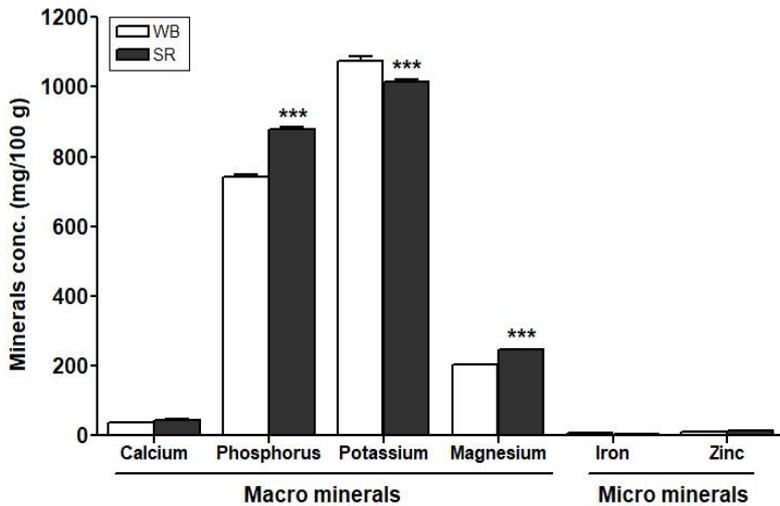


Fig. 2. Mineral contents of wheat bran- and food source supplemented with 10% soymilk residue-eating *T. molitor* larvae. The values showed as means \pm S.D., n=2. One-way ANOVA test, *** p <0.001

등학교 아동의 적절한 인 섭취는 영구치 우식 예방 효과가 있다고 알려져 있다[37]. 식용곤충 3종(갈색거저리, 흰점박이꽃무지, 장수풍뎅이)에서도 칼륨(865.2-1,597.0 mg/100 g)과 인(424.7-593.2 mg/100 g) 함량이 높게 나타났다 [5, 29, 31]. SR과 WB의 미량무기질 함량 분석 결과, 아연 (14.5 mg/100 g과 11.9mg/100 g), 철(4.5 mg/100 g과 5.9 mg/100 g) 순이었다(Fig. 2). 가장 높은 함량을 나타낸 아연은 비타민 A를 활성화시켜 체내로 유입되는 바이러스와 세균으로부터 몸을 보호하는 기능을 강화시키고, 새로운 세포, DNA 합성에 관여하므로 면역세포 및 항체 생산에 꼭 필요하다[35]. 또한, 면역력 상승, 몸 내외 상처 치유, 남성의 생식기능, 염증성 피부질환 개선, 뇌 기능 활성화 등에 도움을 주는 것으로 밝혀졌다[28]. 다음으로 높게 나타났던 철은 WB에서 SR에 비해 1.2배 높았고, 철은 헤모글로빈의 필수성분으로 근육 대사와 결합조직의 건강 유지 역할을 하며, 인체의 성장, 신경 발달, 세포 기능, 일부 호르몬 합성에도 관여하는 것으로 알려져 있다[3, 26].

무기질은 세포가 여러 기능을 하는데 필수적인 영양소로 효소의 작용, 체내 전해질 균형 조절, 신경자극 전달 조절, 혈액순환, 근육 수축, 뼈의 형성과 성장 발달 등 다양한 생체 과정에 관여한다[22, 28, 34]. 따라서 두유박 첨가 먹이원으로 사육한 갈색거저리 유충은 무기질을 골고

루 함유하고 있기 때문에 식품 원료나 사료 첨가제로 활용하기에 좋은 소재라고 생각된다.

