

Comparative Analysis of Nutrients and Hazardous Substances in *Zophobas atratus* Larvae

Sun Young Kim¹, Hong Geun Kim², Hyeon-Jin Ko¹, Mi Ae Kim¹, In Woo Kim¹, Minchul Seo¹, Joon Ha Lee¹, Hwa Jeong Lee¹, Minhee Baek¹, Jae Sam Hwang^{1†*} and Hyung Joo Yoon^{1†*}

¹Industrial Insect Division, Department of Agricultural Biology, National Institute of Agricultural Sciences, RDA, Wanju, Jeollabuk-do 55365, Korea

²Department of Insect Study, National Institute of Ecology, Yeongyang 36531, Korea

Received October 14, 2019 / Revised December 10, 2019 / Accepted December 23, 2019

The nutritional composition and optimal eating stage of the super mealworm, *Zophobas atratus* (Coleoptera: Tenebrionidae), were investigated to explore its use as a food ingredient. It was determined that 10th instar larvae were most suitable for eating in terms of nutritional value as well as economic aspects. To improve the quality of powder production, the nutritional value of 10th instar larvae before and after degreasing was analyzed. After drying the larvae powder, crude protein was the most abundant nutrient both before (52.3%) and after (60.6%) degreasing while crude fat measured 36.3% and 21.7% before and after degreasing, respectively. In terms of essential amino acids, leucine levels were highest and 1.3 times greater after degreasing (4.5%) than before (3.5%). Oleic acid, the highest unsaturated fatty acid in larvae, was 31.7% after degreasing which was 1.1 times higher than before (33.2%). Among various major minerals, potassium was most abundant and 1.4 times higher after degreasing (1267.0 mg/100 g) than before (879.3 mg/100 g). Harmful substances were 1.3 to 2.0 times lower in the degreased larvae, although mercury or pathogenic bacteria were not detected in either group. We therefore conclude that degreased *Z. atratus* larvae are more suitable for eating than before degreasing.

Key words : Degreasing, hazardous substances, larvae, nutrients, *Zophobas atratus*

서 론

급격한 세계인구의 증가로 2050년에는 세계인구가 약 90억 명에 달할 것으로 추정되며, 현재 필요한 식량의 절반에 해당하는 양이 추가로 필요할 것으로 예상된다. 이로 인하여, 미래 식량으로 곤충이 주목을 받고 있다[12, 42, 43].

곤충은 가축에 비해서 단백질 함량은 유사하나, 온실가스의 배출로 인한 지구온난화, 대기 및 수질오염, 토지의 황폐화, 생물다양성의 감소와 같은 피해가 적기 때문에 더 환경 친화적이다. 또한, 사료전환 효율이 높다는 장점도 가지고 있다. 이에 2013년에 유엔 식량 농업기구(FAO)는 곤충의 가치를 평가하여 미래 식량자원으로 지정하였다[27, 28].

선사시대부터 곤충은 아시아, 아프리카, 중미 및 남미의 개

발도상국의 국가들에서 기근을 해결하는 중요한 단백질 공급원이었다[7, 36]. 하지만 최근에는 새롭고 관심있는 식품으로서 인기가 높아지고 있다[4, 31, 34]. 식용곤충으로는 나비목(Lepidoptera), 딱정벌레목(Coleoptera), 메뚜기목(Orthoptera), 흰개미목(Isoptera)과 벌목(Hymenoptera) 등에 속하는 2000종 이상이 있으며, 전 세계 113개국에서 곤충을 섭취하고 있다[24, 44]. 현재 우리나라에서 식품공전에 등록된 곤충은 예로부터 먹어오던 3종(누에 번데기, 백강잠, 벼메뚜기)과 2016년 식품공전에 등재된 갈색거저리, 흰점박이꽃무지, 장수풍뎅이, 쌍별귀뚜라미 등 4종을 포함하여 총 7종이다. 이에 우리나라에서는 식용곤충을 확대, 보급하고자 식용곤충 선발 기준을 통하여 아메리카왕거저리(*Zophobas atratus*)를 식용곤충 후보종으로 선정하였다.

현재 아메리카왕거저리는 조류, 파충류, 작은 포유류 및 어류와 같은 동물들을 위한 단백질 공급원일 뿐만 아니라 일부 국가에서 식용으로도 폭넓게 사용되고 있다[16, 35]. 아메리카왕거저리는 딱정벌레목(Coleoptera) 거저리과(Tenebrionidae)에 속하는 대형 거저리류로 갈색거저리(*Tenebrio molitor*) 보다 약 3-4배 더 크다[19, 20]. 열대종으로 중남미 등에 분포한다[11, 35]. 아메리카왕거저리의 생활사는 완전변태로 19-20일의 긴 유충기간을 가진다. 따라서, 본 연구에서는 유충의 식용 가능한 적정시기를 구명하고, 탈지 전, 후 아메리카왕거저리 유충의 영양성분과 식용곤충으로서 안전성과 위험성을 확인

† Authors contributed equally.

*Corresponding authors

Tel : +82-63-238-2955, Fax : +82-63-238-3833

E-mail : yoonhj1023@korea.kr (Hyung Joo Yoon)

Tel : +82-63-238-2974, Fax : +82-63-238-3833

E-mail : hwangjs@korea.kr (Jae Sam Hwang)

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.

하기 위해 유해물질 등을 비교분석하였다.

