

ORIGINAL ARTICLE

과채류 부산물 급이에 따른 아메리카동애등에(*Hermetia illucens*) 유충의 성분 분석

구본우 · 박지영 · 김용순 · 김기현¹⁾ · 박관호*

농촌진흥청 국립농업과학원 농업생물부 곤충양잠산업과 ¹⁾농촌진흥청 국립축산과학원 축산생명환경부 동물복지연구팀

Composition Analysis of Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) Larvae Fed with Different Three Single Fruit By-products

Bonwoo Koo, Ji Yeong Park, Yong-Soon Kim, Ki Hyun Kim¹⁾, Kwanho Park*

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

¹⁾Animal Welfare Research Team, National Institute of Animal Science, Wanju 55365, Korea

Abstract

As the world population growth and economy develops, the importance of eco-friendly organic waste resource treatment and up-cycling increases. Black soldier fly (BSF) (*Hermetia illucens*) treats organic waste resources that allows it to be recycled as a feed resource. In this study, we analyzed the nutrients composition, amino acid, and fatty acids of BSF larvae fed three agricultural by-products, namely apple pomace, mandarin waste, and oriental melon waste (mainly generated in South Korea). The highest BSF larvae crude protein and amino acid content was obtained in those fed mandarin waste compared with the other two diets (apple pomace and oriental melon waste). BSF larvae fed apple pomace had the highest crude fat, fatty acid, and lauric acid content compared with the other BSF larvae. Furthermore, all crude protein and fat content of BSF larvae fed the three agricultural by-products exceed that of the original agricultural by-products.

Key words : *Hermetia illucens*, Fruit by-products, Composition analysis

1. 서론

세계 인구의 증가 및 경제의 발전함에 따라 식량 자원의 생산 요구가 증가하고 있다(UN, 2022). 이를 충족하기 위해 육고기, 달걀, 유제품의 농식품자원은 2050년까지 2005년, 2007년에 비하여 각각 76%, 64%, 62%씩 증가해야 하며, 어가공품의 경우는 2016년 대비 2030년까지 17.6%를 증가하여야 한다(Alexandratos

and Bruinsma, 2012). 식량 자원의 생산을 위하여 고품질의 사료 자원이 필요하다. 또한, 단백질원을 생산하고 소비함에 따라 발생하는 부산물의 양도 전세계적으로 증가하고 있으며, 특히 저소득 및 중간 소득 국가에서 많이 발생된다(FAO, 2022). 식품의 생산, 유통 과정에서 약 17억 톤의 부산물이 발생되며 이 부산물 발생량은 이산화탄소 환산량(CO₂eq)으로 약 33억 톤이며 경제적으로 약 1.2조 달러의 처리 비용이 소요된다

Received 4 December, 2023; Revised 13 December, 2023;

Accepted 18 December, 2023

*Corresponding author : Kwanho Park, Industrial Insect and Sericulture Division, Department of Agricultural Biology, National Institute of Agricultural Sciences, RDA, Wanju 55365, Korea
Phone : +82-63-238-2994
E-mail : nicegano@korea.kr

© The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.
© 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.

Table 1. Composition analysis of the fruit by-products and the Black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae fed on fruit by-products (Unit: g/100 g) Nutrients compositions of three fruit by-products, calf feed as a control substrate and dry matter of BSF larvae fed with each substrates were conducted. Data are shown as the mean values \pm SE (n = 3). Different superscript letters indicated significant differences at $p < 0.05$ by Tukey's multiple comparison test.

Component	Substrates				Black soldier fly larvae			
	Calf feed	Apple pomace	Mandarin waste	Oriental Melon waste	Calf feed	Apple pomace	Mandarin	Oriental Melon waste
Moisture	64.07 \pm 0.18 ^a	81.53 \pm 0.41 ^b	81.93 \pm 0.20 ^b	83.97 \pm 0.03 ^c	3.92 \pm 0.11 ^d	0.48 \pm 0.03 ^a	2.28 \pm 0.01 ^c	1.03 \pm 0.02 ^b
Crude protein	22.80 \pm 0.15 ^d	5.63 \pm 0.04 ^b	10.77 \pm 0.03 ^c	2.77 \pm 0.23 ^a	46.73 \pm 0.97 ^b	37.03 \pm 0.90 ^a	44.53 \pm 0.07 ^b	36.80 \pm 0.44 ^a
Crude lipid	2.64 \pm 0.13 ^d	0.95 \pm 0.03 ^b	2.20 \pm 0.12 ^c	0.34 \pm 0.01 ^a	24.03 \pm 0.33 ^a	42.47 \pm 0.15 ^d	28.63 \pm 0.19 ^b	37.70 \pm 0.46 ^c
Ash	7.07 \pm 0.04 ^b	7.69 \pm 0.16 ^b	3.64 \pm 0.04 ^a	12.47 \pm 0.44 ^c	13.50 \pm 0.12 ^c	6.50 \pm 0.01 ^a	8.66 \pm 0.25 ^b	9.07 \pm 0.07 ^b
Crude Fiber	3.73 \pm 0.10 ^c	4.35 \pm 0.10 ^d	2.03 \pm 0.01 ^b	0.48 \pm 0.02 ^a	9.77 \pm 0.50 ^a	13.97 \pm 0.12 ^b	16.07 \pm 0.45 ^c	15.47 \pm 0.17 ^{bc}

(Scialabba et al., 2014). 따라서 유기물 부산물을 친환경적으로 처리하며 동시에 고품질의 사료 자원을 지속적으로 생산할 수 있는 방법의 필요성이 대두되고 있다. 이러한 문제를 해결하는 방법 중의 하나로 아메리카동애등을 이용하는 방법이 있다.

