

서양종 꿀벌(*Apis mellifera* L.) 수벌번데기 동결건조 분말의 영양학적 성분 및 항산화 효과

김정은* · 김도익 · 구희연 · 김현진 · 김성연 · 이유범 · 김지수 · 김호혁 · 문제학¹ · 최용수²

전남농업기술원 곤충잡업연구소, ¹전남대학교 농업생명과학대학, ²농촌진흥청 국립농업과학원

Analysis of Nutritional Compounds and Antioxidant Effect of Freeze-Dried powder of the Honey Bee (*Apis mellifera* L.) Drone (Pupal stage)

Jung-Eun Kim*, Do-Ik Kim, Hui-Yeon Koo, Hyeon-Jin Kim, Seong-Yeon Kim, Yoo-Beom Lee, Ji-Soo Kim, Ho-Hyuk Kim, Jae-Hak Moon¹ and Yong-Soo Choi²

Jeonnam Insect and Sericultural Research Institute, Jangseong 57214, Korea

¹Department of Agricultural Biology, Jeonnam National University, Gwangju 61186, Korea

²Department of Agricultural Biology, National Academy of Agricultural Science, R.D.A. Wanju 55365, Korea

ABSTRACT: In this study, we analyzed the nutritional ingredients of drone pupae (16th to 20th instar old) to evaluate the value of bee products and provide basic data for product diversification, and the extracts prepared using these pupae were tested for physiological activity. According to the analysis of the general ingredients of the freeze-dried powder of these bee pupae, the moisture, crude protein, crude fat, and crude ash was $1.69 \pm 0.07\%$, $48.52 \pm 0.20\%$, $23.41 \pm 0.14\%$, and $4.05 \pm 0.02\%$, respectively. Vitamin C and vitamin E were 14.92 ± 0.52 mg/100 g and 6.06 ± 0.11 mg α -TE/100 g, respectively. Regarding minerals, the highest content of K (1349.13 ± 34.57 mg/100 g) and P (1323.55 ± 43.85 mg/100 g) was observed and Ca and Fe were 55.43 ± 1.51 mg/100 g and 5.49 ± 0.19 mg/100 g, respectively. The fatty acids of the water extracted freeze-dried pupae powder accounted for approximately 59.62 of saturated fatty acids and 40.38 of unsaturated fatty acids, and high-quality fatty acids such as palmitic acid (C16:0) was 35.49 ± 0.08 and oleic acid (C18:1, n-9) was 35.91 ± 0.22 (g/100 g total fatty acids). The total amino acid content was 38.99 ± 2.63 g/100 g and the free amino acid was a total of 5129.04 mg/100 g, of which 1257.68 mg/100 g was proline and 759.12 mg/100 g glutamic acid. The DPPH (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl) radical scavenging activity of the drone pupae extract showed values of 0.8 for distilled water extract, 3.2 for 50% EtOH extract, 6.4 for 70% EtOH extract, and approximately 90% for 32 μ g/mL for 100% EtOH extract. These results suggest that the main compound contributing to the antioxidant activity is a polar compound, and it is highly likely to be a low-molecular protein or a free amino acid. In conclusion, the honey bee drone pupa is excellent as a food resource and can be utilized as a new functional material for food and functional food.

Key words: Honey bee (*Apis mellifera* L.) Drone pupa, Nutrition, Antioxidant, Amino acid

초 록: 본 연구에서는 양봉산물로서의 가치 평가와 제품다양화를 위한 기초자료 제공을 위해 수벌번데기(16 ~ 20일령)의 영양성분분석 및 이를 이용한 추출물을 제조하고 생리활성 효과를 검증하였다. 수벌번데기 동결건조 분말의 일반성분 분석 결과 수분 $1.69 \pm 0.07\%$, 조단백 $48.52 \pm 0.20\%$, 조지방 $23.41 \pm 0.14\%$, 조회분 $4.05 \pm 0.02\%$ 였고, vitamin C 14.92 ± 0.52 mg/100 g, vitamin E 6.06 ± 0.11 mg α -TE/100 g 이었으며, 무기성분은 K과 P의 함량(mg/100g)이 각각 $1,349.13 \pm 34.57$ 및 $1,323.55 \pm 43.85$ 로 가장 높게 함유되어 있고, Ca과 Fe의 함량은 각각 55.43 ± 1.51 및 5.49 ± 0.19 가 함유된 것으로 분석되었다. 수벌번데기 동결건조분말 중에 함유된 지방산은 포화지방산(g/100g total fatty acids)이 약 59.62, 불포화지방산이 약 40.38을 차지하였고, 고급지방산인 palmitic acid (C16:0)가 35.49 ± 0.08 , 그리고 oleic acid (C18:1, n-9)가 35.91 ± 0.22 로 다량 함유되어 있었다. 구성아미노산(g/100 g)은 총 38.99 ± 2.63 이 함유된 것으로 분석되었고, 유리아미노산(mg/100 g)은 총 5,129.04였으며, 이중 proline이 1,257.68, glutamic acid가 759.12로 가장 높았다. 수벌번데기 추출물의 DPPH radical-scavenging 활성(μ g/ml)은 증류수추출 시 0.8, 50% EtOH 추출 시 3.2, 70% EtOH 추출 시 6.4, 그리고 EtOH 추출 시 32 농도에서 약 90% 이상이었다. 이와 같은 결과는 항산화능에 기여하는 주요 화합물이 극성계 화합물임으로 추정되었으며, 저분자단백질 또는 유리형 아미노산일 가능성이 높은 것으로 추측되었다. 이상의 결과와 같이 수벌번데기는 우수한 식품원료의 사용과 새로운 기능성 소재로의 활용을 기대할 수 있을 것으로 사료된다.

