

식용곤충 분리단백의 특성 및 활용연구

김선민¹ · 안채원¹ · 한정아^{1,*}

¹상명대학교 식품영양학과

Characterization and application of the proteins isolated from edible insects

Sun-Min Kim¹, Chae-Won An¹, and Jung-Ah Han^{1,*}

¹Department of Food and Nutrition, Sangmyung University

Abstract Proteins were isolated from four species of edible insects, *Bombyx mori*, B; *Tenebrio molitor*, T; *Protaetia brevitarsis*, P; and *Gryllus bimaculatus*, G, and their properties were analyzed and compared with those of whey proteins. The yield of the protein isolated from raw materials was 65.0-75.0%. Among three branched chain amino acids (BCAA), the amounts of valine in all the insects were similar to that of the whey protein. The BCAA content was 16.8 and 16.4% in G and T, respectively. The total polyphenolic content and the antioxidant activity of the insect proteins were significantly higher than those of the whey proteins. Based on the sensory test of the protein powder, the whey protein could be replaced by 25% of the isolated protein from the insects, but the taste and flavor needs to be improved. Although the BCAA content of insect proteins was lower than that of the whey protein (by 73-76%), their application could be useful because of high polyphenolic content and the anti-oxidative activity.

Keywords: edible insects, amino acid, polyphenol content, antioxidant activity, sensory test

서 론

의학의 발달 등으로 인간의 평균 수명이 증가함에 따라 세계 인구는 지속적으로 증가하고 있으며 2050년경에는 약 90억 명에 이를 것으로 예측되고 있다(UN, 2013). 그러나 기상이변으로 인해 안정된 식량 수급이 어려워 질 것으로 예상되므로, 식량부족 문제를 해결하고 미래식량을 확보하기 위하여 새로운 식품 자원의 개발이 필요하다. 이러한 상황에서 식용곤충은 50% 이상 고 함량의 단백질을 함유하고 있다는 영양적 장점(Bukkens, 1997)과, 사육하는 동안 발생하는 온실가스 양이 현재 주된 단백질 급원으로 섭취하는 가축(돼지, 소 등)을 사육할 때 발생하는 양보다 적다는 환경적 장점(Premalatha 등, 2011), 그리고 다른 동물성 단백질 공급원에 비하여 좁은 사육 면적과 적은 영양분이 필요하고, 빠른 증식 및 성장이 가능하다는 경제적 장점(Park과 Kim, 2018)으로 인해 주목받고 있다(Van Huis 등, 2013).

2018년 9월 기준, 식품의약품안전처의 식품공전(MFDS, 2016)에 등록되어 국내에서 식용으로 유통 및 판매가 가능한 곤충은 누에(*Bombyx mori*), 백강잠(*Bombycis corpus*), 벼메뚜기(*Oxya chinensis sinuosa*), 갈색거저리(*Tenebrio molitor*) 유충, 흰점박이꽃무지(*Protaetia brevitarsis*) 유충, 쌍별귀뚜라미(*Gryllus bimaculatus*), 장수풍뎅이(*Allomyrina dichotoma*) 유충의 7종이다. 국내 식용 곤충 시장의 규모는 2015년에는 초기 단계로 60억 원 수준이었으

나 2020년에는 16.9배 증가한 1,014억 원으로 예상된다. 식용 곤충과 관련하여 국내에서 이루어진 연구로는 영양성분 분석, 식품 원료화를 위한 조건 확립, 소재의 향산화, 가공식품 적용 등이 있다. 영양성분 분석은 국산 및 중국산 갈색거저리(Yoo 등, 2013), 흰점박이꽃무지(Chung 등, 2013b) 등을 중심으로 연구되었고, 식품 원료화를 위한 조건 확립에는 분말 제조 조건(Chung 등, 2013a), 절식 조건(Ahn 등, 2015), 전처리 조건(Kwon 등, 2013) 등이 보고되었다. 소재의 향산화특성은 벼메뚜기(Kim 등, 2015a), 갈색거저리 유충(Baek 등, 2017b, Yu 등, 2017), 흰점박이꽃무지 유충(Lee 등, 2017a) 등을 대상으로 연구되었고, 가공식품 개발모델로는 선식(Park과 Kim, 2018), 머핀(Hwang과 Choi, 2015), 파스타(Kim 등, 2014), 도토리묵(Lee 등, 2017b), 식빵(Kim, 2017), 패티(Kim 등, 2015b) 등이 보고된 바 있다. 그러나 위의 연구들은 식용곤충 전체를 활용하여 이루어졌으며, 식용 곤충의 영양적 장점인 고단백질 활용을 위한 단백질 분리나 단백질의 이용과 관련된 연구는 부족한 실정이다. 또한 식용곤충은 영양학적으로 우수한 식품소재이나, 시각적으로 혐오감을 줄 수 있기 때문에(Lee 등, 2017c), 곤충 전체를 사용하기 보다 함량이 높은 단백질을 분리하여 새로운 단백질 소재로서의 이용가능성을 살펴 볼 필요가 있다.

서구화되고 있는 식생활과 더불어 다이어트와 몸 만들기 열풍으로 인해 단백질 보충제에 대한 선호도가 증가하고 있다(Lee 등, 2008). 유청단백질은 생물학적 이용 가능성이 매우 높고 신체에 빨리 흡수되며 여러 단백질 급원 중 분지아미노산(branched-chain amino acids, BCAA)의 함량이 높다고 알려져 단백질 보충제로 많이 섭취되고 있는 식품이다(Kalman, 2014). Leucine과 valine은 isoleucine과 함께 BCAA에 속하는 아미노산으로 인간의 정상적인 단백질 대사균형 유지와 합성 과정에 필수적인 것으로 알려져 있으며(da Luz 등, 2011), 운동으로 발생할 수 있는 근육의 손

*Corresponding author: Jung-Ah Han, Department of Food and Nutrition, Sangmyung University, Seoul 03016, Korea
Tel: +82-2-2287-5357
Fax: 8+2-2-2287-0104
E-mail: vividew@smu.ac.kr
Received September 27, 2019; revised November 8, 2019;
accepted November 14, 2019