아메리카동애등에는 알에서부터 성충까지 약 45일로 다른 곤충에 비하여 생활주기(Life cycle)가 짧고 (Kim et al., 2008), 광범위한 유기물 폐자원을 섭취하고 분해하는 능력이 있으며, 섭취한 유기물을 단백질이나 지방으로 생체전환(Bioconversion)할 수 있는 능력을 가지고 있다. 특히, 많은 연구 결과에 따르면, 아메리카동애등에 유충은 남은 음식물, 과채류 부산물, 해조류를 분해할 수 있으며 심지어 사람이나 가축의 분뇨, 슬러지 등을 최대 68.8%까지 분해할 수 있다. 또한, 분해한 부산물을 최대 22.7%까지 단백질이나 지방 등으로 생체전환(Bioconversion)할 수 있는 능력을 가지고 있다(Zheng et al., 2012; Banks et al., 2014, Nguyen et al. 2015; Ooninx et al., 2015; Mohd-Noor et al., 2017; Cai et al., 2018; Lim et al., 2019). 또한, 파리나 모기와 달리 병을 매개하지 않는 장점이 있다(Furman et al., 1959; Diener, 2010).

최근 논문들(Giannetto et al., 2019; Lalander et al., 2019; Fischer and Romano 2021)에 따르면, 여러 과일 부산물이나 채소 부산물을 혼합하여 급이한 아메리카동애등에 유충의 영양성분을 분석한 연구들은 있으나, 단일 부산물을 급이한 아메리카동애등에 유충의 성분 분석을 한 연구는 많이 보고되어 있지 않다. 문제는 우리나라는 주로 한 지역에 단일 과채류 생산이 집중되어 있다. 예를 들어 감귤 생산량은 2022년 우리나라

전체 생산량은 약 61만 톤이며, 그중 제주도에 약 60.9만 톤 생산되어 전체 감귤 생산량의 약 99.8%를 생산한다 (KOSIS, 2023a). 또한, 참외와 사과 생산량 역시 우리나라 전체 생산량 중 경상북도에서 각각 약 93.9%, 약 58.4%를 생산하고 있다(KOSIS, 2023b). 따라서 과채류의 생산 및 가공과정에서 많은 과채류 부산물이 발생되며 이를 친환경적으로 처리하고 자원을 순환할 수 방법이 요구되고 있다. 이러한 맥락에서 아메리카동애등에 유충이 단일 과채류 부산물을 처리하여 재활용할 수 있는 방법 중 하나가 될 수 있다.

본 연구에서는 사과박, 폐감귤, 폐참외의 세가지 단일 과일부산물을 이용하여 아메리카동애등에 유충에 급이한 후 건조시킨 유충의 영양성분, 아미노산, 지방산 함량 분석을 통하여 아메리카동애등에 유충이 사료 자원으로써 이용 가능성을 제시하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 과채류 부산물 이용 아메리카동애등에 유충 사육 및 샘플링

본 실험에서는 농촌진흥청 국립농업과학원에서 사육하는 아메리카동애등을 사용하였으며, Koo et al.(2003)의 방법으로 사육하였다. 아메리카동애등의 먹이원으로 3가지 과채류 부산물(사과박, 폐감귤, 폐참외)과 대조구인 송아지사료를 급이하였다. 사과박은 전라북도 장수군 사과농가에서 사과주스를 만들기 위하여 사과를 착즙하고 남은 찌꺼기를 이용하였으며, 폐감귤은 제주도 제주시 감귤농가에서 감귤주스를 만들기 위하여 감귤을 착즙하고 남은 찌꺼기 및 미숙과를 이용하

Table 2. Amino acid analysis of the fruit by-products and the Black soldier fly(*Hermetia illucens*) larvae fed on fruit by-products (Unit: g/100 g) Amino acid analysis of three fruit by-products, calf feed as a control substrate and dry matter of BSF larvae fed with each substrates were conducted. Data are shown as the mean values \pm SE (n = 3). Different superscript letters indicated significant differences at $p < 0.05$ by Tukey's multiple comparison test. ND indicates 'Not detected' (<Quantitation limit = 0.02 g/100 g').