재료 및 방법

실험군총 및 전처리

아메리카왕거저리 유충의 식용 가능한 적정시기를 알아보기 위해 10령과 16령 유충을 경기도(용인 소재)와 전라남도(담양 소재) 농가에서 구입하였다. 구입한 유충은 순화를 위해 온도 26±2℃, 상대습도 65%, 광주기 12L:12D의 국립농업과학원 곤충산업과 사육실에서 플라스틱 사육상자(가로 27 × 세로 36 × 높이 8 cm)에 넣어 2일간 사육하였다. 순화된 유충을 2일간 절식시킨 후 체반을 이용하여 분변을 분리시키고 흐르는 물에 2회 세척한 다음 물기를 제거하였다. 이와 같이 전처리된 유충을 115℃, 0.9 kgf/cm²로 5-15분 동안 가압증기멸균기(Tomy Kogyo co., LTD, Tokyo, Japan)로 고온고압멸균하고 영하 70℃의 초저온 냉동고(NIHON freezer, Tokyo, Japan)에서 24시간 이상 보관하였다. 그런 다음 동결건조기(Ishinbio-base, Dongducheon, Korea)를 이용하여 약 65시간 동안 건조시켰다.

탈지 전, 후 아메리카왕거저리 유충 분말 제조

아메리카왕거저리의 경우, 지방이 많아 분말 제조 등 식용 소재로 사용하는데 문제점이 있었다. 이런 문제를 해결하기 위해서 아메리카왕거저리 유충을 탈지 전, 후의 분말을 제조하여 영양성분 등을 비교분석하고자 하였다. 이에 동결된 유충(10령, 16령)을 다기능분쇄기(Koreamedi, Daegu, Korea)로 분쇄하여 분말 제조 후 탈지 전 유충 시료로 사용하였다.

탈지 후 유충 제조는 동결건조한 유충(10령 기준, 조지방 36.3% 함유)을 120℃, 60 mPa로 30분 동안 유압식 착유기(National Eng co., LTD, Goyang, Korea)로 착유하였다. 그런 다음 100 메쉬로 분쇄기(Garyeo Industry, Siheung, Korea)에 분쇄하여 21.7%의 조지방을 함유한 탈지 후 유충 분말을 제조하였다.

일반성분 분석

탈지 전, 후 아메리카왕거저리 유충의 일반성분은 공인분석 화학자협회(Association of Official Analytical Chemists, AOAC) [2]의 기준에 따라 분석하였다. 수분 함량은 105℃ 상압건조법, 조회분 함량은 550℃ 직접회화법을 이용하여 분석하였고, 조단백질 함량은 micro-Kjeldahl법을 이용한 질소정량법, 조지방 함량은 ether 추출법에 따라 성분 함량을 측정하였다. 탄수화물 함량은 수분, 조회분, 조단백질, 조지방의 분석된 함량으로부터 계산하였다.

아미노산 조성 분석

아미노산은 Ninhydrin법에 의해 분석하였다[2]. 시료는 각

각 50 mg을 취해서 분해병에 넣은 후 6N-염산 40 ml를 가하고 질소가스를 주입한 후 마개를 막고 110℃에서 24시간 가수분해하였다. 염산을 50℃에서 감압 농축시킨 다음 0.2N sodium citrate buffer (pH 2.2) 50 ml를 넣어 희석시키고 여과지(0.45 μm, Pall Life Sciences, California, USA)를 이용해 여과하였다. 여과한 시료는 아미노산분석기(L-8900 High-speed Amino Acid analyzer, Hitachi, Tokyo, Japan)를 이용하여 분석하였다.

지방산 조성 분석

Folch 등[9]의 방법에 준하여 시료 50 g과 chloroform: methanol (2:1) 용액 250 ml를 homogenizer 3000 ppm으로 균질하여 지질을 추출한 다음 무수황산나트륨으로 수분을 제거하고 여과액을 50-55℃에서 농축하였다. 1 ml 트리코산산을 먼저 첨가한 후, 1 ml 0.5N 수산화나트륨을 첨가하였다. 100℃에서 20분 동안 가열 후 30분간 방냉한 다음 삼불화붕소를 2 ml 첨가하고 20분간 가열 후 30분간 방냉하였다. 1 ml 헵탄과 8 ml 염화나트륨을 첨가 후 상등액을 취하여 gas chromatography (US/HP 6890, Agilent Technologies, Seoul, Korea)에 주입하여 지방산을 측정하였다.

무기질 및 중금속 분석

아메리카왕거저리 유충 체내의 미량 원소 및 중금속 분석을 위해 동결건조된 시료 분말 50 mg을 예비회화시킨 후 600℃의 전기로에서 2시간 이상 회화시키고 염산용액(1:1)을 첨가하여 하룻밤 동안 방치 및 용해하였다. 용해된 시료를 No. 6 여과지(Whatman International Co., Maidstone, UK)로 여과 후 시료로 사용하였다. 무기질과 중금속 분석은 inductively coupled plasma optical emission spectrometer (ICP-OES, Horiba, Kyoto, Japan)을 이용하여 측정하였다[2].

유해미생물 분석

동결건조된 아메리카왕거저리 유충의 안전성 확인을 위해 식품공전의 규정에 따라 식중독균(*Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella* spp.)의 존재 유무를 조사하였다[2]. 대장균 O157:H7 (*E. coli* O157:H7)의 검사를 위해 시료 25 g을 따서 225 ml의 mEC 배지(EC broth, Novobiocin Supplement, Thermo Fisher Scientific, UK)에 가한 후 35-37℃에서 24±2시간 증균 배양하였다. 증균 배양액을 cefixime (0.05 mg/l) 및 potassium tellurite (2.5 mg/l)가 첨가된 MacConkey sorbitol 한천 배지(Sorbitol MacConkey Agar, Thermo Fisher Scientific, UK)에 접종하여 35-37℃에서 18시간 배양하였다. 대장균으로 추정되는 보라색 집락을 보통한천배지에 접종하여 순수 배양하여 그람염색법과 O/H 혈청형 시험법을 이용 분석하였다. 살모넬라균(*Salmonella* spp.)은 25 g을 취하여 225 ml의 펩톤수에 가한 후 35-37℃에서 24±2시간 증균 배양하였다. 배양액

0.1 ml를 취하여 10 ml의 Rappaport-Vassiliadis 배지에 접종하여 42±1℃에서 24±2시간 배양하였다. XLD 한천배지에 접종 후 집락의 중앙 부분이 검거나 붉으면 보통한천배지에 접종하여 36±1℃, 24시간 동안 배양하고 TSI 한천배지(Triple Sugar Iron Agar, Thermo Fisher Scientific, UK)에 접종 후 살모넬라균으로 의심될 경우, 그람염색법과 살모넬라균(*Salmonella* spp.) O/H 혈청 응집 시험법을 이용해 분석하였다.