유해물질 비교분석

중금속(납, 카드뮴, 비소)과 병원성 미생물 대장균(*E. coli*)과 살모넬라균(*salmonella* spp.)의 유해물질 검사 결과는 Table 2에 제시하였다. 중금속 3종 분석 결과, 납은 WB에서 0.01 mg/kg, SR에서 0.002 mg/kg, WB와 SR 모두 카드뮴 0.05 mg/kg, 무기비소 0.01 mg/kg 검출되었다. 식용곤충 중금속 관리 기준은 건물질 경우, 납(0.1 mg/kg, 흰점박이꽃무지 및 장수풍뎅이 유충에 한해서만 0.3 mg/kg), 카드뮴(0.1 mg/kg), 무기비소(0.1 mg/kg)로 정해져 있으며, WB와 SR의 중금속 함량은 현 식용곤충 중금속 관리 기준에 적합한 수준으로 검출되었다. Table 2에 나타난 것처럼 병원성 미생물인 대장균과 살모넬라균은 SR과 WB에서 불검출되었다.

위의 결과에 따르면 조단백질, 식이섬유 함량이 SR에서 WB보다 1.2-1.9배 많았다. 또한, SR에서 WB에 비해 무기질 함량이 1.2배 높았다. 10% 두유박을 첨가 먹이원급이 갈색거저리 유충은 단백질 함량(54.0%)이 식용곤충인 장수풍뎅이 유충(39.3%) 보다 1.4배 많았다. 또한 SR과 WB에서 불포화지방산(74.4-75.3%) 등 체내에서 합성되지

Table 2. Hazardous substances of wheat bran- and food source supplemented with 10% soymilk residue-eating *T. molitor* larvae

Hazardous substance	Content	WB	SR
Heavy metals (mg/kg)	Lead (Pb)	0.01	0.002
	Cadmium (Cd)	0.05	0.05
	Inorganic arsenic	0.01	0.01
Food poisoning bacteria	<i>Escherichia coli</i> (O157:H7)	ND [†]	ND [†]
	<i>Salmonella</i> spp.	ND [†]	ND [†]

[†]ND, Not Detected.

WB, wheat bran-eating *T. molitor* larvae; SR, food source supplemented with 10% soymilk residue-eating *T. molitor* larvae.

않는 영양소를 많이 함유하고 있을 뿐만 아니라 중금속, 병원성 미생물 등 유해물질 분석 결과 안전성이 검증되었다.

먹이원은 유충의 성장과 사료전환효율에 영향을 미치며, 곤충의 종과 먹이원에 따라 유충의 화학적 구성도 달라진다. 특히 유충의 성장과 사료전환효율은 고단백 사료에서 더 높은 것으로 밝혀졌다[12, 36]. 따라서, 갈색거저리의 발육 기간을 단축시키고, 사료 가치를 높이기 위해서는 저렴하고 질 좋은 곤충 먹이원 개발이 시급하다.

갈색거저리의 단백질 함량과 비교했을 때 SR은 WB 보다 1.2배 높았다. 무기질 중 골격과 치아조직 형성, 신경과 근육 기능 유지, 신체 효소 반응에 관여하는 등의 기능을 가지는 인, 마그네슘의 함량이 10% 두유박 첨가 먹이원 급이 유충에서 표준먹이원인 밀기울 급이 유충에서 보다 1.2배 높았다. 10% 두유박 첨가 먹이원 급이 유충은 단백질 함량이 높고 다양한 무기질을 함유하기 때문에

균형잡힌 영양식을 요구하는 노인이나 성장기 어린이 등에게 좋은 식품원료나 사료 첨가제로 활용될 가치가 있다고 생각된다.

감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 연구사업(연구개발과제명: 산업곤충의 품종육성 및 스마트 대량생산체계 구축, IRIS번호: RS-2021-RD009647)의 지원에 의해 이루어진 것입니다.

The Conflict of Interest Statement

The authors declare that they have no conflicts of interest with the contents of this article.