검색어: 서양종꿀벌 수벌번데기, 영양성분, 항산화 활성, 아미노산

*Corresponding author: kje2864@korea.kr

Received May 25 2020; Revised August 11 2020

Accepted August 26 2020

유엔(UN)에서는 2050년이 되면 세계 인구가 96억 명에 이를 것으로 추정하고 있다(United Nations, 2013). 이와 더불어 미래인류의 식량 부족을 걱정하는 목소리가 증가하고 곤충을 식용으로 이용하여 미래 식량 안보에 대응하고자 하는 주장도 증가하고 있다(De Foliart, 1997). 전 세계적으로 알려져 있는 식용 곤충의 수는 최소 113개국에서 약 2000여종 정도로 알려져 있고(Jongema, 2012) 세계에서 적어도 약 20억 명이 전통적으로 곤충을 식용으로 이용한다고 보고된 바가 있다(Van Huis et al., 2013). 이러한 곤충은 우수한 단백질을 함유하고 있으며, 각종 무기질을 비롯한 비타민류와 엽산을 보유하고 있는(Rumpold and Schluter, 2013) 우수한 영양학적 가치를 가진다. 특히, 곤충은 생활주기가 짧고 저탄소 저비용으로 고효율을 기대할 수 있는 식량자원이다(FAO Regional Office for Asia and the Pacific, 2010; Nakagaki and DeFoliart, 1991). 곤충을 식용으로 사용하는 관행을 Entomophagy (Meyer-Rochow, 1976)라고 부르는데 아프리카, 아시아, 중남미에서 인간의 영양원으로 중요한 역할을 해왔다(Srivastava et al., 2009).

꿀벌은 전 세계적으로 분포된 곤충으로써 우리나라에서는 재래꿀벌(*Apis cerana* F.)과 양봉꿀벌(*Apis mellifera* L.)이 사육되고 있다. 한국농촌경제연구원에서 실태조사(2020)한 결과, 국내 양봉농가의 수는 24,629농가로서 약 238만 봉군을 사육하고 있으며 연간 매출액은 5,527억원 정도이다. 양봉꿀벌(*A. mellifera* L.)을 사육하여 생산되는 주요 양봉산물은 벌꿀, 화분, 로열젤리 등이 차지하고 있다. 그러나 양봉농가의 주요 소득원으로 약 60% 이상이 벌꿀 생산에 의존하고 있다는 약점을 가지고 있고, 또한 국내 최대 밀원으로써 전체 꿀 생산량의 80%를 차지하는 아카시아꿀이 '04년부터 개화기 기상악화로 연속 흉작이 되어 농가경영이 악화되고 있는 실정이며, 대외적으로는 한국-베트남 FTA가 체결(2015)되는 등 농업개방이 가속화되어 가격의 국제경쟁력이 하락하는 등 소득불안으로 농가 경영 위협요인이 증가하는 추세이다. 양봉산물 중 향균, 항산화 등의 기능성을 가지고 있는 것으로 로열젤리, 프로폴리스가 가장 많이 알려져 있으며 이들의 기능성은 이미 많은 임상적, 학문적으로 입증되어 있고 건강기능식품 및 미용원료로의 이용도 활발하다. 그러나 2011년 농림수산식품부에서 '곤충산업 육성 5개년 종합계획'을 발표하고 식용곤충에 대한 관심이 증가하면서 사육이 가능한 곤충들이 식품원료로 등록되었으며, 이와 더불어 꿀벌의 수벌을 식품원료로 이용 가능성이 대두되었다. 꿀벌의 수벌은 양봉산물의 생산활동에 기여하지 않고 여왕벌과의 교미에만 이용되며 벌집 내 꿀을 소비하기 때문에 농가에서는 자연적으로 발생하는 수벌번데기를 폐기처분하고 있다(Kim et al., 2018a). 이러한 수벌번데기는 국내 양봉농가에