결과 및 고찰

아메리카왕거저리의 식용 적정시기

아메리카왕거저리의 식용 가능한 적정시기를 알아보기 위해 10령과 16령 유충의 일반성분을 비교분석하였다(Table 1). 일반성분 중 조단백질 함량이 가장 많았으며, 10령 유충의 조단백질 함량(52.3%)이 16령 유충(48.9%)에 비해 1.1배 많았고, 조지방 함량은 10령 유충(36.3%)에서 16령 유충(38.9%)보다 1.1배 적게 나타났다. 탄수화물은 16령 유충(8.8%)에서 10령 유충(6.7%)보다 1.3배 많았다. 조섬유 함량은 10령 유충(5.2%)과 16령 유충(5.0%)에서 거의 차이가 없었다. 수분은 10령 유충(1.3%)에서 16령 유충(0.7%)보다 1.9배 많았다. 위의 일반성분 비교분석결과, 10령이 16령보다 우수한 것으로 조사되었다.

아메리카왕거저리는 보통 19-20령의 유충 기간을 가지며 [19], 사육 농가의 출하시기는 보통 10-16령이다. 유충을 10령까지 사육했을 때, 16령까지 사육하는 경우와 비교 시 약 2달의 시간과 노동력을 절감할 수 있기 때문에 훨씬 경제적이다. 이상의 영양적인 면과 경제적인 면을 고려할 때, 아메리카왕거저리의 식용 적정시기는 10령이라고 판단된다.

탈지 전, 후 유충의 영양성분 비교분석

탈지 전, 후 유충의 일반성분 비교분석

아메리카왕거저리 유충의 경우 지방 함유량이 많아서 분말

제조에 어려움이 있어 이를 해결하고자 위에서 적정시기로 선정된 10령 유충을 탈지 전과 탈지 후로 나누어 영양성분 등을 비교분석하였다. 탈지 전, 후 10령 유충의 일반성분 중, 조단백질 함량은 탈지 후(60.6%) 조단백질 함량이 탈지 전(52.2%)보다 1.2배 많았다.

조지방 함량은 탈지 후(21.7%) 유충이 탈지 전(36.3%) 유충보다 1.7배 적게 나타났다(Table 2). 아메리카왕거저리 유충의 탈지 전, 후 수분 함량은 탈지 후 유충에서 1.7배 많았고, 조회분과 조섬유 함량 역시 탈지 후 유충에서 1.3배 많은 것으로 조사되었다. 탄수화물 함량 또한 탈지 후 유충에서 1.5배 높았다. 이상의 결과로 볼 때, 탈지 후 아메리카왕거저리 10령 유충의 일반성분이 탈지 전 유충보다 우수한 것으로 생각된다.

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%), 백강잠(67.4%), 쌍별귀뚜라미(64.3%), 흰점박이꽃무지(57.9%), 누에(56.8%), 갈색거저리(50.3%), 장수풍뎅이(39.3%)의 단백질 함량은 39.3-70.4%로 1.3-5.0배나 많았다[3, 6]. 아메리카왕거저리 유충의 탈지 전 단백질 함량은 52.3%로 갈색거저리 유충과 비슷한 수준이었고, 탈지 후 단백질 함량은 60.6%로 흰점박이꽃무지 유충보다 1.1배 높았다. 이런 단백질 함량으로 볼 때, 아메리카왕거저리 탈지 전, 후 유충은 동물성 단백질 대체식품으로 활용될 가치가 있다고 판단된다.

탈지 전, 후 유충의 아미노산 조성 비교분석

동결건조된 아메리카왕거저리 탈지 전, 후 10령 유충을 대상으로 18종의 구성 아미노산 함량을 분석하였다(Fig. 1, Fig. 2). 탈지 전, 후 구성 아미노산 중 필수아미노산은 각각 19.3%와 28.2%, 비필수아미노산은 22.1%와 34.3%로, 대부분 탈지 후 유충이 탈지 전 유충보다 1.1-1.3배 함량이 많게 나타났다.

식용곤충인 장수풍뎅이, 흰점박이꽃무지, 갈색거저리의 필수아미노산은 13.2-17.8%, 비필수아미노산은 21.6-30.4%이다 [3, 20, 21]. 탈지 전 아메리카왕거저리의 필수아미노산 함량은

Table 1. General components of fdZAL by growth period (%) (n=2)

| General component (%) | 10 th instar | 16 th instar |
|---------------------------|---------------------------|-------------------------|
| Moisture | 1.3±0.64 | 0.7±0.23 |
| Crude protein | 52.2±1.29** ¹⁾ | 48.9±0.47 |
| Crude fat | 36.3±0.43* | 38.9±0.92 |
| Crude ash | 3.6±0.02*** | 2.8±0.03 |
| Crude fiber | 5.2±0.66 | 5.0±0.75 |
| Carbohydrate [†] | 6.7±1.10* | 8.8±0.84 |