Components	Substrates				Black soldier fly larvae			
	Calf feed	Apple pomace	Mandarin waste	Oriental melon waste	Calf feed	Apple pomace	Mandarin waste	Oriental Melon waste
Essential amino acids								
Histidine	0.10 \pm 0.00 ^a	ND	ND	0.14 \pm 0.02 ^a	1.10 \pm 0.02 ^c	0.59 \pm 0.04 ^a	0.83 \pm 0.01 ^b	0.73 \pm 0.02 ^b
Isoleucine	0.19 \pm 0.01 ^b	ND	0.04 \pm 0.00 ^a	0.03 \pm 0.00 ^a	1.69 \pm 0.03 ^c	2.05 \pm 0.04 ^d	0.15 \pm 0.05 ^b	1.20 \pm 0.01 ^a
Leucine	0.44 \pm 0.00 ^c	0.03 \pm 0.00 ^a	0.08 \pm 0.00 ^b	0.04 \pm 0.00 ^a	3.08 \pm 0.07 ^b	5.82 \pm 0.09 ^d	4.14 \pm 0.10 ^c	2.37 \pm 0.03 ^a
Lysine	0.24 \pm 0.01 ^c	0.03 \pm 0.00 ^a	0.03 \pm 0.00 ^a	0.05 \pm 0.00 ^b	1.96 \pm 0.07 ^c	1.44 \pm 0.06 ^{ab}	1.54 \pm 0.03 ^b	1.23 \pm 0.02 ^a
Methionine	0.13 \pm 0.00 ^a	ND	ND	ND	0.71 \pm 0.03 ^c	0.43 \pm 0.01 ^{ab}	0.51 \pm 0.02 ^b	0.41 \pm 0.00 ^a
Pheylalanine	0.21 \pm 0.00 ^a	ND	ND	ND	1.67 \pm 0.01 ^c	1.51 \pm 0.04 ^c	1.19 \pm 0.07 ^b	0.91 \pm 0.02 ^a
Threonine	0.21 \pm 0.01 ^b	ND	0.03 \pm 0.00 ^a	0.03 \pm 0.00 ^a	1.58 \pm 0.02 ^c	1.34 \pm 0.03 ^b	1.50 \pm 0.03 ^c	1.22 \pm 0.02 ^a
Tryptophan	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Valine	0.21 \pm 0.01 ^b	ND	0.03 \pm 0.00 ^a	0.03 \pm 0.00 ^a	1.95 \pm 0.04 ^c	1.51 \pm 0.01 ^a	1.68 \pm 0.05 ^b	1.42 \pm 0.02 ^a
Non-essential amino acid								
Alanine	0.26 \pm 0.00 ^c	ND	0.07 \pm 0.00 ^a	0.14 \pm 0.01 ^b	2.59 \pm 0.01 ^c	2.24 \pm 0.05 ^a	2.42 \pm 0.02 ^b	2.17 \pm 0.04 ^a
Arginine	0.21 \pm 0.01 ^c	ND	0.03 \pm 0.00 ^b	0.03 \pm 0.00 ^{ab}	1.40 \pm 0.04 ^b	1.21 \pm 0.02 ^a	1.14 \pm 0.02 ^a	1.21 \pm 0.02 ^a
Aspartic acid	0.39 \pm 0.01 ^c	0.08 \pm 0.00 ^a	0.13 \pm 0.00 ^b	0.07 \pm 0.01 ^a	3.79 \pm 0.08 ^c	2.34 \pm 0.06 ^a	2.92 \pm 0.07 ^b	2.31 \pm 0.03 ^a
Cysteine	0.14 \pm 0.01 ^a	0.19 \pm 0.02 ^a	0.16 \pm 0.03 ^a	0.18 \pm 0.04 ^a	3.46 \pm 0.10 ^a	4.58 \pm 0.03 ^b	4.42 \pm 0.22 ^b	6.02 \pm 0.14 ^c
Glutamic acid	1.00 \pm 0.01 ^c	0.03 \pm 0.00 ^a	0.06 \pm 0.00 ^a	0.21 \pm 0.01 ^b	4.47 \pm 0.14 ^c	3.18 \pm 0.09 ^a	3.95 \pm 0.09 ^b	3.13 \pm 0.06 ^a
Glycine	0.26 \pm 0.01 ^b	ND	0.04 \pm 0.00 ^a	0.05 \pm 0.00 ^a	2.57 \pm 0.01 ^c	2.10 \pm 0.03 ^{ab}	2.19 \pm 0.04 ^b	2.03 \pm 0.04 ^a
Serine	0.26 \pm 0.02 ^b	ND	0.04 \pm 0.00 ^a	0.06 \pm 0.00 ^a	1.83 \pm 0.02 ^b	1.57 \pm 0.04 ^a	1.74 \pm 0.03 ^b	1.48 \pm 0.03 ^a
Proline	0.32 \pm 0.01 ^c	0.01 \pm 0.01 ^a	0.11 \pm 0.01 ^b	0.01 \pm 0.01 ^a	2.34 \pm 0.08 ^b	3.60 \pm 0.05 ^c	2.42 \pm 0.10 ^b	2.03 \pm 0.01 ^a
Tyrosine	0.12 \pm 0.00 ^a	ND	ND	ND	2.25 \pm 0.12 ^c	1.47 \pm 0.01 ^a	1.90 \pm 0.07 ^b	1.43 \pm 0.01 ^a

였다. 또한, 폐참외는 경상북도 상주시 참외 농가에서 미숙과 및 상품성이 없는 참외를 실험에 사용하였다. 아메리카동애등에 유충 사육은 알 단계에서부터 6일 경과된 아메리카동애등에 유충을 플라스틱 사육상자(가로64.5 cm X세로 80 cm X높이 11 cm)에 넣은 후, 각각의 과채류 부산과 사료영양학적 비교를 위해 송아지사료를 공급하여 사육하였다. 사육 조건은 27 $^{\circ}$ C, 습도 60% 이었으며, 종령 유충(5령)시기에 유충을 수확하여 마이크로웨이브(M-200-12H, Entomo USTEX, Korea)로 15분 건조하였다.

2.2. 일반성분 분석

아메리카동애등에 유충의 일반성분은 AOAC(2005)에 따라 측정하였다. 수분은 110 $^{\circ}$ C dry oven(OF-22,

Jeio Tech, Daejeon, Korea)에서 2 시간 건조한 후, 무게 감량을 측정하는 상압가열건조법을 적용하였다. 또한, 조회분은 600 $^{\circ}$ C 회화로(JSMF-140T, JSR Inc. Laboratory, North Ringwood, VIC, Australia)에서 백색 또는 회백색 회분을 얻을 때까지 회화한 후, 무게 감량을 측정하는 직접회화법을 이용하였다. 조단백질은 자동질소증류장치(2300 Kjeltac Analyzer Unit, Foss Tecator AB, Hoganas, Sweden)를 이용하여 질소정량법인 Kjeldahl 법으로 분석하였다. 그리고 조지방은 시료에 diethyl ether 를 첨가하여 12 시간 동안 soxhlet 법으로 추출한 후, 용매를 감압건조하여 시료의 무게 감량을 측정하여 분석하였으며, 조섬유는 무게 감량법을 이용하여 측정하였다.