서 사육하는 약 200만 봉군에서 농가 관행적으로 봉군 당 제거하는 수벌이 연간 약 2000 톤이 버려지는 것으로 추정된다. 경제적 가치가 전혀 없는 수벌번데기를 식용으로 이용할 경우 양봉농가의 신소득원으로 활용이 가능할 것이다. 최근 국내 연구진들은 양봉농가의 소득 감소 문제를 해결하기 위하여 수벌번데기의 식용화에 관한 연구를 진행하였다. 수벌번데기의 영양학적 가치에 대한 연구 결과로 동결건조물의 단백질 함량이 43~47%이고(Choi et al., 2009; Dietz, 1978), 식품으로써 요구되는 필수 3대영양소를 고르게 가지고 있으며 환자식으로서의 이용 가능성을 보고한 바도 있다(Burgett, 1990; Choi et al., 2009; Dietz, 1975; Hocking and Matsumura, 1960; Kim and Jung, 2013; Kim et al., 2018a; Thoenes and Schmidt, 1990). 그러나 최근 수벌번데기가 다른 식용 곤충에 비하여 용혈활성이 높은 것으로 확인되어 가공을 통한 안전성을 확보해야 한다는 의견도 있다(Ghosh et al., 2020b). 이러한 수벌번데기를 식품원료로 사용하여 가공용 소시지를 제조하고 각종 식품의 원료 및 첨가물로의 이용 가치를 구명하기도 하였다(Kang et al., 2018). 이와 더불어 수벌번데기의 식중독 세균과 곰팡이 독소에 대한 안전성 평가 결과 각종 유해 미생물이 검출되지 않아 식품원료로서의 사용이 가능한 것으로 확인되었으며(Kim et al., 2018b), 수벌번데기를 식품으로 섭취하여도 알러지 발생이 되지 않는다는 장점도 확인되었다(Hocking and Matsumura, 1960). 꿀벌 유충은 단백질, 지방산, 비타민, 미네랄의 풍부한 영양 성분(Rumpold and Schluter, 2013)과 함께 요리 후 풍미가 우수한 장점을 가지고 있다(Evans, 2013). 따라서 본 연구에서는 수벌번데기의 식품원료로의 이용가능성을 넓히기 위한 기초자료 제공과 양봉농가의 대량생산 기반을 만들고자 영양성분 분석을 하였으며 아울러 항산화 효과 분석을 통한 수벌번데기의 기능성 식품으로의 가능성을 확인하고자 하였다.

재료 및 방법

시험재료

시험에 사용된 서양종꿀벌(*A. mellifera* L.) 수벌번데기는 전라남도농업기술원 곤충잡업연구소에서 사육중인 서양종꿀벌 봉군을 이용하여 산란 후 16~20일령 사이의 수벌번데기를 수벌번데기 생산 전용 벌집(수벌소초광)을 이용하여 2016년 4월부터 9월까지 생산하였으며, 생산된 수벌번데기 시료는 초저온 냉동고에 보관한 후 Freeze Dryer (FD8512P, 일신바이오, 동두천, Korea)를 이용하여 -70~85°C에서 72시간 이상 동결 건조 후 분쇄하여 -70°C에 보관한 시료를 시험분석에 사용하였다.

일반성분

서양종 꿀벌 수벌번데기 동결건조 분말 내 수분 함량은 Infrared Moisture Meter (FD-720, KETT, Tokyo, Japan)를 이용하여 상압가열 건조법으로 분석하였다. 향량의 용기에 수벌번데기 분말 시료 1 g을 105°C로 향량에 도달할 때까지 건조하여 수분 함량을 산출하였다. 조단백질 함량은 Kjeldahl법을 이용하여 단백질자동분석기(K1100, SKZ International Co. LTD, Shandong, China)로 분석하였고, 조지방 함량은 Soxhlet 추출 방법으로 에테르추출법에 따라 측정하였다. 즉 시료 1 g을 원통여과지에 넣은 후 Soxhlet 추출관에서 무수에테르로 8시간 추출한 다음, 수기 중의 에테르를 증발시키고, 98~100°C 건조기에서 향량에 도달할 때까지 건조한 후 칭량하여 조지방 함량을 산출하였다. 조회분 함량은 깨끗한 도가니를 전기로(electronic oven)에서 600°C 이상으로 2시간 강하게 가열한 후 데시케이터에 옮겨 실온으로 식힌 다음 즉시 화학천칭으로 칭량하였다. 다시 2시간 가열하여 건조한 후 칭량하고 이 조작을 향량이 될 때까지 반복하였다. 시료를 도가니에 정밀히 달아 넣고 회화로(ash oven)에 옮겨 550~600°C에서 15시간 가열하여 백색~회백색의 회분이 얻어질 때까지 계속하였다. 회화가 끝난 후, 가열을 그치고 그대로 식혀 온도가 약 200°C가 되었을 때 데시케이터에 옮겨 식힌 후, 실온에 도달하면 칭량하여 시료의 회분량(%)을 산출하였다. 탄수화물 함량은 시료 100 g 중 수분, 조단백질, 조지방 및 조회분의 양을 감하여 얻은 양으로 표시하였고 백분율로 나타내었다.