상을 줄이고, 근육 단백질의 합성을 촉진시킬 수 있다(Shimomura 등, 2004). 특히, leucine의 경우 운동 후 충분히 섭취했을 때 근육 단백질 합성을 복원하고, 신진대사 반응을 증가시키며, 골격근의 성능을 강화시켰다고 보고된 바 있다(Dickinson 등, 2014). 단백질 보충제의 주된 재료로 사용되는 농축유청단백질(whey protein concentrate, WPC)은 70-85%의 높은 단백질함량을 보이고 있으나, 약 5%의 유당을 함유하고 있기 때문에, 유당불내증이 있는 사람들의 경우 많은 양의 WPC를 섭취 시 위장 장애가 발생할 수 있다고 한다(Kalman, 2014). 본 연구에서는 국내에서 식용으로 유통 및 판매가 가능한 7종의 곤충 중 누에, 갈색거저리 유충, 흰점박이꽃무지 유충, 쌍별귀뚜라미의 4종을 대상으로 조단백질을 분리하고 그 특성을 분석 비교함으로써 고부가가치 식품소재로 활용될 수 있는 기본 정보를 제공하고자 하였다. 특히, 총 아미노산, 필수아미노산, 그리고 분지 아미노산의 함량을 분석하고, 항산화 활성을 비교함으로써 유청단백질의 대체가능성을 알아보았다.

재료 및 방법

재료

본 연구에 사용된 흰점박이꽃무지 유충(*Protaetia brevitarsis*, P), 쌍별귀뚜라미(*Gryllus bimaculatus*, G), 갈색거저리 유충(*Tenebrio molitor*, T), 및 누에(*Bombyx mori*, B)는 이더블 주식회사(Edible Inc., Seoul, Korea)에서 5-7일 절식 시킨 후 물로 세척하고 전자레인지처리를 통해 살균 건조하여 식용으로 처리한 동결건조 상태의 시료를 구입하여 -18°C 냉동실에 보관하며 사용하였다. 실험 당일 시료는 분쇄기(SK electric mixer, SK Magic, Seoul, Korea)를 이용하여 3분 분쇄한 후 사용하였다. 농축유청단백질(WPC)과 분리유청단백질(whey protein isolate, WPI)은 가루나라(Garunara, Seoul, Korea)에서 판매된 것을 구입하여 상온에 보관하며 사용하였다. 각 시료의 수분함량은 상압건조법으로 3회 반복하여 측정하였으며, 모든 실험은 각 시료의 수분함량을 고려한 건조중량을 기준으로 진행하였다.

단백질 분리

예비실험결과와 문헌(Mishyna 등, 2019)을 참고하여 단백질 분리를 위해 2 N NaOH를 용매로 선택하였다. 분쇄 시료 20 g에 2 N NaOH 용액 80 mL을 넣고 stirrer (PC-410, Corning Inc., Corning, NY, USA)를 이용하여 1시간 교반 후 80 mL의 증류수를 넣고 30분 추가로 교반하였다. 그 후 160 mL의 증류수를 사용해 100 mesh와 150 mesh 체에 각각 내리면서 불순물을 제거하였다. 이 후, 2 N HCl을 넣어 pH를 7로 맞춘 후, 원심분리기(Supra 22K, Hanil Science Industrial, Incheon, Korea)를 이용해 4°C에서 원심분리(6000×g, 20 min)하여 상등액과 침전물을 분리 회수한 후, 각각 동결건조하여 준비하였다. 추출 후의 수율은 원시료 중량에 대한 추출물의 동결건조 중량의 조성비로 나타내었다.

조단백질 함량 분석

식용 곤충 전체(total, T)와 곤충분리단백(protein isolated, PI) 및 유청단백질의 조단백질 함량은 식품공전(MFDS, 2016)에 준하여 전처리 한 후, micro-Kjeldahl 질소정량법을 이용해 2회 반복 분석한 후, 평균값으로 나타내었다.

아미노산 조성 분석

식용곤충전체(T)와 곤충분리단백(PI) 및 유청단백질의 아미노산

조성 분석을 위한 시료의 전처리는 식품공전(MFDS, 2016)에 준하여 다음과 같이 처리하였다. 먼저 시료 약 1 g에 6 N-HCl 10 mL을 가한 후 105°C 오븐에서 22시간 동안 가수분해 하였다. 분해물은 실온까지 방냉 한 후, 50 mL 정용 flask에 옮겨 3차 증류수로 정용 한 후 이 중 1 mL을 취해서 다시 10 mL 정용 flask에 3차 증류수로 정용 한 후 이를 0.2 μm PTFE membrane filter로 여과하여 시험용액으로 하였다. 분석을 위한 칼럼은 ion exchange column packed with Hitachi custom ion exchange resin (4.6 mm×60 mm, Hitachi High-Technologies Co. Ltd., Tokyo, Japan)을, 이동상으로는 완충용액(PH-1, PH-2, PH-3, PH-4, PH-RG, Mitsubishi Chemical Co. Tokyo, Japan)와 Ninhydrin solution, Buffer (ninhydrin coloring solution kit for Hitachi, Wako Pure Chemical, Osaka, Japan)를 이용하였고, 검출기(UV detector, Hitachi Ltd., Tokyo, Japan)를 이용, 570과 440 nm 조건에서 분석하였다. 결과는 2회 반복으로 분석하여 평균값으로 나타내었다.

총 폴리페놀 함량과 DPPH 라디칼 소거능 활성 측정

각 시료 1 g에 70% 에탄올 10 mL를 혼합한 후 균질기(IKA T25 Digital Ultra-Turrax, Staufen, Germany)를 이용하여 30초씩 3회 균질화 한 후 24시간 추출하였다. 추출물을 4°C에서 3000×g으로 15분간 원심분리하여 상등액을 시료로 사용하였다. 총 폴리페놀의 함량은 Folin-Denis 법(Folin과 Denis, 1912)에 따라 측정 한 후, gallic acid (Sigma-Aldrich Co., St. Louis, MO, USA)를 표준 물질로 한 표준 곡선에 의해 그 함량을 산출하였다. 라디칼 소거능은 Blois의 방법(1958)을 참고하여 수소 공여 효과를 측정하였고, 다음과 같은 식에 의해 백분율로 나타내었다.