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

¹⁾ Values are mean ± S.D. (n=2), T- Test, *, p<0.05, **, p<0.01, ***, p<0.001

Abbreviations

fdZAL, freeze-drying powder of *Zophobas Atratus* Larvae

Table 2. General components of fdZAL and frpfdZAL (%) (n=2)

| General component (%) | fdZAL | frpfdZAL |
|---------------------------|-----------|--------------------------|
| Moisture | 1.3±0.64 | 2.1±0.35 |
| Crude protein | 52.2±1.29 | 60.6±1.10* ¹⁾ |
| Crude fat | 36.3±0.43 | 21.7±0.60** |
| Crude ash | 3.6±0.02 | 4.7±0.18* |
| Crude fiber | 5.2±0.66 | 6.5±0.72 |
| Carbohydrate [†] | 6.7±1.10 | 9.8±0.92 |

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

¹⁾ Values are mean ± S.D. (n=2), T-Test, *, p<0.05, **, p<0.01

Abbreviations

fdZAL, freeze-drying powder of *Zophobas Atratus* Larvae (10th instar)

frpfdZAL, fat-removed powder from freeze-drying *Zophobas Atratus* Larvae (10th instar)

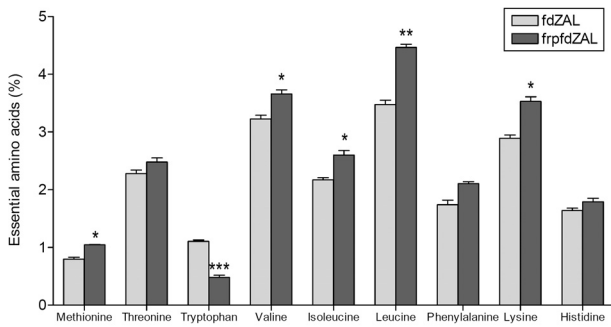


Fig. 1. Essential amino acid contents of fdZAL and frpfdZAL. The values showed as means \pm S. D. (n=2). One-way ANOVA test, *, $p<0.05$; **, $p<0.01$; ***, $p<0.001$.

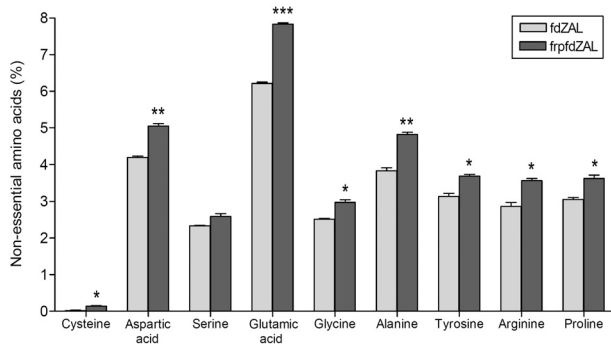


Fig. 2. Non-Essential amino acid contents of fdZAL and frpfdZAL. The values showed as means \pm S. D. (n=2). One-way ANOVA test, *, $p<0.05$; **, $p<0.01$; ***, $p<0.001$.

갈색겨저리(17.8%)보다 1.1배 높았고, 비필수아미노산은 장수풍뎅이(21.6%)와 비슷하였다. 탈지 후 아메리카왕겨저리 유층의 필수아미노산 함량은 갈색겨저리보다 1.6배 높게 나타났고, 비필수아미노산 함량은 장수풍뎅이보다 1.6배 높았다.

필수아미노산은 체내에서 합성되지 않거나 매우 적은 양만이 합성되기 때문에 반드시 식품으로부터 공급이 필요하다[6, 20, 21]. 필수아미노산 methionine, threonine, tryptophan, valine, isoleucine, leucine, phenylalanine, lysine, histidine 중에서 leucine, valine, lysine은 탈지 후 유층(3.5-4.5%)이 탈지 전 유층(2.9-3.5%), 보다 1.2-1.3배 더 많았다. leucine, valine, isoleucine은 1개의 탄소 원자와 3개의 수소 원자로 구성된 가지 형태의 보조 사슬을 가지고 있기 때문에 분지사슬 아미노산 (Branched Chain Amino Acids, BCAA)이라 불리운다. 분지사슬 아미노산은 모든 근육 조직의 약 35%를 구성하고 있으며 9종의 필수 아미노산 일일 요구량의 40%를 차지하며 다른 아미노산과 달리 간 대신 근육에서 분해되어 운동 중에 에너지를 생산하는 데 중요한 역할을 하는 것으로 알려져 있다[17, 40]. 특히, 혈당 상승 저하에 관여하는 leucine의 경우, 필수아미노산 중 탈지 후 유층에서 4.5%, 탈지 전 유층에서 3.5%로 가장 높은 수치를 나타냈다. Methionine, tryptophan, histidine은 0.4-1.8%로 상대적으로 낮은 수치를 보였다. Trypto-

phan은 탈지 전 유층에서 1.1%와 탈지 후 유층에서 0.4%로 필수아미노산 중 가장 낮은 수치를 나타냈고, methionine은 탈지 후 유층에서 1.0%로 탈지 전 유층 0.8%에 비해 1.3배 많게 조사되었다(Fig. 1).

비필수아미노산은 체내에서 합성되어 생성되기 때문에 굳이 섭취할 필요가 없는 아미노산이다[6, 18, 20]. 비필수아미노산인 cysteine, aspartic acid, serine, glutamic acid, glycine, alanine, tyrosine, arginine 및 proline 중에서 뇌 신경전달물질의 재료가 되며, 가바(gamma-aminobutyric acid, GABA)라는 물질과 함께 우리의 의식을 조절하는 glutamic acid는 비필수아미노산 중 가장 많았고 각각 6.2%와 7.8%로 탈지 후 유층에서 1.3배 높았다. 간의 피로 해소에 도움을 주는 aspartic acid는 각각 4.2%와 5.0%로 탈지 후 유층에서 1.2배 더 많았다. 탈지 전, 후 alanine함량은 각각 3.8%와 4.8%로 탈지 후 유층에서 1.3배 높았다. alanine은 간기능을 활성화시켜 숙취예방과 해독작용을 하는 것으로 알려져 있다[20]. Serine, glycine, tyrosine, arginine 및 proline은 탈지 후 유층(2.6-3.7%)이 탈지 전 유층(2.3-3.1%)보다 1.1-1.2배 높게 나타났다. Cysteine 함량은 탈지 전, 후 유층에서 가장 낮았다(Fig. 2). 기 등록된 식용곤충들처럼 탈지 전, 후 아메리카왕겨저리 유층도 아미노산 함량이 풍부하며, 특히 분지사슬 아미노산 함량 또한 많기 때문에 단백질 섭취가 더욱 중요한 운동선수, 다이어터, 노인 등에게 활용도가 높을 것으로 생각된다.