구성아미노산

서양종 꿀벌 수벌번데기 동결건조 분말 내 단백질의 구성아미노산은 시료 0.1 g을 18 mL test tube에 칭량하여 6 N HCl 5 mL를 가하여 감압 밀봉(질소가스 충전)한 후, 110°C로 setting된 heating block에 24시간 이상 가수분해시켰다. 가수분해가

끝난 시료는 50°C에서 rotary evaporator로 산을 제거한 후 sodium dilution buffer로 10 mL가 되도록 정용한 다음, 이중 1 mL를 취하여 membrane filter (0.2 µm, HM, Seoul, Korea)를 이용하여 여과한 후, Table 1에 제시한 조건의 아미노산 자동분석기(S433-H, Sykam GmbH, Munich, Germany)로 정량분석하였다. Tryptophan은 일정량의 시료를 가수분해 시험관에 정밀히 달아 넣고, 가용성전분 100 mg을 가한 다음 4.2 N 수산화나트륨용액 3 mL를 가하였다. 동결시킨 후, 탈기장치에 장착하여 충분히 탈기하고 밀봉하여 135 ± 1°C에서 22시간 가수분해하였고, 가수분해 후 봉관을 잘라 열고 6 N 염산으로 중화하여 0.2 N 구연산나트륨완충액(pH 4.25)을 가하여 Amino Acid Analyzer L-8900 (HITACHI, Tokyo, Japan)으로 분석하였다 (Table 1).

유리아미노산

유리아미노산 분석은 시료 2 g에 95% 에탄올 20 mL를 가하여 30°C에서 130 rpm으로 1시간 동안 추출하였다. 추출이 끝난 시료는 rotary evaporator로 증류수를 제거한 후, lithium citrate buffer (0.12 N, pH 2.2) 10 mL로 일정하게 정량하였다. 정량된 용액에 후 sulfosalicylic acid 0.2 g을 첨가하여 4°C에서 1시간 방치하였다. 방치가 끝난 시료는 0.2 µm membrane filter로 여과하고, 이중 1 mL를 lithium citrate buffer (0.12 N, pH 2.2)와 혼합하여 적절한 농도로 희석한 후, 그 중 1 mL를 취하여 Table 1의 조건에 따라 아미노산 자동분석기(S430, Sykam GmbH, Munich, Germany)를 이용하여 정량분석하였다.

지방산

서양종 꿀벌 수벌번데기 동결건조 분말의 지방산 조성을 분석하기 위하여 시료 1 g을 chloroform/methanol (2:1, v/v, 10 mL)로 추출·여과하여 감압농축한 지방질 추출물 100 mg을 가

Table 1. Analytical conditions for amino acids in *Apis mellifera* drone pupae using the automated amino acid analyzer

Instrument	S430-H (SYKAM)	S433-H (SYKAM)	L-8900 (HITACHI)
Column	LCA K07/Li	LCA K06/Na	Ion exchange resin (Na type)
Column size (mm)	4.6 × 150	4.6 × 150	4.6 × 60
Column temp.	37-74 °C	57-74 °C	57-135 °C
Flow rate	Buffer 0.45 mL/min, reagent 0.25 mL/min		0.4 mL/min
Buffer pH range	2.90-7.95	3.45-10.85	-
Wavelength	440 nm and 570 nm		570 nm

Table 2. Analytical conditions for fatty acids in *Apis mellifera* drone pupae using GC*

Items	Condition
Instrument model	Shimadzu GC-17A (Shimadzu co., Japan)
Column	SP TM -2560 capillary column (100 m length x 0.25 mm i.d. x 0.25 μm film thickness)
Oven temperature	140 °C (10 min) → 4 °C/min → 240 °C (30 min)
Injection temp.	260 °C
Detector temp.	260 °C
Split ratio	1:100
Detector	Flame ionization detector (FID)
Injection volume	2 μL

*GC, gas chromatography.

지형 플라스크에 취하고, 1 N KOH ethanol 용액 3 mL를 섞어 유지방울이 없어질 때까지 교반시킨 다음, 14% BF₃ methanol 3 mL를 첨가하였다. 환류냉각기를 부착하여 5분간 80°C에서 가열하여 methylester화 하였고, 이 용액에 NaCl 포화용액 3 mL를 가한 다음, 다시 *n*-hexane 1 mL를 가하여 혼합한 후 시험관에 옮겨 정치하였고, 상층을 분취하여 무수 Na₂SO₄를 넣어 수분을 제거하고, 이중 0.5 mL를 vial에 채취한 후 gas chromatography (GC-17A, Shimadzu Co., Kyoto, Japan)로 분석하였다. GC 분석조건은 Table 2와 같다.

비타민 분석

서양종 꿀벌 수벌번데기 동결건조 분말의 비타민 조성은 식품공전 제8항 일반시험법(2.2.2. 비타민류 시험법)과 건강기능식품공전 제3항 개별성분별 시험법(3.1 비타민)에 근거하여 분석하였으며, 분석은 한국기능식품연구원(경기도 성남, korea)에서 수행하였다.

무기성분 분석

서양종 꿀벌 수벌번데기 동결건조 분말의 무기성분 11종 (Ca, K, Mg, Fe, Na, Zn, P, Se, Cu, Mn, S)에 대한 분석은 식품공전의 일반시험법과 건강기능식품공전의 시험법에 따라 전처리를 하였고, ICP-OES (PerkinElmer, Waltham, Massachusetts, USA)를 이용하여 전남대학교 공동실험실습관(여수, Korea) 및 농업기술실용화재단(전주, Korea)을 통해 정량분석

을 행하였다.