2.3. 아미노산 함량 분석

시료 0.1 g 에 6 N HCl 10 mL 을 첨가하여 110°C 에 서 22 시간 가수분해하였고, 65°C water bath 에서 용 매가 완전히 증발될 때까지 감압 건조 하였다. 0.02 N HCl 2 mL 을 첨가하여 잔류물을 완전 용해시킨 후, 0.45 μ m nylon syringe filter 로 여과하여 이를 시험 용액으로 사용하였다. 이 시험 용액에 MPA reagent (3-mercaptopropionic acid), OPA reagent (o-phthalaldehyde), FMOX reagent (fluorenylmethoxycarbonyl chloride) 순으로 첨가하여 유도체화 시킨 후, HPLC-FLD 로 분석하였다.

2.4. 지방산 조성

시료에 diethylether 20 mL 을 첨가하여 sonication (Hwashin Tech., Powersonic 410)으로 1 시 간 추출한 후, 여과 (Advantec paper filter 5A)하여 N₂ 로 건조하였다. 여기에 0.5N NaOH/MeOH 용액 10 mL 을 첨가한 후, 1 시간 동안 중탕가열하여 fatty acid methyl esters(FAME)으로 전환하였고, 유도체 화를 위하여 BF₃ (14% Boron Trifluoride/MeOH, Sigma)용액을 10 mL 첨가하여 15 분간 중탕가열한 후 상온에서 방랭하였다. 다시 3N NaCl 을 10 mL 첨가한 후, hexane 층을 취해 gaschromatography-mass spectrophotometry (GC, Shimadzu GC-2030, GCMS-QP 2020 NX)로 지방산 조성을 분석하였다. 각각의 지방산은 FAME standards (Supelco 37 Component FAME Mix, Supelco Inc., USA)의 retention time 을 비교하여 정량 하였다.

2.5. 통계분석

모든 실험은 3회 반복 실험을 수행하였으며, 결과값 은 SPSS statistics(ver. 27.0.0.0, IBM Co., Armonk, NY, USA)를 사용하였다. 통계적유의성 검증은 일원배 치분산분석(One Way ANOVA)을 이용하였고, 사후검 증으로 Tukey's honestly significant differences test($p < 0.05$)를 실시하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 일반성분

먹이원과 아메리카동애등에 건조 유충의 일반성분 분 석 결과는 Table 1 에 나타내었다. 수분함량은 사과박이 81.53 \pm 0.41 g/100 g, 폐감굴이 81.93 \pm 0.20 g/100 g, 폐참외가 83.97 \pm 0.03 g/100 g 로 나타났으며, 송아 지사료(64.07 \pm 0.18 g/100 g) 보다 약 17-20 g/100 g 높은 함량을 나타내었다. 조단백질과 조지방 함량은 폐 감굴이 10.77 \pm 0.03 g/100 g 와 2.20 \pm 0.12 g /100g 이었고, 이는 사과박 (5.63 \pm 0.44 g/100g, 0.95 \pm 0.03 g /100g)과 폐참외 (2.77 \pm 0.23 g/100 g, 0.34 \pm 0.01 g /100 g)보다는 유의적으로 높았으나, 송아지사료(22.8 \pm 0.15 g/100 g, 2.64 \pm 0.13 g/100 g)보다는 유의적으 로 낮은 함량을 가짐을 확인하였다.

과채류 부산물을 급이한 아메리카동애등에 유충의 조단백질 함량을 분석한 결과, 폐감굴(44.53 \pm 0.07 g/100 g), 사과박(37.03 \pm 0.90 g/100 g), 폐참외 (36.80 \pm 0.44 g/100 g)순으로 분석되었다. 이는 아메 리카동애등에 급이한 과채류 부산물의 조단백질 함량과 연관이 있는 것으로 사료된다. 이전 연구(Nguyen et al., 2013; Oonincx et al., 2015; Gold et al., 2018) 결과에 따르면, 아메리카동애등에 유충에 충분한 단백 질이 함유된 먹이원을 공급할 경우, 유충 무게 및 생체 전환율은 높아지고, 유충생육기간은 짧아질 뿐 아니라, 유충의 단백질 함량은 높아진다고 보고되고 있다. 따라 서 급이한 과채류 부산물 중 폐감굴의 조단백질 함량이 가장 높아 폐감굴 급이 유충의 조단백질 함량이 가장 높 게 나타난 것으로 사료된다.

과채류 부산물을 급이한 아메리카동애등에 유충의 조지방 함량 분석 결과, 사과박(42.47 \pm 0.15 g/100 g), 폐참외(37.70 \pm 0.46 g/100 g), 폐감굴(28.63 \pm 0.19 g/100 g) 순으로 분석되었다. 이는 급이한 과채류 부산 물의 조지방 함량과는 상관관계가 없음을 확인하였고, 특히, 송아지사료의 조지방 함량이 사과박보다 2.78 배 높음에도 불구하고 송아지사료 급이 유충이 사과박 급 이 유충보다 조지방 함량이 0.57 배 낮음을 확인할 수 있었다.