탈지 전, 후 유층의 지방산 조성 비교분석

아메리카왕겨저리의 지방산 조성 분석을 불포화지방산과 포화지방산으로 나누어 분석하였다(Fig. 3). 전체 지방산 함량 중 불포화지방산 함량은 탈지 전, 후 유층에서 각각 60.1%와 60.4%, 포화지방산은 39.8%와 39.9%로 탈지 전, 후 유층 간에는 차이가 없었으며, 불포화지방산 함량이 포화지방산보다 1.5배나 높게 나타났다. Fig. 3에서 보는 바와 같이, 3개의 포화지방산(myristic acid, palmitic acid, stearic acid) 중, palmitic

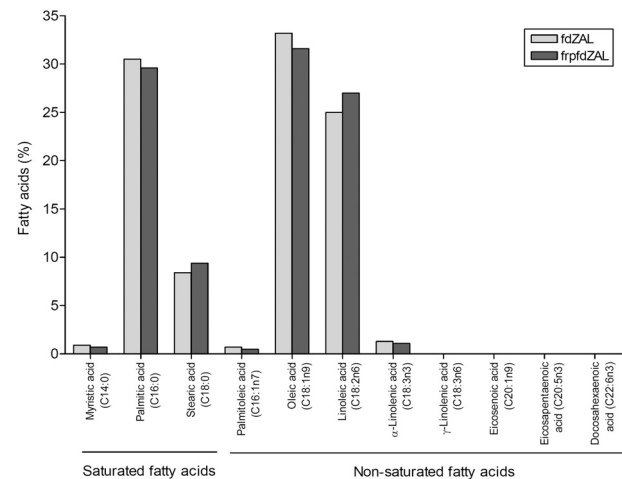


Fig. 3. Fatty acid compositions of fdZAL and frpfdZAL.

acid가 탈지 전과 후 유층에서 각각 30.5%와 29.8%로 가장 많았다. 8개의 불포화지방산 중 γ -linolenic acid, eicosenoic acid, eicosapentaenoic acid, docosahexaenoic acid 등 4종은 불검출되었다. 불포화지방산 중 oleic acid가 가장 높은 함량을 나타냈고 탈지 전 유층(33.2%)이 탈지 후 유층(31.7%)보다 1.1배 더 높았다. 다음으로 높은 함량을 나타냈던 linoleic acid는 탈지 전, 후 유층에서 각각 25.0%와 27.1%로 탈지 후 유층에서 1.1배 높았다. Oleic acid와 linoleic acid는 혈중 LDL 콜레스테롤과 혈압을 낮추고 간을 보호하는 HDL 콜레스테롤 농도를 높이는 작용을 한다[3, 30, 32]. 또한, linoleic acid와 linolenic acid의 혼합액은 항암 및 항산화, 혈중 콜레스테롤과 체지방 감소 등의 효능을 나타낸다고 보고된 바 있다[1, 13, 26, 41, 44]. 탈지 전, 후 아메리카왕겨저리 유층의 불포화지방산은 각각 60.1%와 60.4%로 갈색겨저리(76.8%), 흰점박이꽃무지(80.0%)에 비해 1.3배 낮게 함유되어 있었고, 장수풍뎡이(59.6%)와는 비슷한 수치였다[3, 20]. 또한, 불포화지방산은 주로 식물성지방과 어패류지방에 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, 14, 15, 23, 29, 38]. 탈지 전, 후 아메리카왕겨저리 유층의 불포화지방산 함량은 60.1%, 60.4%로 주 단백질 급원에 속하는 소고기(안심) 56.5% 보다 1.1배 높았기 때문에 육류 대체식품으로 가능성이 높을 것으로 생각된다.

무기질 조성 비교분석

탈지 전, 후 아메리카왕겨저리 유층의 다량무기질 함량을 비교분석한 결과, 칼륨(879.3 mg/100 g과 1267.0 mg/100 g), 인(863.8 mg/100 g과 1029.5 mg/100 g), 마그네슘(221.2 mg/100 g과 257.3 mg/100 g), 칼슘(42.1 mg/100 g과 42.0 mg/100 g) 순으로 나타났다(Fig. 4A). 칼슘(Ca)은 탈지 전, 후 유층에서 거의 차이가 없었으나, 칼륨(K), 인(P), 마그네슘(Mg)의 경우에는 탈지 후 유층에서 탈지 전 유층에 비해 1.2-1.4배

높았다. 인은 신체의 구성성분으로 골격과 치아 구성과 에너지 대사에 관여하며, 칼륨은 근육의 수축과 이완, 고혈압 예방 및 치료 효과가 있는 것으로 알려져 있다[3, 33, 39]. 식용곤충 3종(갈색겨저리, 흰점박이꽃무지, 장수풍뎡이)의 무기질 성분 중 인(424.7-593.2 mg/100 g)과 칼륨(865.2-1,597.0 mg/100 g) 함량이 높게 나타났다[3, 20]. 탈지 전, 후 유층의 미량무기질 함량 분석 결과, 아연(10.8 mg/100 g과 12.3 mg/100 g), 철(5.5 mg/100 g과 5.3 mg/100 g), 망간(1.1 mg/100 g과 1.5 mg/100 g), 구리(0.9 mg/100 g과 1.2 mg/100 g) 순이었다(Fig. 4B). 가장 높은 함량을 나타낸 아연(Zn)은 면역 반응 조절, 항산화, 효소 보조인자, 정자형성과 스테로이드 합성, 비타민 A 대사, 인슐린 저장과 방출, 에너지 대사, 단백질 합성, 세포 분화, DNA 전사 조절 기능이 알려져 있다[8, 10, 25, 32]. 다음으로 높게 나타났던 철(Fe)은 헤모글로빈 합성, 산화-환원 반응 및 세포 분화에 필요한 성분이다[3, 22].