수벌번데기 추출물 제조

분쇄된 수벌번데기 시료 5 g에 증류수, 50, 70, 100% EtOH을 각각 100 mL씩 가한 후, 실온에서 3,000 rpm으로 교반하여 12시간동안 추출하였으며, 추출액은 NO. 2 여과지(ADVANTEC, Tokyo, Japan)로 여과한 여액을 회전감압농축기(JP/N-1200BWW, EYELA, Japan)를 사용하여 농축시킨 후 동결건조하여 실험에 사용하였다. 건조한 시료에 각각의 추출용액을 첨가하여 40 mg/mL의 농도로 제조한 후 0.45 μm syringe filter (NYLON, HM, Korea)로 여과하였으며, 여과한 시료를 농도별로 희석하여 항산화 활성을 평가하였다. 대조군으로 ascorbic acid를 사용하였다.

DPPH Radical-scavenging Activity (%) 측정

Blios (1958)에 준하여 DPPH에 대한 시료의 수소 공여능을 측정하였다. 즉, 일정농도의 시료 10 μL에 0.1 mM DPPH (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl) methanol용액 190 μL를 가하고, vortex mixing하여 37°C의 암조건에서 30분간 반응시킨 후, spectrophotometer를 이용하여 517 nm로 흡광도를 측정하였다.

ABTS⁺ Radical-scavenging Activity (%) 측정

7 mM ABTS [2,2'-azino-bis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulphonic acid)]와 2.45 mM potassium persulfate를 암소에서 16시간 동안 반응시켜 ABTS working solution을 준비하였다. 준비한 ABTS working solution을 증류수와 혼합하여 10분간 정치한 후 734 nm에서 흡광도가 0.80 ± 0.02가 되도록 조정하였다. 수벌번데기 추출물의 농도별 시험용액 10 μL에 ABTS working solution 190 μL를 혼합하여 실온에서 30분 동안 반응시킨 후 spectrophotometer를 이용하여 734 nm에서 흡광도를 측정하였다.

결과 및 고찰

일반성분

동결건조 수벌번데기 분말은 16~20일령기의 번데기 수벌을 분말화한 것으로 수분이 1.69%, 조단백질과 조지방이 각각 48.52%, 23.41%를 차지하고 있었으며, 탄수화물이 22%, 그 외 조회분이 4%로 구성되어 있었다(Table 3). 수벌번데기의 일반

Table 3. Analysis of general components contained in the freeze-dried powder prepared from *Apis mellifera* drone pupae (%)

	Moisture (%)	Crude protein (%)	Crude fat (%)	Crude ash (%)	Carbohydrate (%)
Drone pupa*	1.69 ± 0.07	48.52 ± 0.20	23.41 ± 0.14	4.05 ± 0.02	22.33 ± 0.33

*16th-20th instar of the pupal stage. Values represent means ± SD (n = 3)

성분 분석 결과, 단백질 함량은 동결건조 시료를 사용한 농촌진흥청의 연구결과(Choi et al., 2009)와 비슷한 수준의 농도를 보였으나, 건조되지 않은 시료를 분석한 결과에서는 단백질 함량이 약 11%로 측정된 보고도 있었다(Kim et al., 2018a). 또한, 일부 타 연구 결과에서는 단백질 농도가 70% 이상인 것으로 보고된 바도 있어서(Kim and Jung, 2013) 각각의 연구진이 분석한 시료의 종류 및 전처리 상태에 따라 서로 다른 결과가 도출된 것으로 보인다. 또한, 수벌번데기는 생산시기의 밀원과 화분 종류와 일령에 따라서 영양성분의 차이가 발생하는 것으로 알려져 있다(Ghosh et al., 2016, 2020a, 2020b). 결론적으로 수벌번데기는 기존 결과와 비슷하게 주요한 구성성분이 단백질로 약 50% 정도인 것으로 확인되었고, 단백질과 더불어 지방, 탄수화물이 균형 있게 구성되어 있어서 우수한 단백질 공급원 및 중요한 식품원료가 될 수 있을 것으로 판단된다. 그러나 지역별, 시기별, 사양관리 및 수벌번데기의 령에 따라 영양성분 차이가 있을 것으로 사료되며, 앞으로 이와 관련한 연구가 추가적으로 더 필요할 것으로 판단된다.