References

1. Angerer, P. and von Schacky, C. 2000. n-3 polyunsaturated fatty acids and the cardiovascular system. *Curr. Opin. Lipidol.* **11**, 57-63.
2. AOAC. 2003. Official Methods of Analysis (17th ed.). Association of Official Analytical Chemists. Washington, DC, USA.
3. Baek, M. H., Hwang, J. S., Kim, M. A., Kim, S. H., Goo, T. W. and Yun, E. Y. 2017. Comparative analysis of nutritional components of edible insects registered as novel foods. *J. Life Sci.* **27**, 334-338.
4. Bullon, P., Battino, M., Varela-Lopez, A., Perez-Lopez, P., Granados-Principal, S., Ramirez-Tortosa, M. C., Ochoa, J. J., Cordero, M. D., Gonzalez-Alonso, A., Ramirez-Tortosa, C. L., Rubini, C., Zizzi, A. and Quiles, J. L. 2013. Diets based on virgin olive oil or fish oil but not on sunflower oil prevent age-related alveolar bone resorption by mitochondrial-related mechanisms. *PLoS One* **8**, e74234.
5. Cho, E. A. and Lee, Y. S. 2014. A study on the classifying quality standard by comparison with physicochemical characteristics of virgin, pure, pomace olive oil. *Kor. J. Food Nutr.* **27**, 339-347.
6. Choi, R. Y., Kim, B. S., Ban, E. J., Seo, M., Lee, J. H. and Kim, I. W. 2023. Mealworm ethanol extract enhances myogenic differentiation and alleviates dexamethasone-induced muscle atrophy in C2C12 Cells. *Life* **13**, 58.
7. Chung, M. Y., Hwang, J. S., Goo, T. W. and Yun, E. Y. 2013. Analysis of general composition and harmful material of *Protaetia brevitarsis*. *J. Life Sci.* **23**, 664-668.
8. Davy, P. and Vuong, Q. V. 2022. Soy milk by-product: It composition and utilization. *Food Reviews International* **38**, 147-169.
9. Elbahnasawy, A. S., Valeeva, E. R., El-Sayed, E. M. and Stepanova, N. V. 2019. Protective effect of dietary oils containing omega-3 fatty acids against glucocorticoid-induced osteoporosis. *J. Nutr. Health* **52**, 323-331.
10. Ferraro, P. M., Mandel, E. I., Curhan, G. C., Gambaro, G. and Taylor, E. N. 2016. Dietary protein and potassium, diet-dependent net acid load, and risk of incident kidney stones. *Clin. J. Am. Soc. Nephrol.* **11**, 1834-1844.
11. Folch, J., Lees, M. and Stanley, G. H. S. 1957. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *JBC* **226**, 497-509.
12. Ghosh, S., Lee, S., Jung, C. Meyer-Rochow, V. B. 2017. Nutritional composition of five commercial edible insects in South Korea. *J. Asia-Pacific Entomol.* **20**, 686-694.
13. Global Market Insights, 2020. Edible insects market size by product (beetles, caterpillars, grasshoppers, bees, wasps, ants, scale insects & tree bugs), by application (flour, protein bars, snacks), industry analysis report, regional outlook, application potential, price trends, competitive market share & forecast, 2020-2026.
14. Ha, J. W., Kim, S. A., Lim, K. J. and Shin, S. A. 2020. The association of potassium intake with bone mineral density and the prevalence of osteoporosis among older Korean adults. *Nutr. Res. Pract.* **14**, 55-61.
15. Harper, C. R. and Jacobson, T. A. 2001. The fats of life: the role of omega-3 fatty acids in the prevention of coronary heart disease. *Arch. Intern. Med.* **161**, 2185-2192.
16. Hong, E. C., Choo, H. J., Kang, B. S., Kim, C. D., Heo, K. N., Lee, M. J., Hwangbo, J., Suh, O. S., Choi, H. C. and Kim, H. K. 2012. Performance of growing period of large-type Korean native ducks. *Kor. J. Poult. Sci.* **39**, 143-149.
17. Indriyani, L., Rohman A. and Riyanto, S. 2016. Physicochemical characterization of Avocado (*Persea Americana* Mill.) oil from three Indonesian avocado cultivars. *Res. J. Med. Plants* **10**, 67-78.
18. Kang, M. S., Kim, M. J., Han, J. S. and Kim, A. J. 2017. Fatty acid composition and anti-inflammatory effects of the freeze dried *Tenebrio molitor* larva. *Korean J. Food Nutr.* **30**, 251-256.
19. Keil, C., Grebenteuch, S., Kröncke, N., Kulow, F., Pfeif, S., Kanzler, C., Rohn, S., Boeck, G., Benning, R., and