무기질은 호르몬과 효소의 성분, 뼈와 이의 구성, 체내 수분과 산-염기의 균형 조절 등과 같은 여러 생리기능 조절 및 유지에 중요한 역할을 한다. 따라서 탈지 전, 후 아메리카왕겨저리 유층은 인체에 필수 영양소인 무기질이 풍부하기 때문에 식품 원료로 활용될 가능성이 많다고 생각된다.

유해물질 비교분석

중금속 4종인 납(Pb), 카드뮴(Cd), 비소(As), 수은(Hg)과 병원성 미생물 대장균(*E. coli*)과 살모넬라균(*salmonella* spp.)의 유해물질 검사 결과를 Table 3에 나타내었다. 중금속 4종의 분석 결과, 납은 탈지 전, 후 유층에서 각각 0.05 mg/kg과 0.03 mg/kg, 카드뮴은 0.10 mg/kg과 0.08 mg/kg 검출되었다. 비소는 각각 0.04 mg/kg과 0.02 mg/kg 검출되었으며, 수은은 탈지 전, 후 유층에서는 전혀 검출되지 않았다. 식용곤충(갈색겨저리 유층, 흰점박이꽃무지 유층, 쌍별귀뚜라미, 장수풍뎡이 유층) 중금속 관리 기준은 현재 건조중량 당 납(0.1-0.3 mg/kg), 카드뮴(0.05-0.3 mg/kg), 비소(0.1 mg/kg, 흰점박이

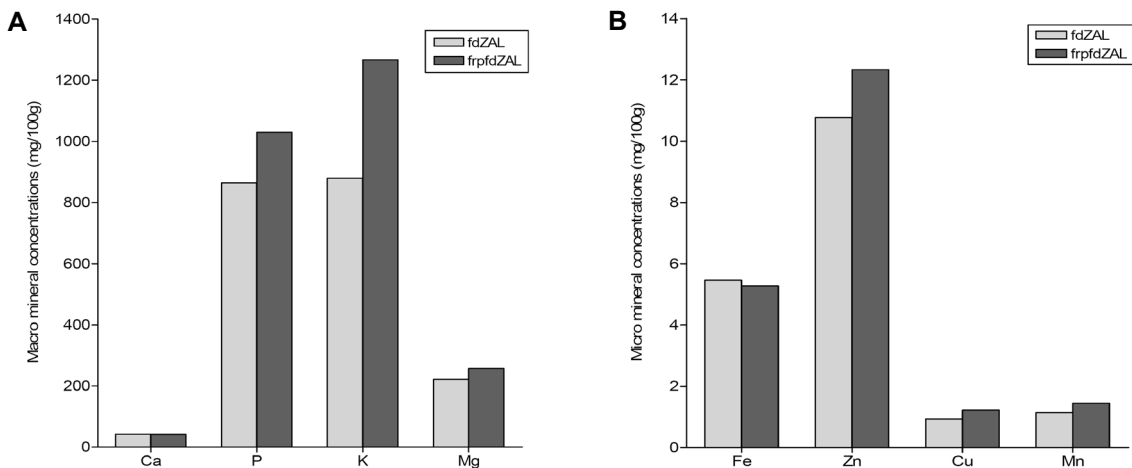


Fig. 4. Macro (A) and micro mineral (B) concentrations of fdZAL and frpfdZAL.

Table 3. Hazardous substances of fdZAL and frpfdZAL

| Hazardous substance | Content | fdZAL | frpfdZAL |
|----------------------------|--------------------------------------|-----------------|-----------------|
| Heavy metals (mg/kg) | Lead (Pb) | 0.05 | 0.03 |
| | Cadmium (Cd) | 0.10 | 0.08 |
| | Arsenic (As) | 0.04 | 0.02 |
| | Mercury (Hg) | ND [†] | ND [†] |
| Food poisoning bacteria | <i>Escherichia coli</i> (O157:H7) | ND [†] | ND [†] |
| | <i>Salmonella</i> spp. | ND [†] | ND [†] |

[†] ND, Not Detected.

Abbreviations

fdZAL, freeze-drying powder of *Zophobas Atratus* Larvae (10th instar)

frpfdZAL, fat-removed powder from freeze-drying *Zophobas Atratus* Larvae (10th instar)

꽃무지 유충만)로 정해져 있으므로, 탈지 전, 후 아메리카왕거저리 유충의 중금속 함량은 현 식용곤충 중금속 관리 기준 내에서 검출되었다. Table 3에서 보는 바와 같이, 병원성 미생물인 대장균과 살모넬라균은 탈지 전, 후 유충에서 모두 불검출되었다. 식품공전 규정에 따른 식중독균이 검출되지 않아 안전성이 높은 것으로 사료된다.

위의 결과에서 보는 바와 같이 탈지 후 아메리카왕거저리 유충의 조지방을 제외한 모든 영양성분이 탈지 전 유충보다 1.2-1.6배 많게 나타났다. 또한, 아미노산과 무기질 함량 역시 1.1-1.3배, 1.1-1.4배 높아 탈지 후 유충의 영양성분이 우수한 것으로 판단된다. 탈지 전, 후 아메리카왕거저리 유충은 단백질 함량(52.2%와60.6%)이 식용곤충인 갈색거저리(50.3%), 장수풍뎅이(39.3%) 보다 1.1-1.5배 많았다. 또한 필수아미노산(19.3%와 22.1%), 불포화지방산(60.1-60.4%) 등 체내에서 합성되지 않는 영양소를 많이 함유하고 있을 뿐만 아니라 중금속, 병원성 미생물 등 유해물질 분석 결과 안전성이 확보되어 식용 소재로 이용할 가치가 높다고 사료된다.