구성아미노산과 유리아미노산

아미노산은 생체내에서 oligopeptide 또는 polypeptide 형태로 단백질을 구성하고 있는 것과 유리형태로 존재하고 영양성분뿐 아니라 식품소재의 맛에도 기여한다. 특히 유리아미노산은 생리 활성 물질의 구성성분으로써도 중요한 역할을 하는 것으로 알려져 있다(Kato et al., 1989; Shou, 1969). 수벌번데기 동결건조분말의 구성아미노산 및 유리아미노산 함량을 분석한 결과, 구성아미노산(g/100 g)은 38.99 ± 2.63이 함유된 것으로 분석되었는데 (Table 4), 이 중 glutamic acid가 6.16 ± 0.33으로 가장 많이 함유되어 있어 감칠맛을 내는 효과가 있을 것으로 판단되며, 특히 필수아미노산으로써 valine, leucine, lysine 및 isoleucine이 전체 필수아미노산 함량 중 60% 이상 함유되어 있음을 알 수 있었다. 이들 중 leucine, isoleucine 및 valine은 BCAA (Branched-chain Amino Acids, 분지사슬아미노산)에 속하는데, 이는 주로 골격근에서 산화되어 근육의 에너지원으로 이용되는 것으로 알려져 있다(Wagenmakers, 1992; Yang, 2007). 또한 lysine은 콜라겐 합성에 관여하여 피부노화 억제에 효과가 있는 것으로 알려져 있다

Table 4. Amino acid composition of freeze-dried powder prepared from *Apis mellifera* drone pupae

	Items	Content (g/100 g)
Essential AA	Threonine	1.61 ± 0.09
	Valine	2.61 ± 0.70
	Methionine	0.76 ± 0.08
	Isoleucine	2.07 ± 0.21
	Leucine	2.39 ± 1.43
	Phenylalanine	1.56 ± 0.12
	Histidine	1.77 ± 0.18
	Tryptophan	0.47 ± 0.01
	Lysine	2.37 ± 0.90
	Total	15.61 ± 1.72
Non-essential AA	Aspartic acid	3.64 ± 0.20
	Serine	1.89 ± 0.10
	Glutamic acid	6.16 ± 0.33
	Proline	2.33 ± 0.14
	Glycine	2.32 ± 0.16
	Alanine	2.67 ± 0.12
	Cystine	0.08 ± 0.00
	Tyrosine	2.29 ± 0.22
	Arginine	1.99 ± 0.10
	Total	23.39 ± 1.05
Total AA	38.99 ± 2.63	

AA, amino acid. Values represent means ± SD (n = 3).

(Zhang et al., 2007). 한편 갈색거저리, 흰점박이꽃무지 및 장수풍뎡이 유충의 총 아미노산이 각각 47.79, 47.18 및 34.80% 정도 함유되어 있다고 보고(Baek et al., 2017)된 바 있는데, 수벌번데기는 갈색거저리와 흰점박이꽃무지에 비해 총 아미노산 함량이 낮은 것으로 조사되었다. 수벌번데기의 유리아미노산(mg/100 g)은 총 26종이 분리되었고, 함량은 전체 5129.04 ± 85.39로 분석되었다(Table 5). 이 중 proline이 1257.68 ± 32.07로 가장 높은 농도를 보였고, 그 밖에 glutamic acid 759.12 ± 11.20 > tyrosine 376.44 ± 7.97 > glycine 316.51 ± 4.35 > arginine 304.43 ± 9.19 순으로 높게 검출 되었다. 특히, proline은 장건강과 피부건강에 도움이 된다고 알려져 있다(Cho, 2005; Misiura and Miltyk, 2019). 유리

Table 5. Free amino acid content in freeze-dried powder prepared from *Apis mellifera* drone pupae

Components	Content (mg/100 g)
Phosphoserine	N.D.
Taurine	272.88 ± 4.57
Phosphoethanolamine	251.44 ± 10.20
Urea	N.D.
Aspartic acid	59.11 ± 0.95
Hydroxyproline	45.98 ± 0.76
Threonine*	92.20 ± 1.91
Serine	86.53 ± 1.72
Asparagine	177.47 ± 2.72
Glutamic acid	759.12 ± 11.20
α-Amino adipic acid	42.31 ± 4.33
Proline	1257.68 ± 32.07
Glycine	316.51 ± 4.35
Alanine	181.48 ± 2.80
Citrulline	N.D.
α-Aminobutyric acid	N.D.
Valine*	167.99 ± 4.09
Cystine	N.D.
Methionine*	18.69 ± 0.79
Isoleucine*	90.19 ± 2.16
Leucine*	167.35 ± 4.99
Tyrosine	376.44 ± 7.97
Phenylalanine*	105.25 ± 3.33
β-Alanine	94.86 ± 3.50
β-Aminoisobutyric acid	60.94 ± 9.30
γ-Amino-n-butyric acid	8.63 ± 0.30
Histidine*	107.46 ± 2.98
1-Methylhistidine	3.32 ± 0.50
3-Methylhistidine	N.D.
Carnosine	N.D.
Anserine	N.D.
Tryptophan*	66.44 ± 24.16
Hydroxylysine	N.D.
Ornithine	14.36 ± 6.65
Lysine*	N.D.
Arginine	304.43 ± 9.19
Total	5129.04 ± 85.39

*Essential amino acid. N.D., not detected. Values represent means ± SD (n = 3).