- Haase, H. 2022. Systematic studies on the antioxidant capacity and volatile compound profile of yellow mealworm larvae (*T. molitor* L.) under different drying regimes. *Insects* **13**, 166.
20. Kim, H. S., Yoo, B. G., Hong, J. P. and Byun, E. H. 2023. Low-temperature extracts of *Tenebrio molitor* larvae modulate immune activity in macrophages through the MAPKs and NF- κ B signaling pathways. *Korean J. Food Sci. Technol.* **55**, 213-219.
21. Kim, S. H., Kim, K. B., Noh, J. S., Yun, E. Y. and Choi, S. K. 2014. Quality characteristics of pasta with addition of mealworm (*Tenebrio molitor*). *Foodservice Industry Journal* **10**, 55-64.
22. Kim, S. Y., Kim, H. G., Ko, H. J., Kim, M. A., Kim, I. W., Seo, M. C., Lee, H. J., Baek, M. H., Hwang, J. S. and Yoon, H. J. 2019. Comparative analysis of nutrients and hazardous substances in *Zophobas atratus* larvae. *J. Life Sci.* **29**, 1378-1385.
23. Kim, S. Y., Kwak, K., Lee, K. Y., Ko, H. J., Kim, Y. S., Kim, E. S., Park, K. H. and Yoon, H. J. 2020. Comparative analysis of nutritional components of *Zophobas atratus* larvae raised with artificial diet and wheat bran. *J. Life Sci.* **30**, 1109-1117.
24. Kim, S. Y., Lee, K. Y., Kim, H. G., Hwang, J. S. and Yoon, H. J. 2017. A nutritional analysis of Chinese red-headed Centipedes (*Scolopendra subspinipes mutilans*) from different regions of Korea. *J. Life Sci.* **27**, 1308-1314.
25. Kim, S. Y., Yoo, T. H., Ji, S. M., Song, J. H., Kim, S. Y. and Chang, G. D. 2022. Comparative analysis of nutritional components of *Protaetia brevitarsis* larvae fed soybean curd cake. *J. Life Sci.* **32**, 997-1004.
26. Kohgo, Y., Ikuta, K., Ohtake, T., Torimoto, Y. and Kato, J. 2008. Body iron metabolism and pathophysiology of iron overload. *Int. J. Hematol.* **88**, 7-15.
27. Koo, N. S., Wang, S. G. and Park, J. M. 2002. Change of fatty acid content in egg yolk oil of various chicken eggs during storage. *J. Kor. Soc. Food Sci. Nutr.* **31**, 184-188.
28. Kruse-Jarres, J. D. 1989. The significance of zinc for humoral and cellular immunity. *J. Trace Elem. Electrolytes Health Dis.* **3**, 1-8.
29. Lange, K. L. and Nakamura, Y. 2021. Edible insects as future food: chances and challenges. *Journal of Future Foods* **1**, 38-46.
30. Lim, S. Y., Rhee, S. H., Yi, S. Y. and Park, K. Y. 1997. Growth inhibitory effect and changes in membrane phospholipid fatty acid composition on MG-63 and AZ-521 human cancer cells by linoleic acid. *J. Kor. Soc. Food Sci. Nutr.* **26**, 662-668.
31. Min, K. T., Kang, M. S., Kim, M. J., Lee, S. H., Han, J. S. and Kim, A. J. 2016. Manufacture and quality evaluation of cookies prepared with mealworm (*Tenebrio molitor*) powder. *Korean J. Food Nutr.* **29**, 12-18.
32. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs. 2023. 2022 Insect industry survey.
33. Rural development administration. 2017. Edible insect safe breeding manual. Wanju, National Institute of Agricultural Sciences.
34. Rural Development Administration. 2021. Guidelines for the management of agricultural and life resources (Rural Development Administration Order No. 1289). <http://www.law.go.kr/ordinance/GuidelinesForTheManagementOfAgriculturalAndLifeResources>
35. Salgueir, M. J., Zubillaga, M., Lysionek, A., Sarabia M. I., Caro, R., Paoli, T. D., Hager, A., Weill, R. and Boccio, J. 2000. Zinc as an essential micronutrient: a review. *Nutr. Res.* **20**, 737-755.
36. Sung, K. H. 2022. Quality characteristics of porridge added with edible insect (*Tenebrio molitor*). *Foodservice Industry Journal* **18**, 69-80.
37. Van Huis, A., Van Itterbeeck, J., Klunder, H., Mertens, E., Halloran, A., Muir, G. and Vantomme, P., 2013. Edible insects: Future prospects for food and feed security. Food and agricultural organization of the United Nations, Rome, pp.201 (FAO Forestry paper 171).
38. Watkins, B. A., Li, Y., Lippman, H. E. and Feng, S. 2003. Modulatory effect of omega-3 polyunsaturated fatty acids on osteoblast function and bone metabolism. *Prostaglandins Leukot. Essent. Fatty Acids* **68**, 387-398.
39. Yang, C. M. J. 2005. Soybean milk residue ensiled with peanut hulls: fermentation acids, cell wall composition, and silage utilization by mixed ruminal microorganisms. *Bioresource Technology* **96**, 1419-1424.
40. Yoo, J. M., Hwang, J. S., Goo, T. W. and Yun, E. Y. 2013. Comparative analysis of nutritional and harmful components in Korean and Chinese mealworms (*Tenebrio molitor*). *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* **42**, 249-254.
41. Zhu, K., Devine, A. and Prince, R. L. 2009. The effects of high potassium consumption on bone mineral density in a prospective cohort study of elderly postmenopausal women. *Osteoporos. Int.* **20**, 335-40.