Pimentel et al.(2017)에 따르면, 아메리카동애등에 유충에게 조단백질 함량이 낮고 탄수화물 함량이 높은 먹이원을 급이할 경우, 유충이 먹이원의 탄수화물을 주 로 조지방으로 생체전환하는 것으로 보고되었다. 이는 아메리카동애등에 유충의 조지방 함량은 먹이원의 조지 방 함량보다는 탄수화물 함량과 관련이 있음을 나타낸 다. 회분은 송아지사료를 급이한 유충과(13.50 \pm 0.46

Table 3. Fatty acid analysis of the fruit by-products and the Black soldier fly(*Hermetia illucens*) larvae fed on fruit by-products (Unit: g/100 g) Fatty acid analysis of three fruit by-products, calf feed as a control substrate and dry matter of BSF larvae fed with each substrates were conducted. Data are shown as the mean values \pm SE (n = 3). Different superscript letters indicated significant differences at $p < 0.05$ by Tukey's multiple comparison test. ND indicates 'Not detected' (Quantitation limit = 0.0001 g/100 g).

Components	Substrates				Black soldier fly larvae			
	Calf feed	Apple pomace	Mandarin waste	Oriental Melon waste	Calf feed	Apple pomace	Mandarin waste	Oriental Melon waste
Capric acid	0.001 \pm 0.000 ^a	ND	ND	ND	0.207 \pm 0.003 ^a	0.280 \pm 0.017 ^{bc}	0.250 \pm 0.006 ^{ab}	0.313 \pm 0.007 ^c
Lauric acid	0.020 \pm 0.002 ^a	ND	ND	ND	6.243 \pm 0.075 ^a	12.747 \pm 0.757 ^c	7.403 \pm 0.139 ^{ab}	9.017 \pm 0.246 ^b
Myristic acid	0.007 \pm 0.001 ^a	ND	ND	ND	1.230 \pm 0.021 ^a	2.653 \pm 0.122 ^c	1.387 \pm 0.009 ^a	1.877 \pm 0.084 ^b
Palmitic acid	0.024 \pm 0.001 ^b	ND	0.001 \pm 0.000 ^a	0.001 \pm 0.000 ^a	1.687 \pm 0.046 ^a	3.640 \pm 0.131 ^c	2.613 \pm 0.013 ^b	2.943 \pm 0.264 ^b
Palmitoleic acid	0.001 \pm 0.000 ^b	ND	ND	ND	0.233 \pm 0.003 ^a	0.870 \pm 0.049 ^c	0.437 \pm 0.009 ^b	0.773 \pm 0.064 ^c
Stearic acid	0.005 \pm 0.000 ^b	0.001 \pm 0.000 ^a	ND	ND	0.403 \pm 0.012 ^a	0.703 \pm 0.012 ^c	0.573 \pm 0.003 ^b	0.617 \pm 0.026 ^b
Oleic acid	0.035 \pm 0.001 ^b	0.001 \pm 0.000 ^a	0.001 \pm 0.000 ^a	ND	1.633 \pm 0.043 ^a	3.160 \pm 0.113 ^b	2.787 \pm 0.020 ^b	2.977 \pm 0.311 ^b
Linoleic acid	0.037 \pm 0.018 ^a	0.002 \pm 0.000 ^a	0.002 \pm 0.000 ^a	0.000 \pm 0.000 ^a	1.477 \pm 0.039 ^a	1.700 \pm 0.061 ^a	2.367 \pm 0.029 ^b	1.623 \pm 0.158 ^a
α Linolenic acid	0.004 \pm 0.000 ^c	ND	0.001 \pm 0.000 ^b	0.000 \pm 0.000 ^a	0.110 \pm 0.000 ^a	0.177 \pm 0.003 ^b	0.443 \pm 0.007 ^d	0.257 \pm 0.009 ^c
Eicosa pentaenoic acid	ND	ND	ND	ND	0.004 \pm 0.000 ^a	0.013 \pm 0.000 ^b	0.067 \pm 0.002 ^d	0.019 \pm 0.001 ^c
Docosahexaenoic acid	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.007 \pm 0.000 ^a	ND

g/100 g), 폐참외를 급이한 유충(9.07 \pm 0.07 g /100 g), 그리고 폐감귤을 급이한 유충(8.66 \pm 0.25 g /100 g) 및 사과박을 급이한 유충(6.50 \pm 0.01 g/100 g) 순으로 나타났다. 특히, 조섬유 함량은 폐감귤을 급이한 유충이 16.07 \pm 0.45 g/100 g 으로 가장 높음을 확인하였다.

3.2. 아미노산 함량

먹이원과 아메리카동애등에 건조 유충의 아미노산 함량 분석 결과는 Table 2 에 나타내었다. 유충의 아미노산 함량은 유충의 조단백질 결과와 달리 먹이원에 따라 많은 영향이 있지 않는 것을 확인하였다. 이러한 결과는 다른 연구결과와 비슷한 경향을 나타냈다 (Spranghers et al., 2017; Surendra et al., 2020). 아미노산 분석시 Histidine, Lysine, Methionine, Alanine, Arginine, Aspartic acid, Glutamic acid, Glycine, Tyrosine 함량은 송아지사료를 급이한 유충에서 과채류 부산물을 급이한 유충보다 유의적으로 가장 많음을 확인하였다. 하지만, Cysteine 함량은 송아지사료를 급이한 유충에서 유의적으로 가장 작음을 확인하였다. 송아지사료 급이 유충을 제외한 과채류 부산물 급이 유충의 아미노산 함량 분석한 결과, Isoleucine, Leucine, Phenylalanine, Proline 함량은 사과박 급

이 유충에서 가장 많이 함유 되었으며, Threonine, Valine, Alanine, Aspartic acid, Glutamic acid, Serine, Tyrosine 함량은 폐감귤 급이 유충에서 가장 많이 함유되었다. 마지막으로 Cysteine 함량은 폐참외 급이 유충에서 유의적으로 높음을 확인하였다.