DPPH radical scavenging ability (%)

$$= \{1 - (\text{시료군의 흡광도} / \text{대조군의 흡광도})\} \times 100$$

색도

식용 곤충 및 유청단백질의 색도는 색차계(Chromameter, CR-300, Minolta Co., Ltd, Osaka, Japan)를 이용하여 명도(lightness, L*), 적색도(redness, a*), 황색도(yellowness, b*) 값을 측정하였다. 측정 시 사용한 표준 백색판(standard plate)은 L*=96.60, a*=0.24, b*=1.97이었다.

관능검사

본 연구에서 사용한 4가지 식용곤충 중, 실험결과 BCAA비율과 항산화 활성이 높게 측정된 쌍별귀뚜라미 분리단백(GPI)과 갈색거저리 유충 분리단백(TPI)을 시료군으로 하였다. 대조군으로는 유청단백질을 기본으로 하고 시판 단백질 파우더의 조성과 동일하게 맛과 향을 위한 첨가물을 혼합한 시료를 이용하였으며, 동결건조 상태의 GPI와 TPI를 각각 대조군인 유청단백질의 25%와 50%를 대체하여 제조한 시료를 실험군으로 하였다. 평가 시에는 제조한 단백질 파우더와 우유를 1:3의 비율로 혼합하여 음료의 형태로 제조한 시료를 제공하였다. 20-30대 30명을 대상으로 평가를 실시하였으며, 평가항목으로는 전반적 기호도(overall acceptability), 색(color), 향(flavor), 맛(taste), 겉쪽함(thickness)의 다섯 가지 항목에 대해 5점 평점 법(1: 매우 싫다, 2: 싫다, 3: 보통이다, 4: 좋다, 5: 매우 좋다)을 이용하여 평가하였다. 본 연구는 소속기관의 생명윤리심의위원회의 승인을 받은 후 시행되었다(Approval No. C-2019-007).

통계분석

실험결과는 평균±표준편차로 표시하였다. 조단백질 함량과 아미노산 조성분석을 제외한 모든 실험결과는 3회 이상 반복 실험한 후 SPSS (Statistical Package for Social Sciences, version 20.0, SPSS Inc., Chicago, IL, USA) 통계 프로그램을 이용하여 분석하였으며, 각 시료들 간의 유의성에 대한 검증은 사후검증(Duncan's multiple range test)을 통해 p<0.05 수준에서 나타내었다.

결과 및 고찰

조단백질 함량

각 시료 별 수분함량, 단백질함량 및 추출수율의 결과는 Table 1과 같다. 유청단백인 WPC와 WPI의 수분함량은 4.02-4.83%로 시료 간 유의적 차이가 없었으며, 식용곤충의 수분함량은 3.00-6.40%로 시료 간 유의적 차이를 보였다. WPC의 단백질 함량은 78.4%로 나타났다. WPC를 이온 교환 또는 교차 흐름 미세 여과에 의해 처리하여 단백질 함량을 높인 WPI는 87.3%로 WPC보다 약 10% 높은 단백질 함량을 보였다. 원물 시료의 단백질함량은 누에가 65.4%로 가장 높았고, 갈색거저리 유충이 52.8%로 가장 낮았다. 농촌진흥청의 식품성분 분석결과에서도 갈색거저리 유충의 단백질 함량은 51.4%, 흰점박이꽃무지 유충의 단백질은 54.1%로 나타나 본 연구에서 분석한 단백질 함량과 매우 유사하였으나, 누에의 경우만 본 연구에서 분석한 단백질 함량이 65.4%로 농촌진흥청의 분석결과(56.7%)보다 다소 높게 나타났다(Rural Development Administration, 2015). 단백질 분리 과정을 거쳐 최종 원심분리 후 얻은 침전물의 경우 수율이 3.4-15.6%로 너무 낮았기 때문에 이를 제외하고 상등액 시료만을 사용하였다. 상등액에서 얻은 단백질 수율은 65.0-75.0%로 나타나 단백질 분리과정에서 껍질과 함께 일부 단백질도 손실된 것으로 보이므로 차 후 단백질의 수율을 높일 수 있는 분리 방법에 대해 연구가 이루어질 필요가 있다.

Table 1. Crude protein amount and yield of edible insects and whey proteins

Sample	Moisture content (%)	Crude protein amount (%)	Yield (%)
WPC	4.83±0.37 ^c	78.4±0.16	-
WPI	4.02±0.27 ^c	87.3±0.94	-
T ¹⁾ P ²⁾	5.30±0.53 ^b	53.9±0.58	-
TG ³⁾	3.00±0.38 ^d	64.4±0.09	-
TT ⁴⁾	4.38±0.40 ^c	52.8±0.85	-
TB ⁵⁾	6.40±0.43 ^a	65.4±0.76	-
PPI ⁶⁾		40.4±0.97	75.0±1.11
GPI		43.8±0.56	67.7±0.56
TPI		36.4±0.83	68.6±0.71
BPI		42.5±0.43	65.0±0.55

WPC: whey protein concentrated; WPI: whey protein isolated; T¹⁾: total, P²⁾: total *Protaetia brevitarsis*; G³⁾: *Gryllus bimaculatus*; T⁴⁾: *Tenebrio molitor*; B⁵⁾: total *Bombyx mori*; PI⁶⁾: protein isolated
Data shown are the mean±SD. Significant differences are indicated with different letters (p<0.05).