아미노산은 단백질 분해효소에 의하여 생성되고(Nowak and Piotrowska, 2012), 종류에 따라 다른 맛을 나타내는데, 단맛은

serine, alanine, threonine, proline, glycine에 의해, 신맛은 aspartic acid에 의해, 쓴맛은 leucine, isoleucine, methionine, phenylalanine, lysine, valine, histidine, arginine에 의해, 그리고 감칠맛은 glutamic acid에 의해 발견되는 것으로 알려져 있다(Kim et al., 2011; Lee et al., 2011). 일반적으로 식용 육류에서는 고기의 맛이 유리아미노산, 펩티드, 당, 유기산 및 핵산 등에 의해 영향을 받고, 풍미는 유리아미노산, 지방산, 저분자 펩티드 및 IMP (inosine monophosphate) 등의 혼합물이 가열에 의하여 형성된다(Camberso et al., 1992)고 하였다. Table 5에 제시한 바와 같이 수벌번데기는 각종 필수아미노산을 고르게 함유하고 있어 영양성 측면에 있어 우수한 식품원료로써 잠재적 가치가 높을 것으로 판단된다.

지방산

동결 건조된 수벌번데기의 지방산 조성 및 그 함량을 분석한 결과, 8종의 포화지방산(Saturated Fatty Acid, SFA)과 3종의 1가불포화지방산 및 2종의 고도불포화지방산(polyunsaturated fatty acid, PUFA)이 검출되었다(Table 6). 포화지방산은 동물성 식품에 함량이 높고 식물성에서는 코코넛유와 팜유에 다량 함유되어 있는데, 수벌번데기에서도 포화지방산이 59.62, 불포화지방산(unsaturated fatty acid, USFA)이 40.38 g/100 g total fatty acids로 USFA/SFA 비율이 0.68로 분석되었다. Kim et al. (2018a)은 건조하지 않은 수벌번데기의 지방산 함량에 있어 포화지방산이 3.14로, 불포화지방산이 2.31 g/100 g으로 분석되었는데, 이는 돼지고기(삼겹살 기준 15.47%)와 소고기(4.67%) 및 고등어(3.96%)의 포화지방산 함량보다 낮아 수벌번데기를 식품원료로 충분히 이용가능 할 것으로 보고한 바 있다. 그러나 동결건조 된 수벌번데기의 포화지방산 함량이 불포화지방산 함량에 비해 다소 높기 때문에 섭취량을 제한하거나 다른 부재료를 혼합함으로써 포화지방산과 불포화지방산의 비율을 조절할 필요가 있을 것으로 사료된다. 지방산 조성은 영양적 가치 외에도 풍미형성에 관여하며(Moon, 2012; Rule et al., 1995), 가축에서는 품종, 성별, 급여 사료의 종류 등 사양조건에 따라서 지방산 조성에 차이가 있는 것으로 보고된 바 있다(Cho et al., 2005). 수벌번데기에 함유되어 있는 포화지방산 중 lauric acid는 코코넛 오일의 주성분으로 단쇄지방산이기 때문에 흡수율이 높으며, 체내 유해세균을 제거하는 효능이 알려져 있고, myristic acid 및 palmitic acid와 함께 체내 HDL 콜레스테롤 함량을 높여주는 효과를 가지고 있는데, 수벌번데기에는 이러한 효능을 가진 palmitic acid가 다량 함유되어 있다. Arachidic acid 또한 콜레스테롤 분비에 도움을 주는 지방산으로 알려져 있어서 간 기능 개선에 효과적인 성분이다. 수벌번데기에 함유

Table 6. Components and concentration of fatty acids in freeze-dried powder prepared from *Apis mellifera* drone pupae

Items	Content (g/100 g total fatty acids)
Lauric acid (C12:0)	0.64 ± 0.06
Myristic acid (C14:0))	4.64 ± 0.23
Palmitic acid (C16:0)	35.49 ± 0.08
Stearic acid (C18:0)	14.46 ± 0.31
Arachidic acid (C20:0)	0.74 ± 0.03
Behenic acid (C22:0)	0.22 ± 0.05
Tricosanoic acid(C23:0)	2.17 ± 0.10
Lignoceric acid (C24:0)	1.26 ± 0.32
Saturated	59.62 ± 0.14
Palmitoleic acid (C16:1)	1.13 ± 0.05
Oleic acid (C18:1, n-9)	35.91 ± 0.22
cis-11-Eicosenoic acid (C20:1)	0.17 ± 0.01
Monounsaturated	37.20 ± 0.17
Linoleic acid (C18:2, n-6)*	1.14 ± 0.02
Linolenic acid (C18:3, n-3)	2.04 ± 0.05
Polyunsaturated	3.18 ± 0.03
USFA/SFA	0.68 ± 0.00
MUSF/SFA	0.62 ± 0.00
PUSF/SFA	0.05 ± 0.00

*Essential fatty acid. Values represent means ± SD (n = 3).
USFA, unsaturated fatty acid; SFA, saturated fatty acid; MUSF, monounsaturated fatty acid; PUSF, polyunsaturated fatty acid.