각 유충 내 아미노산 함량을 비교한 결과, 사과박을 급이한 유충의 아미노산 함량은 Leucine, Cysteine, Proline 순으로 높으며, 폐감귤을 급이한 유충의 아미노산 함량은 Cysteine, Leucine, Glutamic acid 순으로 높음을 확인하였다. 마지막으로 폐참외를 급이한 유충의 아미노산 함량은 Cysteine, Glutamic acid, Leucine 순으로 높음을 확인하였다. 과채류 부산물을 급이한 유충 내에서 높은 함량을 보인 Leucine 의 경우, 먹이원에서는 송아지사료가 과채류 부산물보다 유의적으로 높은 Leucine 함량이 확인하였다. Spranghers et al.(2017) 결과에 따르면 먹이원으로 이용된 닭 사료, 바이오가스 부산물, 혼합 채소, 남은 음식물의 Leucine 의 함량은 다르나 이를 급이한 아메리카동애등에 유충의 Leucine 함량이 유사한 것을 확인하였다. 이러한 결과에 따라 채소 및 과채류를 급이한 아메리카동애등에 유충 내에서 Leucine 이 생합성 되는 것으로 예상된다. 특히, 아메리카동애등에에 급이한 먹이원의

종류, 조단백질 및 아미노산의 함량이 유충의 아미노산 함량에 영향을 미치는 것으로 사료된다.

3.3. 지방산 조성

먹이원과 아메리카동애등에 건조 유충의 지방산 분석 결과는 Table 3에 나타내었다. 먹이원의 지방산 분석 결과, 송아지사료를 제외한 과채류 부산물에서는 Lauric acid를 검출할 수 없었다. 하지만, 송아지사료 및 과채류 부산물을 급이한 건조 유충의 지방산 함량 분석시 Lauric acid가 가장 높음을 확인하였다. 이러한 결과는 아메리카동애등에 유충 내에서 Lauric acid가 생합성 되는 것으로 추측된다. 이전 결과에 따르면, 채소 및 과일 부산물, 남은 음식물, 발효된 옥수수 줄기 또는 소, 돼지 및 닭의 분뇨를 급이한 아메리카동애등에 유충의 지방산 분석 결과에서도 동일하게 Lauric acid 함량이 가장 높은 경향을 나타냄을 확인하였다(Surendra et al., 2016; Spranghers et al., 2017; Gao et al., 2019; Wang et al., 2020). Lauric acid는 탄소원자 12개를 가지는 중쇄지방산으로 *Mycobacterium smegmatis*, *Chlamydia trachomatis*, *Listeria monocytogenes* 등 다양한 병원균에 대하여 항균효과가 있는 것으로 알려져 있다(Decuypere and Dierick 2003; Churchward et al., 2018; Gasco et al., 2018). 이러한 결과는 아메리카동애등에 유충의 항균활성 효과와 상관관계가 있을 것으로 사료된다.

각 유충 내 지방산 조성을 비교한 결과, 송아지사료를 급이한 유충의 지방산 함량은 Lauric acid, Palmitic acid, Oleic acid, Linoleic acid 순으로 높음을 확인하였다. 사과박을 급이한 유충의 지방산 함량은 Lauric acid, Palmitic acid, Oleic acid, Myristic acid 순으로 높음을 확인하였으며, 폐감귤을 급이한 유충의 지방산 함량은 Lauric acid, Oleic acid, Palmitic acid, Linoleic acid 순으로 높음을 확인하였다. 마지막으로 폐참외를 급이한 유충의 지방산 함량은 Lauric acid, Oleic acid, Palmitic acid, Myristic acid 순으로 높은 것을 확인하였다. 이전 연구에서 아메리카동애등에 유충의 지방산 조성은 Lauric acid, Palmitic acid, Oleic acid 순으로 나타나는 것으로 보고되고 있으며(St-Hilaire et al., 2007; Spranghers et al., 2017; Meneguz et al., 2018; Ewald et al., 2020), 이는 본 연구에서 수행된 지방산 조성 분석 결과와 유사한 경향을 가짐을 확인하였다.

먹이원에서는 Eicosapentaenoic acid(EPA)가 검출되지 않았지만, 송아지사료 및 과채류 부산물 급이 유충 모두에서 EPA가 검출되었고, 특히 폐감귤 급이 유충에서 송아지사료 급이 유충보다 약 17배 높은 함량을 확인하였다. 특히, 모든 먹이원에서는 EPA가 검출되지 않았지만 건조 유충에서는 EPA가 검출되었으므로, 아메리카동애등에 생체 내에서 EPA가 생합성 되는 것으로 예상된다. 먹이원과 건조 유충의 지방산 조성 분석 결과, Docosahexaenoic acid(DHA)는 폐감귤 급이 유충에서만 검출됨을 확인하였다. 다른 연구 결과들에 따르면, 사과, 오렌지, 바나나 과일 부산물을 혼합하여 급이한 아메리카동애등에 유충의 지방산 분석시, EPA와 DHA가 검출되었음을 확인하였다(Fischer and Romano, 2021). 또한 아메리카동애등에 유충의 먹이원으로 해조류나 홍합 비율이 높아질수록 아메리카동애등에 유충의 EPA와 DHA 함량이 증가함을 확인하였다(Liland et al., 2017; Ewald et al., 2020). 이러한 결과들을 바탕으로 아메리카동애등에 유충은 생체 내에서 omega3 지방산을 축적 또는 합성이 가능한 것으로 사료되며, 과채류 부산물 특히 폐감귤을 급이한 유충은 수산 사료의 재료원으로 사용이 가능할 것으로 예상된다.