초록 : 두유박 첨가 먹이원 급이에 따른 갈색거저리 유충의 영양성 증진 효과

김소윤 · 박민지 · 송정훈 · 지상민 · 장규동 · 김선영*
(농촌진흥청 국립농업과학원 곤충양잠산업과)

두유박 첨가 먹이원 급이 유충의 영양학적 우수성과 안전성을 검증하고자 밀기울로 사육한 갈색거저리 유충의 영양성분과 유해물질을 비교분석하였다. 건조중량 기준 조단백질 함량은 10% 두유박 첨가 급이군 (SR)에서 54.0%로 밀기울 급이 대조군(WB) 43.5%보다 1.2배 더 많았다. 식이섬유 또한 SR에서 4.9%로 2.5%보다 1.9배 더 많은 경향을 나타냈다. 불포화지방산 중 리놀레산 함량은 SR (32.9%)에서 WB (29.0%)보다 1.1배 더 많은 것으로 나타났다. 다량무기질 중 가장 많은 함량을 나타낸 칼륨은 WB (1,074.5 mg/100 g)에서 SR (1,014.0 mg/100 g) 보다 1.1배 더 많았다. 미량무기질 중 아연은 SR (14.5 mg/100 g)에서 WB (11.9 mg/100 g)에 비해 1.2배 더 많은 함량을 나타냈다. WB와 SR의 유해물질 분석 결과, 중금속 중 납, 카드뮴, 무기비소는 식용곤충 중금속 기준에 적합하였고, 식중독균인 대장균, 살모넬라균은 모든 군에서 검출되지 않았다. 위의 영양성분 및 유해물질 분석 결과로 볼 때, 10% 두유박 첨가 급이 갈색거저리 유충은 풍부한 영양성분을 가지고 있으며, 안전성 또한 입증되었으므로 식품 및 사료 원료로 이용하기에 좋은 소재로 판단된다.