아미노산 조성

곤충 전체(T)와 곤충분리단백(PI), 그리고 비교를 위한 유청단백질의 아미노산 조성(필수아미노산 8종과 비필수아미노산 8종) 분석 결과는 Table 2와 같다. 필수아미노산은 체내에서 합성되지 않아 반드시 외부에서 섭취해야 하는 아미노산을 의미하는데, 유청단백질(WPI, WPC)은 필수아미노산 중 특히 threonine (Thr), leucine (Leu) 및 lysine (Lys)의 함량이 식용곤충보다 유의적으로 높게 함유되어 있었다. 곤 단백질에 존재하는 필수 아미노산 중 30%를 차지하는 분지형 아미노산(BCAA)인 Leu, isoleucine (Ile) 과 Val은 골격근에서 산화되는 아미노산으로 근육의 에너지 생산의 근원으로 작용하며(Wagenmakers 등, 1990), 식이 또는 운동

Table 2. Amino acid composition of edible insects and whey proteins

Amino acid (%)	Whey protein			Total protein				Protein isolate			
	WPC	WPI	T ¹⁾ P ²⁾	TG ³⁾	TT ⁴⁾	TB ⁵⁾	PPI ⁶⁾	GPI	TPI	BPI	
Essential amino acid	Met	2.5±0.1	2.6±0.1	1.8±0.0	1.6±0.3	0.8±0.2	0.7±0.1	1.0±0.1	0.7±0.1	0.1±0.0	1.1±0.0
	Thr	7.2±1.3	6.8±0.3	4.0±0.8	4.3±1.1	4.4±0.3	3.5±0.9	4.3±1.0	4.5±1.1	4.4±0.6	4.4±0.6
	Val	5.5±1.3	5.5±0.4	5.7±0.2	5.8±1.0	6.9±0.6	3.6±0.3	5.2±0.8	5.0±0.6	5.7±0.7	4.7±0.3
	Ile	5.9±1.6	6.2±0.8	3.6±0.1	3.5±0.4	4.2±0.3	2.1±0.0	3.4±0.3	3.5±0.4	3.4±0.5	2.4±0.0
	Leu	10.8±2.3	11.3±1.5	5.7±0.3	8.2±1.5	7.8±1.3	3.9±0.3	6.0±0.9	8.3±2.2	7.3±1.7	4.2±0.7
	Phe	3.3±0.9	3.1±0.6	4.0±0.5	3.8±0.3	4.0±0.6	3.4±1.1	4.2±0.5	4.2±0.6	3.8±0.5	5.6±0.9
	Trp	1.9±0.2	1.7±0.2	3.1±0.2	2.5±0.0	3.5±0.6	2.4±0.3	3.2±0.1	2.7±0.0	3.6±0.2	2.9±0.0
	Lys	9.1±0.8	9.5±0.5	6.0±1.1	6.5±1.5	6.4±0.9	4.5±0.8	6.1±1.7	7.0±0.7	6.0±0.6	5.3±0.5
	Total	46.2±0.3	46.7±0.6	33.9±0.5	36.2±1.5	38.0±0.9	24.1±0.7	33.4±1.8	35.9±1.1	34.3±1.3	30.6±0.4
Non-essential amino acid	Gly	1.8±0.1	1.6±0.0	6.9±1.3	5.3±1.1	5.3±0.6	19.5±2.1	6.8±1.4	5.6±1.1	5.7±0.6	12.7±2.4
	Ala	4.9±2.2	5.2±0.9	4.7±0.5	8.6±2.4	7.5±1.5	15.2±3.8	6.3±1.6	8.1±2.8	8.3±3.4	11.6±1.7
	Tyr	3.0±1.2	3.1±0.5	8.8±1.6	5.4±2.0	8.5±1.3	7.0±2.5	4.6±0.4	3.9±0.7	7.5±2.8	5.6±1.1
	Arg	2.7±0.3	2.1±0.0	4.9±0.4	6.9±1.3	5.6±0.5	3.9±0.3	4.9±0.8	8.0±0.9	5.9±1.1	4.7±0.1
	Asp	10.0±1.1	10.4±1.6	7.4±2.3	10.7±1.6	8.6±0.9	7.5±1.1	8.9±0.4	11.5±1.7	9.3±1.3	10.0±1.5
	Ser	5.6±0.2	5.2±1.4	6.2±1.6	6.6±1.1	5.2±2.1	10.7±0.7	6.0±1.1	6.0±0.8	5.9±0.6	10.4±2.1
	Glu	19.3±4.5	19.8±3.4	15.5±3.3	14.6±2.7	14.5±3.9	10.1±2.4	16.6±3.8	16.3±2.9	15.6±1.9	13.3±1.8
	Pro	6.4±1.2	6.1±2.1	11.7±2.6	5.5±1.9	7.0±2.3	2.0±1.2	12.3±3.1	4.3±0.0	7.5±1.2	2.4±0.0
	Total	53.7±1.4	53.5±2.4	66.1±1.4	63.6±3.1	62.2±2.5	75.9±2.5	66.4±3.6	63.7±2.4	65.7±3.2	70.7±1.9

WPC: whey protein concentrated; WPI: whey protein isolated; T¹⁾: total, P²⁾: *Protaetia brevitarsis*; G³⁾: *Gryllus bimaculatus*; T⁴⁾: *Tenebrio molitor*; B⁵⁾: total *Bombyx mori*; PI⁶⁾: protein isolated
Data shown are the mean±SD.