감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 연구사업(세부과제명: 아메리카왕거저리, 풀무치의 식품등록을 위한 안전성 평가, 세부과제번호: PJ01352502)의 지원에 의해 이루어진 것입니다.

References

- Angerer, P. and von Schacky, C. 2000. n-3 polyunsaturated fatty acids and the cardiovascular system. *Curr. Opin. Lipidol.* **11**, 57-63.
- AOAC. 2003. Official Methods of Analysis (17th ed.). Association of Official Analytical Chemists. Washington, DC, USA.
- 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.
- Bednářová, M., Borkovcová, M., Mlček, J., Rop, O. and Zeman, L. 2013. Edible insects-species suitable for entomophagy under condition of Czech republic. *Acta Univ. Agric. Silv. Mendel. Brun.* **64**, 587-593.
- 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.
- Chung, M. Y., Hwang, J. S., Goo, T. W. and Yun, E. Y. 2013. Analysis of general composition and harmful material of *Protactia brevitarsis*. *J. Life Sci.* **23**, 664-668.
- Defoliart, G. R. 1992. Insects as human food. *Crop Protection* **11**, 395-399.
- Favier, A. E. 1993. Current aspects about the role of zinc in nutrition. *Rev. Prat.* **43**, 146-151.
- 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.
- Forbes, R. M. 1984. Use of laboratory animals to define physiological functions and bioavailability of zinc. *Fed. Proc.* **43**, 2835-2839.
- Ghaly, A. E. and Alkoaik, F. N. 2009. The yellow mealworm as a novel source of protein. *Am. J. Agric. Biol. Sci.* **4**, 319-331.
- Godfray, H. C. J., Crute, I. R., Haddad, L., Lawrence, D., Muir, J. F., Nisbett, N., Pretty, J., Robinson, S., Toulmin, C. and Whiteley, R. 2010. The future of the global food system. *Phil. Trans. R. Soc. B* **365**, 2769-2777.
- 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.
- 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.
- Indriyani, L., Rohman, A. and Riyanto, S. 2016. Physico-chemical characterization of Avocado (*Persea Americana* Mill.) oil from three Indonesian avocado cultivars. *Res. J. Med. Plants* **10**, 67-78.
- Jabir, M. D. A. R., Razak, S. A. and Vikineswary, S. 2012. Nutritive potential and utilization of super worm (*Zophobas morio*) meal in the diet of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) juvenile. *Afr. J. Biotechnol.* **11**, 6592-6598.
- Kim, D. H., Kim, S. H., Jeong, W. S. and Lee, H. Y. 2013. Effect of BCAA intake during endurance exercises on fatigue substances, muscle damage substances, and energy metabolism substances. *J. Exerc. Nutrition Biochem.* **17**, 169-180.
- Kim, K. N., Kim, S. B., Yoon, W. J., Yang, K. S. and Park, S. Y. 2008. Induction of apoptosis by *Scolopendra subspinipes mutilans* in human leukemia HL-60 cells through Bcl-X1 regulation. *J. Kor. Soc. Food Sci. Nutr.* **37**, 1408-1414.
- Kim, S. Y., Kim, H. G., Song, S. H. and Kim, N. J. 2015.