4. 결론

과채류 부산물을 급이한 유충의 일반성분과 아미노산의 분석 결과, 조단백질 함량은 폐감귤 급이 유충이 조지방 함량은 사과박 급이 유충에서 가장 높음을 확인하였다. 특히, 18종 아미노산 중, 모든 시료에서 검출되지 않은 Tryptophan 및 Isoleucine, Leucine, Phenylalanine, Arginine, Cysteine, Proline을 제외한 11종의 아미노산(Histidine, Lysine, Methionine, Threonine, Valine, Alanine, Aspartic acid, Glutamic acid, Glycine, Serine, Tyrosine)은 폐감귤을 급이한 유충에서 가장 높음을 확인하였다.

지방산 분석 결과, 아메리카동애등에가 다량 함유하고 있다고 보고된 Lauric acid는 사과박을 급이한 유충에서 가장 높은 함량이 확인되었다. 그러나 Omega 3로 알려진 EPA와 DHA는 폐감귤을 급이한 유충에서 가장 높은 함량이 확인되었다. 이는 수산 사료의 재료원으로는 폐감귤을 급이 유충이 활용 가능성이 높을 것으로 예상된다.

따라서 본 연구의 결과는 과채류 부산물을 급이한 아메리카동애등에 유충을 사료 소재로서 활용하기 위한 기초자료로 활용될 수 있다. 또한, 아메리카동애등에 유충에 급이하는 과채류 부산물의 종류에 따라 다양한 사료 영양학적 결과를 나타내었다. 따라서 유충의 최적 사육 조건, 건조, 가공 방법 등의 연구를 통하여 단일 먹이원으로서 가치를 높이는 추가적인 연구가 필요하다.

감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 연구사업(연구개발과제명: 동애등에를 이용한 과채류 부산물 분해 및 이용기술 개발, PJ015960)의 지원에 의해 이루어진 것입니다.

REFERENCES

- Association of Official Agricultural Chemists (AOAC), 2005, Official methods of analysis., 18th ed., Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC, USA.
- Alexandratos, N., Bruinsma, J., 2012, World Agriculture Towards 2030/2050: the 2012 Revision, FAO, Rome, Italy.
- Banks, I. J., Gibson, W. T., Cameron, M. M., 2014, Growth rates of black soldier fly larvae fed on fresh human faeces and their implication for improving sanitation, *Trop. Med. Int. Health.*, 19, 14-22.
- Cai, M., Hu, R., Zhang, K., Ma, S., Zheng, L., Yu, Z., Zhang, J., 2018, Resistance of black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae) larvae to combined heavy metals and potential application in municipal sewage sludge treatment, *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 25, 1559-1567.
- Churchward, C. P., Alany, R. G., Snyder, L. A. S., 2018, Alternative antimicrobials: the properties of fatty acids and monoglycerides, *Crit. Rev. Microbiol.*, 44, 561-570.
- Decuypere, J. A., Dierick, N. A., 2003, The combined use of triacylglycerols containing medium-chain fatty acids and exogenous lipolytic enzymes as an alternative to in-feed antibiotics in piglets: concept, possibilities and limitations. An overview, *Nutr. Res. Rev.*, 16, 193-210.
- Diener, S., 2010, Valorisation of organic solid waste using the black soldier fly, *Hermetia illucens*, in low and middle-income countries, Ph. D Dissertation, Eth Zürich, Zürich, Switzerland.
- Ewald, N., Vidakovic, A., Langeland, M., Kiessling, A., Sampels, S., Lalander, C., 2020, Fatty acid composition of black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) - Possibilities and limitations for modification through diet, *Waste Manage.*, 102, 40-47.
- FAO, 2022, Voluntary Code Conduct for Food Loss and Waste Reduction., FAO, Rome, Italy.
- Fischer, H., Romano, N., 2021, Fruit, vegetable, and starch mixtures on the nutritional quality of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae and resulting frass, *J. Insects Food Feed*, 7, 319-327.
- Furman, D. P., Young, R. D., Catts, P. E., 1959, *Hermetia illucens* (Linnaeus) as a factor in the natural control of *Musca domestica* Linnaeus, *J. Econ. Entomol.*, 52, 917-921.
- Gao, Z., Wang, W., Lu, X., Zhu, F., Liu, W., Wang, X., Lei, C., 2019, Bioconversion performance and life table of black soldier fly (*Hermetia illucens*) on fermented maize straw, *J. Clean. Prod.*, 230, 974-980.
- Gasco, L., Finke, M., van Huis, A., 2018, Can diets containing insects promote animal health?, *J. Insects Food Feed*, 4, 1-4.
- Giannetto, A., Oliva, S., Ceccon Lanes, C. F., de Araujo Pedron, F., Savastano, D., Baviera, C., Parrino, V., Lo Paro, G., Spano, N. C., Cappello, T., Maisano, M., Mauceri, A., Fasulo, S., 2019, *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae) larvae and prepupae: Biomass production, fatty acid profile and expression of key genes involved in lipid metabolism, *J. Biotechnol.*, 307, 44-54.
- Kim, J. G., Choi, Y. C., Choi, J. Y., Kim, W. T., Jeong, G. S., Park, K. H., Hwang, S. J., 2008, Ecology of the Black Soldier Fly, *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae) in Korea, *KSAE*, 47, 337-343.
- Koo, B., Park, J. Y., Kim, E., Kim, Y., Park, K., 2023, Bioconversion and growth performance of *Hermetia illucens* in single fruit by-products, *International J. Ind. Entomol.*, 46, 34-40.
- KOSIS, 2022, Vegetable Production(Fruit-bearing Vegetables), https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=DT_1ET0027&conn_path=I2&language=en.
- KOSIS, 2022, Fruit Production, https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=DT_1ET0292&conn_path=I2&language=en.
- Lalander, C., Diener, S., Zurbrugg, C., Vinnerås, B., 2019, Effects of feedstock on larval development and process efficiency in waste treatment with black soldier fly (*Hermetia illucens*), *J. Clean. Prod.*, 208, 211-219.
- Liland, N. S., Biancarosa, I., Araujo, P., Biemans, D., Bruckner, C. G., Waagbø, R., Torstensen, B.