에 의한 체중 감량 시 에너지 부족에 의한 근육량 손실을 방지한다고(Churchward-Venne 등, 2013) 알려져 있다. BCAA 중 Val의 경우 WPC와 WPI 둘 다 5.5%를 함유하고 있으며, 식용곤충 전체의 경우는 3.6-6.9%로 갈색거저리 유충에서 함량이 가장 높았고(6.9%), 누에를 제외하고는(3.6%) 유청단백질과 유사한 함량을 나타내었다. 식용곤충 분리단백에서도 누에(5.7%)를 제외하고는 5.0-5.7%로 유청단백질과 유사한 수준을 보였다. Ile의 경우, 누에는 유청단백의 약 40%, 그 외의 세 곤충은 곤충전체와 분리단백 모두 유청단백의 약 60% 수준을 보였다. 세포 내로 유입되면서 신호전달작용을 받게 되는 경우 최종적으로 근육 합성을 증가시킨다고 알려져 있는 Leu의 경우(Glass, 2003), 식용곤충 중에서는 쌍별귀뚜라미에 그 함량이 가장 높아(8.2-8.3%) 유청단백의 약 70% 수준이었고, 다음으로 갈색거저리 유충이 68-72% 수준을 보였다. 각 시료의 총 아미노산 중 BCAA의 %비율을 비교해 보면, WPI는 23%, WPC는 22.2%로 나타났는데 이는 Kalman (2014)이 보고한 WPI의 %비율(21.8%)과 유사한 결과이다. Kim 등(2015b)은 갈색거저리 유충 분말로 만든 패티는 두부로 만든 패티에 비해 운동 시 골격근에서 산화되어 에너지 기질로써 사용되는 BCAA가 Leu는 6.7배, Val은 7.5배, Ile은 6.2배 많이 함유되어 있다고 보고한 바 있다. 본 연구에서 분리곤충단백의 경우, 총 아미노산에 대한 BCAA의 함량%는 쌍별귀뚜라미가 가장 높았고(16.8%) 다음으로는 갈색거저리 유충으로 나타났다(16.4%). 이는 유청단백질보다는 낮은 함량이나, Kalman(2014)이 유청대체 소재로 제시한 rice protein concentrated (18.1%), rice protein isolated (18.7%)와 견줄만한 수준으로 나타났다. Baek 등(2017a)은 갈색거저리와 흰점박이꽃무지 유충, 장수풍뎅이 유충 3종의 식용곤충의 아미노산 분석결과에서 세 곤충 모두 Leu, Val, 및 Lys이 비교적 많이 함유되어 있다고 보고하였다. 콜라겐 합성에 관여하여 피부 탄력을 유지시키는 기능을 한다고 알려진 Lys (Kim 등, 2009)은 유청단백이나 곤충단백 모두 Leu 다음 두 번째로 높은 함량을 보였으며, 이는 Baek 등(2017a)의 연구결과와 유사한 경향이였다.

곤충 전체 시료의 필수아미노산 중 Thr, Val, Ile 및 phenylalanine (Phe)은 갈색거저리 유충에 가장 많이 함유되어 있으며 누에에 가장 적게 함유되었다. Methionine (Met)은 흰점박이꽃무지 유충에 가장 많이 함유되어 있으며(1.0-1.8%), 갈색거저리 유충에 가장 적게 함유되어 있었다(0.1-0.8%). 모든 곤충단백 시료에서 Phe과 tryptophan (Trp)의 함량은 유청단백질보다 높았다. 필수아미노산의 함량비율은 곤충 전체로 볼때는 갈색거저리 유충이 가장 높았고(38.0%) 누에가 가장 낮았으며(24.1%), 분리한 단백질에서는 쌍별귀뚜라미가 35.9%로 가장 높았고, 누에가 30.6%로 가장 낮았다. 비필수 아미노산 중 aspartic acid (Asp), arginine (Arg)의 함량은 쌍별귀뚜라미에서 가장 높았고 누에와 흰점박이꽃무지 유충에서는 낮은 반면, serine (Ser), glycine (Gly), alanine (Ala)의 함량은 누에에서 가장 높았고 glutamine (Glu), proline (Pro), tyrosine (Tyr)의 함량은 흰점박이꽃무지 유충에서 가장 높았다. 모든 시료에서 Asp, Glu, Pro를 제외한 비필수아미노산의 함량은 유청단백질보다 높게 측정되었다.

총 폴리페놀 함량 및 DPPH 활성 비교

각 시료 별 총 폴리페놀 함량 및 DPPH로 측정된 항산화 활성 결과는 Table 3에 제시하였다. 페놀성 화합물은 식물계에 존재하는 2차 대사산물로 항산화효과가 있어 생체 내의 노화 방지와 질병 예방 등에 기여하는 것으로 알려진 물질이다(Jeong 등, 2007)

Table 3. Total polyphenol content and DPPH radical scavenging activity of edible insects and whey proteins

Sample	Total polyphenol contents (mg/g GAE)	DPPH radical scavenging activity (%)
WPC	1.16±0.32 ^e	0.00±0.00 ^f
WPI	0.66±0.16 ^d	14.16±1.98 ^d
T ¹ P ²)	3.14±0.34 ^a	26.46±2.39 ^c
TG ³)	3.10±0.09 ^a	32.66±4.01 ^{bc}
TT ⁴)	3.10±0.28 ^a	51.06±1.45 ^c
TB ⁵)	1.10±0.24 ^e	9.42±1.22 ^e
PI ⁶)	3.10±0.03 ^a	14.07±3.22 ^d
GPI	3.43±0.14 ^a	27.63±3.14 ^c
TPI	3.11±0.37 ^a	40.02±3.11 ^b
BPI	2.12±0.44 ^b	7.92±2.37 ^e

WPC: whey protein concentrated; WPI: whey protein isolated; T¹: total, P²): total *Protaetia brevitarsis*; G³): *Gryllus bimaculatus*; T⁴): *Tenebrio molitor*; B⁵): total *Bombyx mori*; PI⁶): protein isolated. Data shown are the mean±SD. Significant differences are indicated with different letters ($p < 0.05$).

본 연구에서 총 폴리페놀 함량은 유청단백질이 0.66-1.16 mg/g GAE로 가장 낮게 측정되었고, 식용곤충 중에서는 누에가 1.10-2.12 mg/g GAE로 가장 낮은 함량을 보였다. 그 외 다른 곤충들은 3.10-3.47 (mg/g GAE)로 유의적 차이를 보이지 않았다. 또한 곤충전체와 각 분리 단백질간에도 유의적 차이가 없었다.