- Developmental characteristics of *Zophobas atratus* (Coleoptera: Tenebrionidae) larvae in different instars. *Int. J. Indust. Entomol.* **30**, 45-49.
20. 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.
 21. Kim, S. Y., Kim, H. G., Lee, K. Y., Ko, H. J., Kim, N. J. and Yoon, H. J. 2018. Effects of brewer's spent grain on the growth and nutrition of the giant mealworm beetle, *Zophobas atratus*. *Int. J. Indust. Entomol.* **37**, 73-81.
 22. 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.
 23. 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.
 24. Kouřimská, L. and Adámková, A. 2016. Nutritional and sensory quality of edible insects. *NFS Journal* **4**, 22-26.
 25. Kruse-Jarres, J. D. 1989. The significance of zinc for humoral and cellular immunity. *J. Trace Elem. Electrolytes Health Dis.* **3**, 1-8.
 26. 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.
 27. Mekonnen, M. M. and Hoekstra, A. Y. 2010. The green, blue and grey water footprint of farm animals and animal products, Value of Water Research Report Series No. 48, UNESCO-IHE, Delft, the Netherlands.
 28. Nakagaki, B. J. and Defoliart, G. R. 1991. Comparison of diets for mass-rearing *Acheta domesticus* (Orthoptera: Gryllidae) as a novelty food, and comparison of food conversion efficiency with values reported for livestock. *J. Econ. Entomol.* **84**, 891-896.
 29. Nam, H. Y. and Lee, K. T. 2007. Analysis of characterization in commercial extra virgin olive oils. *J. Kor. Soc. Food Sci. Nutr.* **36**, 866-873.
 30. Natali, F., Siculella, L., Salvati, S. and Gnoni, G. V. 2007. Oleic acid is a potent inhibitor of fatty acid and cholesterol synthesis in C6 glioma cells. *J. Lipid Res.* **48**, 1966-1975.
 31. Nonaka, K. 2009. Feasting on insects. *Entomol. Res.* **39**, 304-312.
 32. Om, A. S. and Chung, K. W. 1996. Dietary zinc deficiency alters 5 α -reduction and aromatization of testosterone and androgen and estrogen receptors in rat liver. *J. Nutr.* **126**, 842-848.
 33. Ophir, O., Peer, G., Gilad, J., Blum, M. and Aviram, A. 1983. Low blood pressure in vegetarians: the possible role of potassium. *Am. J. Clin. Nutr.* **37**, 755-762.
 34. Paoletti, M. G., Buscardo, E. and Dufour, D. L. 2000. Edible invertebrates among Amazonian Indians: a critical review of disappearing knowledge. *Environ. Dev. Sustain.* **2**, 195-115.
 35. Park, H. C., Jung, B. H., Han, T. M., Lee, Y. B., Kim, S. H. and Kim, N. J. 2013. Taxonomy of introduced commercial insect, *Zophobas atratus* (Coleoptera; Tenebrionidae) and a comparison of DNA barcoding with similar tenebrionids, *Promethis valgipes* and *Tenebrio molitor* in Korea. *J. Seric. Entomol. Sci.* **51**, 185-190.
 36. Ramos-Elorduy, J., Moreno, J. M., Vázquez, A. I., Landero, I., Oliva-Rivera, H. and Camacho, V. H. 2011. Edible Lepidoptera in Mexico: Geographic distribution, ethnicity, economic and nutritional importance for rural people. *J. Ethnobiol. Ethnomed.* **7**, 3-22.
 37. 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.
 38. Seo, Y. H., Ko, K. Y. and Jang, Y. K. 2010. Determination of cholesterol, fatty acids and polyaromatic hydrocarbons in PM10 particles collected from meat charbroiling. *J. Kor. Soc. Environ. Eng.* **32**, 155-164.
 39. Seol, M. Y., Lee, J. S. and Kim, E. S. 1990. A longitudinal study on calcium, phosphorus and magnesium contents of breast milk from lactating women in Seoul area. *Kor. J. Nutr.* **23**, 115-123.
 40. Shu, X., Kang, K., Zhong, J., Ji, S., Zhang, Y., Hu, H. and Zhang, D. 2014. Meta-analysis of branched chain amino acid-enriched nutrition to improve hepatic function in patients undergoing hepatic operation. *Zhonghua Gan. Zang. Bing. Za. Zhi.* **22**, 43-47.
 41. Singer, P., Jaeger, W., Berger, I., Barleben, H., Wirth, M., Richter-Heinrich, E., Voigt, S. and Gödicke, W. 1990. Effects of dietary oleic, linoleic and alpha-linolenic acids on blood pressure, serum lipids, lipoproteins and the formation of eicosanoid precursors in patients with mild essential hypertension. *J. Hum. Hypertens.* **4**, 227-233.
 42. Van Huis, A. 2013. Potential of insects as food and feed in assuring food security. *Annu. Rev. Entomol.* **58**, 563-583.
 43. 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, p. 201 (Forestry p. 171).
 44. 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. Kor. Soc. Food Sci. Nutr.* **42**, 249-254.

초록 : 탈지 전, 후 아메리카왕거저리(*Zophobas atratus*) 유충의 영양성분 및 유해물질 비교분석

김선영¹ · 김홍근² · 고현진¹ · 김미애¹ · 김인우¹ · 서민철¹ · 이준하¹ · 이화정¹ · 백민희¹ · 황재삼^{1*} · 윤형주^{1*}
(¹농촌진흥청 국립농업과학원 곤충산업과, ²국립생태원 멸종위기종복원센터)

아메리카왕거저리를 식용곤충으로 활용하고자 식용 적정시기와 탈지 전, 후 유충의 영양성분 등을 비교분석하였다. 아메리카왕거저리의 식용 적정시기 조사결과, 10령이 16령보다 일반성분이 우수하고 사육과 경제적 면에서도 유리하였다. 또한, 분말제조 문제점을 해결하고자 탈지 전, 후 유충의 영양성분을 비교분석한 결과, 일반성분 중 건조 중량 기준 조단백질 함량이 가장 많았으며, 탈지 후 유충(60.6%)이 탈지 전 유충(52.3%)보다 1.2배 더 많았다. 조지방은 탈지 후 유충 21.7%, 탈지 전 유충에서 36.3%로 1.7배 적었다. 필수아미노산 중 로이신의 함량이 가장 많았으며, 탈지 후 유충(4.5%)이 탈지 전 유충(3.5%)보다 1.3배 더 많았다. 비필수아미노산에 속하는 글루탐산 역시 탈지 후 유충(7.8%)이 탈지 전 유충(6.2%)보다 1.6배 더 많았다. 불포화지방산 중에서 가장 많은 함량을 가진 올레산은 탈지 후 유충(31.7%)이 탈지 전 유충(33.2%)보다 1.1배 적었다. 다량무기질 중 함량이 가장 많았던 칼륨 또한 탈지 후 유충(1267.0 mg/100 g)이 탈지 전 유충(879.3 mg/100 g)보다 약 1.4배 많았다. 미량무기질 중에서는 아연의 함량이 가장 많았고, 이 또한 탈지 후 유충(12.3 mg/100 g)이 탈지 전 유충(10.8 mg/100 g)보다 1.1배 많았다. 위의 주요 영양성분 분석 결과로 볼 때, 탈지 후 유충이 탈지 전 유충보다 더 우수한 것으로 판단된다. 탈지 전, 후 유충의 유해물질 분석 결과, 중금속인 납, 비소, 카드뮴은 탈지 후 유충이 탈지 전 유충보다 1.3-2.0배 낮게 미량 검출되었고, 수은은 탈지 전, 후 유충에서 전혀 검출되지 않았다. 병원성 미생물인 대장균과 살모넬라균은 역시 탈지 전, 후 유충에서 전혀 검출되지 않았다. 결론적으로 위의 영양성분 및 유해물질 등의 결과로 볼 때, 탈지 아메리카왕거저리 유충이 탈지 전 유충보다 식용으로 활용하기에 더 적합할 것으로 판단된다.