- E., Lock, E. J., 2017, Modulation of nutrient composition of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae by feeding seaweed-enriched media, PLoS ONE, 12, e0183188.
- Lim, J. W., Mohd-Noor, S. N., Wong, C. Y., Lam, M. K., Goh, P. S., Beniers, J., Oh, W. D., Jumbri, K., Ghani, N. A., 2019, Palatability of black soldier fly larvae in valorizing mixed waste coconut endosperm and soybean curd residue into larval lipid and protein sources, J. Environ. Manage., 231, 129-136.
- Meneguz, M., Gasco, L., Tomberlin, J. K., 2018, Impact of pH and feeding system on black soldier fly (*Hermetia illucens*, L; Diptera: Stratiomyidae) larval development, PLoS ONE, 13, e0202591.
- Mohd-Noor, S. N., Wong, C. Y., Lim, J. W., Uemura, Y., Lam, M. K., Ramli, A., Bashir, M. J., Tham, L., 2017, Optimization of self-fermented period of waste coconut endosperm destined to feed black soldier fly larvae in enhancing the lipid and protein yields, Renew. Energy., 111, 646-654.
- Nguyen, T. X., Tomberlin, J., Vanlaerhoven, S., 2015, Ability of Black Soldier Fly (Diptera: Stratiomyidae) Larvae to Recycle Food Waste, Environ. Entomol., 44, 406-410.
- Oonincx, D., Van Huis, A., Van Loon, J., 2015, Nutrient utilisation by black soldier flies fed with chicken, pig, or cow manure, J. Insect Food Feed., 1, 131-139.
- Scialabba, N., Muller, A., Schader, C., Schmidt, U., Schwegler, P., 2014, Mitigation of Food Wastage Societal Costs and Benefits, FAO, Rome, Italy.
- Spranghers, T., Ottoboni, M., Klootwijk, C., Obyn, A., Deboosere, S., De Meulenaer, B., Michiels, J., Eeckhout, M., De Clercq, P., De Smet, S., 2017, Nutritional composition of black soldier fly (*Hermetia illucens*) prepupae reared on different organic waste substrates, J. Sci. Food Agric., 97, 2594-2600.
- St-Hilaire, S., Cranfill, K., McGuire, M., Mosley, E., Tomberlin, J., Newton, L., Sealey, W., Sheppard, C., Irving, S., 2007, Fish Offal Recycling by the Black Soldier Fly Produces a Foodstuff High in Omega3 Fatty Acids, J. World. Aquac. Soc., 38, 309-313.
- Surendra, K., Olivier, R., Tomberlin, J. K., Jha, R., Khanal, S. K., 2016, Bioconversion of organic wastes into biodiesel and animal feed via insect farming, Renew. Energy, 98, 197-202.
- Surendra, K., Tomberlin, J. K., van Huis, A., Cammack, J. A., Heckmann, L. L., Khanal, S. K., 2020, Rethinking organic wastes bioconversion: Evaluating the potential of the black soldier fly (*Hermetia illucens* (L.)) (Diptera: Stratiomyidae) (BSF), Waste Manage., 117, 58-80.
- UN, 2022, World Population Prospects 2022. United Nations Publication: 52.
- Wang, S. Y., Wu, L., Li, B., Zhang, D., 2020, Reproductive potential and nutritional composition of *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae) prepupae reared on different organic wastes, J. Econ. Entomol., 113, 527-537.
- Zheng, L., Li, Q., Zhang, J., Yu, Z., 2012, Double the biodiesel yield: Rearing black soldier fly larvae, *Hermetia illucens*, on solid residual fraction of restaurant waste after grease extraction for biodiesel production, Renew. Energy, 41, 75-79.
-
- Researcher. Bon-Woo Koo
Industrial Insect and Sericulture Division, Department of Agricultural Biology, National Institute of Agricultural Sciences, RDA
bonwoo9@korea.kr
 - Researcher. Ji-Yeong Park
Industrial Insect and Sericulture Division, Department of Agricultural Biology, National Institute of Agricultural Sciences, RDA
jjiyeong1211@korea.kr
 - Researcher. Yong-Soon Kim
Industrial Insect and Sericulture Division, Department of Agricultural Biology, National Institute of Agricultural Sciences, RDA
ip0214@hanmail.net
 - Researcher. Ki-Hyun Kim
Animal Welfare Research Team, National Institute of Animal Science
kihyun@korea.kr
 - Researcher. Kwan-Ho Park
Industrial Insect and Sericulture Division, Department of Agricultural Biology, National Institute of Agricultural Sciences, RDA
nicegano@korea.kr