유리 라디칼은 산화적 대사 생성물로, 세포구성성분의 변성과 생체 내 기능 장애의 주요 원인으로 알려져 있다. 유청단백질 (WPC, WPI)과 비교했을 때, 모든 곤충 전체 시료는 DPPH 라디칼 소거능이 유의적으로 높았다. 원물 시료 중 갈색거저리 유충의 DPPH 라디칼 소거능이 51.06%로 가장 높았으며, 누에가 9.42%로 가장 낮았다. 식용곤충 분리단백 중에서는 갈색거저리 유충의 DPPH 라디칼 소거능이 40.0%로 가장 높았으며, 누에가 7.92%로 가장 낮았다. 즉, 원물 시료와 분리단백 시료 모두 갈색거저리 유충>쌍별귀뚜라미>흰점박이꽃무지 유충>누에로 동일한 경향을 보였다. 원물시료보다 분리단백에서 유리라디칼 소거능이 감소한 것은 식용곤충의 껍질 등에도 항산화효과가 있는 물질이 존재하기 때문으로 생각할 수 있다. Hwang과 Choi(2015)는 갈색거저리 유충 분말을 첨가하지 않은 시료보다 갈색거저리 유충을 첨가한 시료에서 더 높은 항산화 활성이 나타났다고 보고한 바 있으며, Park과 Kim(2018)은 선식의 연구에서 갈색거저리 유충을 첨가하지 않은 시료에 비해 첨가한 시료에서, 그리고 첨가량이 증가할수록 선식의 항산화 활성이 증가하였다고 하여 갈색거저리 유충의 항산화 효과를 보고한 바 있다. 누에번데기 분말을 흰쥐에게 섭취 하였을 때 SOD 단백질 활성이 증가하였으며(Oh 등, 2012), 식이에 첨가하여 6주간 섭취시켰을 때 통계적으로 유의하게 활성산소 생성을 억제 하여, 산화적스트레스가 감소되었다는 연구결과도 있다(Choi 등, 2000). 그 외 곤충으로 Kim 등(2015a)은 벼메뚜기를 ethanol과 water를 이용하여 추출한 후 DPPH에 대한 수소 공여 효과로 항산화활성과 총 폴리페놀함량을 측정된 결과, 70% ethanol 추출물에서 90% 이상으로 가장 높은 항산화 활성을 보였다고 보고하였다. 이상의 연구결과에서 볼 때 식용곤충은 우수한 항산화기능을 갖고 있으며 특히 본 연구결과에서 갈색거저리 유충과 쌍별귀뚜라미에서 그 효과가 큰 것을 알 수 있다.

Table 4. Color value of edible insects and whey proteins

Sample	Color value		
	L*-value	a*-value	b*-value
WPC	96.59±1.34 ^a	0.12±0.10 ^f	6.60±0.34 ^c
WPI	96.84±2.57 ^a	0.36±0.13 ^c	1.9±0.16 ^g
T ¹⁾ P ²⁾	62.78±1.14 ^e	5.02±0.22 ^b	12.28±2.44 ^a
TG ³⁾	54.66±1.45 ^g	3.57±0.26 ^c	3.42±0.97 ^f
TT ⁴⁾	55.59±1.11 ^g	5.17±0.34 ^b	7.54±0.40 ^d
TB ⁵⁾	70.13±2.44 ^b	-3.51±0.21 ^h	9.30±0.41 ^c
PPI ⁶⁾	57.68±0.23 ^f	7.16±0.44 ^a	11.81±1.08 ^a
GPI	64.55±1.18 ^d	7.22±0.52 ^a	6.44±0.55 ^c
TPI	66.65±0.64 ^c	3.01±0.13 ^d	8.69±0.77 ^c
BPI	63.56±0.87 ^{de}	-0.48±0.09 ^e	10.31±0.41 ^b

WPC: whey protein concentrated; WPI: whey protein isolated; T¹⁾: total, P²⁾: total *Protaetia brevitarsis*; G³⁾: *Gryllus bimaculatus*; T⁴⁾: *Tenebrio molitor*; B⁵⁾: total *Bombyx mori*; PI⁶⁾: protein isolated
Data shown are the mean±SD. Significant differences are indicated with different letters ($p < 0.05$).

색도

각 시료 별 색도 측정 결과는 Table 4에 제시하였다. 명도를 나타내는 L*값은 유청단백질(WPC, WPI)이 96.59-96.84로 가장 높았으며, 갈색거저리 유충(T)과 쌍별귀뚜라미(G)는 단백질 분리 과정을 거치며 L*값이 유의적으로 증가하였다. 적색도를 나타내는 a*값은 갈색거저리 유충을 제외하고 단백질 분리 과정을 거치며 유의적으로 증가하였고, 황색도를 나타내는 b*값 또한 흰점박이꽃무지 유충(P)을 제외하고는 단백질 분리 과정을 거치며 유의적으로 증가하는 경향을 보였다.

관능검사

시판 단백질과우더의 조성과 동일하게 첨가물을 배합하되, 대조군으로는 유청단백만, 시료군으로는 유청단백의 각 25, 50%를 곤충분리단백으로 대체하여 실험군으로 제조하고 관능검사를 수행한 결과는 Table 5에 제시하였다. 각 시료의 색은 시료간 유의적인 차이를 보이지 않았다. 향(flavor)은 쌍별귀뚜라미 분리단백 및 갈색거저리 유충 분리단백 모두 25% 대체군에서는 대조군과 유의적 차이가 없었으나 50% 대체한 시료에서는 유의적으로 낮게 평가되었다. 맛(taste)은 대조군이 가장 높은 점수를 받았으며, 다음으로 25% 대체군 > 50% 대체군 순으로 평가되었다. 겉쫄함(thickness)은 시료군 모두 대조군보다 유의적으로 낮게 평가되었으며, 전반적인 기호도(overall acceptability)는 대조군 시료가 가장 높았고 25% 대체군이 50% 대체군보다 높았으나 같은 수준의 대체군에서는 시료간 유의적 차이는 없었다. 본 연구결과 25%

의 대체 수준에서 쌍별귀뚜라미 분리단백(GPI)이나 갈색거저리 유충 분리단백(TPI)의 상업용 단백질 파우더의 대체 가능성이 보이나, 앞으로 식용곤충의 이용확대를 위해 좀 더 많은 양의 대체가 가능하도록 맛과 향 등을 향상시킬 필요가 있는 것으로 생각된다.

요 약

국내에서 식용으로 유통 및 판매가 가능한 7종의 곤충 중 누에(*Bombyx mori*), 갈색거저리(*Tenebrio molitor*) 유충, 흰점박이꽃무지(*Protaetia brevitarsis*) 유충, 쌍별귀뚜라미(*Gryllus bimaculatus*)의 4종을 대상으로 단백질을 분리하고, 유청 단백질과 비교하여 향산화 및 영양 특성을 분석하였다. 원물시료에서 분리한 단백질의 수율은 65.0-75.0%로 나타났다. 각 단백질의 아미노산을 분석한 결과, 모든 곤충 시료에서 필수 아미노산인 Phe, Trp은 유청 단백질보다 높은 함량을 보였다. 근육생성에 도움이 되는 세 종류의 BCAA아미노산 중 Val은 모든 곤충단백질에서 유청단백과 유사한 함량을 보였으며, BCAA함량은 곤충분리단백질 중 쌍별귀뚜라미와 갈색거저리 유충에서 그 함량이 각각 16.8과 16.4%로 가장 높아 유청단백(22.2-23%)의 73-76% 수준인 것으로 나타났다. 곤충 단백질의 총 폴리페놀함량은 유청단백보다 유의적으로 많았으며 곤충단백중에는 누에의 함량이 유의적으로 낮게 측정되었다. 항산화활성 또한 곤충단백이 유청단백보다 유의적으로 높았으며, 특히 갈색거저리 유충에서의 활성이 가장 높게 측정되었다. 관능검사결과에서는 시판 단백질과우더와 동일한 조성으로 제조했을 경우, 유청단백의 25%의 대체가 가능할 것으로 보이나 맛과 향이 대조군에 비해 많이 떨어지므로 보완할 필요가 있다. 곤충단백질은 유청단백질에 비해 BCAA함량은 다소 낮았지만 폴리페놀 함량이 높고 항산화활성이 있으므로 아미노산 조성을 참고하여 특정목적 단백질 제품으로 사용될 가능성이 높음이 확인되었다.

References

Ahn MY, Hwang JS, Yoon HJ, Park KHY, Kim SH and Kim EM. Fasting conditions and dietary phenomena of edible cricket (*Gryllus bimaculatus*). *J. Seric. Entomol. Sci.* 53: 78-81 (2015)
Baek MH, Hwang JS, Kim MA, Kim SH, Goo TW and Yun EY. Comparative analysis of nutritional components of edible insects registered as novel foods. *J. Life Sci.* 27:334-338 (2017a)
Baek MH, Seo MC, Kim MA, Yun EY and Hwang JS. The antioxidant activities and hair-growth promotion effects of *Tenebrio molitor* Larvae Extracts (TMEs). *J. Life Sci.* 27: 1269-1275 (2017b)
Blois MS. Antioxidant determination by the use of a stable free radical. *Nature* 26: 1199-1200 (1958)

Table 5. Sensory properties of protein powder prepared by edible insects

Sample	Sensory properties				
	Overall acceptability	Color	Flavor	Taste	Thickness
Control (WPC)	3.67±0.66 ^a	3.33±0.54 ^{ns}	3.59±0.47 ^a	3.89±0.55 ^a	3.44±0.22 ^a
G ¹⁾ PI ³⁾ -25	2.37±0.34 ^b	3.37±0.24	3.48±0.24 ^a	2.15±0.18 ^b	2.89±0.29 ^b
GPI-50	1.63±0.29 ^c	3.32±0.65	2.67±0.27 ^b	1.52±0.32 ^c	2.78±0.14 ^b
T ²⁾ PI-25	2.19±0.35 ^b	3.33±0.45	3.33±0.30 ^a	2.19±0.08 ^b	2.89±0.11 ^b
TPI-50	1.52±0.28 ^c	3.37±0.71	2.07±0.24 ^c	1.70±0.43 ^{bc}	2.74±0.30 ^b

WPC: whey protein concentrated, ns: not significant, G¹⁾: *Gryllus bimaculatus*; T²⁾: *Tenebrio molitor*; PI³⁾: protein isolated
Data shown are the mean±SD. Significant differences are indicated with different letters ($p < 0.05$).

- Bukkens SG. The nutritional value of edible insects. *Ecol. Food Nutr.* 36: 287-319 (1997)
- Choi JH, Kim DI, Park SH, Kim JM, Cho WK, Lee KG, Yeo JH, Lee YW. Effects of silkworm (*Bombyx mori* L.) powder on oxygen radicals and their scavenger enzymes in liver of SD rats. *Korean J. Life Sci.* 10: 347-353 (2000)
- Chung MY, Gwon EY, Hwang JS, Goo TW and Yun EY. Pre-treatment conditions on the powder of *Tenebrio molitor* for using as a novel food ingredient. *J. Life Sci.* 51: 664-668 (2013a)
- Chung MY, Hwang JS, Goo TW and Yun EY. Analysis of general composition and harmful material of *Protaetia brevitarsis*. *J. Life Sci.* 23: 664-668 (2013b)
- Churchward-Venne TA, Murphy CH, Longland TM, Phillips SM. Role of protein and amino acids in promoting lean mass accretion with resistance exercise and attenuating lean mass loss during energy deficit in humans. *Amino Acids* 45: 231-240 (2013)
- da Luz CR, Nicasro H, Zanchi NE, Chaves DF, Lancha AH. Potential therapeutic effects of branched-chain amino acids supplementation on resistance exercise-based muscle damage in humans. *J. Int. Soc. Sports Nutr.* 8: 23-26 (2011)
- Dickinson JM, Gundermann DM, Walker DK, Reidy PT, Borack MS, Drummond MJ, Arora M, Volpi E, Rasmussen BB. Leucine-enriched amino acid ingestion after resistance exercise prolongs myofibrillar protein synthesis and amino acid transporter expression in older men. *J. Nutr.* 144: 1694-1702 (2014)
- Folin O, Denis W. On phosphotungstic-phosphomolybdic compounds as color reagents. *J. Biol. Chem.* 12: 239-249 (1912)
- Glass DJ. Signaling pathways that mediate skeletal muscle hypertrophy and atrophy. *Nat. Cell Biol.* 5, 87-90 (2003)
- Hwang SY, Choi SK. Quality characteristics of muffins containing mealworm (*Tenebrio molitor*). *Culi. Sci. Hos. Res.* 21: 104-115 (2015)
- Jeong HJ, Park SB, Kim SA and Kim HK. Total polyphenol content and antioxidative activity of wild grape (*Vitis coignetiae*) extracts depending on ethanol concentrations. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 36: 1491-1496 (2007)
- Kalman D. Amino acid composition of an organic brown rice protein concentrate and isolate compared to soy and whey concentrates and isolates. *Foods* 3: 394-402 (2014)
- Kim YM. Quality characteristics of white bread with hot air-dried *Tenebrio molitor* Larvae Linne powder. *Korean J. Food Cook Sci.* 33: 513-522 (2017)
- Kim HJ, Kang SJ, Kim SG, Kim JE and Koo HY. Antioxidant activity and antimicrobial activity of the grasshopper, *Oxya chinensis sinuosa*. *J. Seric. Entomol. Sci.* 53: 130-134 (2015a)
- Kim HM, Kim JN, Kim JS, Jeong MY, Yun EY, Hwang JS and Kim AJ. Quality characteristics of patty prepared with mealworm powder. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 28: 813-820 (2015b)
- Kim SH, Kim KB, Noh JS, Yun EY and Choi SK. Quality characteristics of pasta with addition of Mealworm (*Tenebrio molitor*). *Food Serv. Ind. J.* 10: 55-64 (2014)
- Kim SA, Lee JA, Kim JM, Kim HA, Kim YA, Yun HJ and Cho YH. Effect of ascorbic acid, silicon, Fe, proline and lysine on proliferation and collagen synthesis in the human dermal fibroblast cell (HS27). *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 38: 1492-1498 (2009)
- Kwon EY, Yoo JM, Yoon YI, Hwang JS, Goo TW, Kim MY, Choi YC and Yun EY. Pre-treatment of the white-spotted flower chafer (*Protaetia brevitarsis*) as an ingredient for novel foods. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 42: 397-402 (2013)
- Lee DG, Kim KB, Choi SK. Quality characteristics of two-spotted cricket (*Gryllus bimaculatus*), brown stock by high pressure cooking. *Culi. Sci. & Hos. Res.* 23: 163-174 (2017c)
- Lee YK, Jeon HR, Jeon BD, Ryu S, Lee SC. Investigations of body composition, nutritional intake and dietary supplementation status before and after weight loss before match in bodybuilders. *Korean J. Phy. Edu.* 47: 467-474 (2008)
- Lee HS, Ryu HJ, Song HJ and Lee SO. Enzymatic preparation and antioxidant activities of protein hydrolysates from *Protaetia brevitarsis* Larvae. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 46: 1164-1170 (2017a)
- Lee KH, Yoon YT, Park YI, Lee HJ and Jeong NY. Quality evaluation of acorn mook prepared with mealworm (*Tenebrio molitor*) powder. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 30: 1042-1047 (2017b)
- MFDS (Ministry of Food and Drug Safety). Korea food code. Available from: http://www.nifds.go.kr/brd/m_21/view.do?seq=7819&srchFr=&srchTo=&srchWord=&srchTp=&itm_seq_1=0&itm_seq_2=0&multi_itm_seq=0&company_cd=&company_nm=&page=99. Accessed Feb. 19, 2016.
- Mishyna M, Martinez JJI, Chen J, Benjamin, O. Extraction, characterization and functional properties of soluble proteins from edible grasshopper (*Schistocerca gregaria*) and honey bee (*Apis mellifera*). *Food Res. Int.* 116: 697-706 (2019)
- Oh HG, Lee HY, Kim JH, Kang YR, Moon DI, Seo MY, Back HI, Kim SY, Oh MR, Park SH, Kim MG, Jeon JY, Shin SJ, Ryu KS, Chae SW, Kim O, Park JK. Effects of male silkworm pupa powder on the erectile dysfunction by chronic hanolconsumption in rats. *Lab. Anim. Res.* 28: 83-90 (2012)
- Park KH, Kim GY. Quality and characteristics of manufacturing sunsik with edible insect (Mealworm). *Culi. Sci. Hos. Res.* 24: 13-23 (2018)
- Premalatha M, Abbasi T, Abbasi T, Abbasi SA. Energy-efficient food production to reduce global warming and eco degradation: The use of edible insects. *Renew. Sust. Energ. Rev.* 15: 4357-4360 (2011)
- Rural Development Administration. Food composition table. 9th revision edition. Iksan, Chonbuk, Republic of Korea (2015)
- Shimomura Y, Murakami T, Nakai N, Nagasaki M, Harris R. Exercise promotes BCAA Catabolism: Effects of BCAA supplementation on skeletal muscle during exercise. *J. Nutr.* 6: 1583-1587 (2004).
- UN. World population prospects: The 2012 Revision. UN, New York, NY, USA. (2013)
- Van Huis A, Van Itterbeeck J, Klunder H, Mertens E, Halloran A, Muir G, Vantomme P. Edible Insects: Future prospects for food and feed security (No. 171) Food and Agriculture Organization of the United Nations (2013)
- Wagenmakers AJM, Coakley JH, Edwards RHT. Metabolism of branched-chain amino acids and ammonia during exercise clues from McArdle's disease. *Int. J. Sport. Med.* 11: 103-113 (1990)
- Yoo JM, Hwang JS, Goo TW and Yun EY. Comparative analysis of nutritional and harmful components in Korean and Chinese mealworms (*Tenebrio molitor*). *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 42: 249-254 (2013)
- Yu MH, Lee HS, Cho HR, Lee SO. Enzymatic preparation and antioxidant activities of protein hydrolysates from *Tenebrio molitor* Larvae (mealworm). *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 46: 435-441 (2017)