되어 있는 불포화지방산 중 palmitoleic acid와 oleic acid도 지방간 개선 효과 등과 같은 체내 콜레스테롤 감소에 효과가 있는 유효성분이다. Oleic acid는 풍미를 증진시키는 지방산으로 급여사료에 의하여 그 함량이 증가한다는 보고가 있다(Chu et al., 2003; Jung et al., 2007). 그리고 고도불포화지방산으로 linoleic acid는 비만개선 효과가 있으며, linolenic acid는 n-3계열 지방산으로 체내 콜레스테롤 조절 등의 기능을 하기 때문에 수벌번데기가 함유하고 있는 지방산은 주로 콜레스테롤 제거 및 간 기능 개선 효과를 비롯한 비만 개선효과를 기대할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 화장품 원료로 많이 이용되는 고급지방산인 palmitic acid와 oleic acid가 각각 35.49, 35.91 g/100 g total fatty acids 함유하고 있어 화장품 소재로도 이용할 수 있을 것으로 기대된다. 그리고 일반적으로 포화지방산과 oleic acid 함량이 높을수록 열처리에 따른 산패에 대한 저항성이 높은 것으로 알려져 있다. 이러한 지방산조성에 따른 물리적 특성을 고려하여 식용유지로의 용도개발이 이루어지는데, 수벌번데기 유

Table 7. Components and concentration of vitamins in freeze-dried powder prepared from *Apis mellifera* drone pupae

Items	Content
Vit A (µg RE/100 g)	N.D.
Vit C (mg/100 g)	14.92 ± 0.52
Vit D (µg/100 g)	N.D.
Vit E (mg α-TE/100 g)	6.06 ± 0.11
Vit K (µg/100 g)	N.D.
Vit B ₁ (mg/100 g)	1.55 ± 0.01
Vit B ₂ (mg/100 g)	2.93 ± 0.02
Vit B ₆ (mg/100 g)	N.D.
Vit B ₁₂ (µg/100 g)	N.D.
Niacin (Vit B ₃) (mg NE/100 g)	N.D.
Pantothenic acid (mg/100 g)	N.D.
Biotin (µg/100 g)	N.D.
Folic acid (µg/100 g)	N.D.

N.D., not detected. Values represent means ± SD (n = 3)
Vit, vitamin; RE, retinol equivalent; TE, tocopherol equivalent; NE, niacin equivalent.

래 지질 또한 식용유지로의 활용을 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

비타민

동결건조 수벌번데기 분말을 대상으로 비타민류 13종을 분석하였다. 그 결과(Table 7), 총 4종의 비타민류가 검출되었는데, vitamin C가 14.092 ± 0.52, vitamin B₁ (thiamin)이 1.55 ± 0.01, 그리고 vitamin B₂ (riboflavin)가 2.93 ± 0.02 mg/100 g이었고, vitamin E (tocopherol)는 6.06 ± 0.11 mg α-TE/100 g의 농도로 각각 함유되어 있음을 확인하였다. 특히 vitamin C의 경우, Choi et al. (2009)의 연구 결과에서는 동결건조 한 수벌번데기에서 검출되지 않았으나, Kim et al. (2018a)의 연구에서는 건조하지 않은 수벌번데기 시료에서 0.22 mg/100 g이 검출되었다는 보고가 있고, folic acid의 경우 Choi et al. (2009)의 보고와 달리 본 연구의 시료로부터는 검출되지 않아 추후 보다 자세한 검토가 필요할 것으로 사료된다. 이와 같은 결과는 농가현장에서 주로 생산될 가능성이 높은 16~20일령 수벌번데기를 사용하여 분석한 결과로써, 수벌유충이 섭취한 밀원과 화분에 따라 수벌번데기의 영양성분의 차이가 있을 것으로 사료되며, 또한 생육정도에 의한 차이 및 시료조제방법에 따른 차이 등이 원인으로 작용했을 것으로 추측된다.

무기성분

무기질은 인체에서 소화, 흡수 등의 여러 대사과정에 반드시 필요한 성분으로 영양권장량을 충족시킬 정도로 섭취하여야 하지만 최근의 다이어트, 탄산음료, 가공식품 및 과다한 육류섭취 등으로 한국인의 영양섭취 기준에 미치지 못하는 경향이 많은 것으로 보고되고 있다(Cheong et al., 2007; Yoo et al., 2008). 수벌번데기 동결건조 분말의 무기성분은 Table 8에 제시한 바와 같이 K과 P의 함량이 1,349.13 ± 34.57, 1,323.55 ± 43.85 mg/100 g으로 가장 높았으며, Ca과 Fe의 함량은 55.43 ± 1.51, 5.49 ± 0.19 mg/100 g이 함유된 것으로 조사되어, 식품원료로 등록되어 있는 갈색거저리, 흰점박이꽃무지 및 장수풍뎅이 유충 등의 3종 식용곤충과 비교했을 때, K과 P의 함량이 수벌번데기에서 월등히 높았고, Fe의 함량은 그들과 비슷한 수준이었으나, Ca의 함량은 흰점박이꽃무지와 장수풍뎅이유충보다 낮았다(Baek et al., 2017). 특히 K과 P은 각각 혈압을 낮추고(Ophir et al., 1983) 골격과 치아조직을 형성(Seol et al., 1990) 하는 생리활성 기능이 알려져 있어 수벌번데기가 이에 도움이 될 것으로 사료된다.

Table 8. Mineral content of freeze-dried powder prepared from *Apis mellifera* drone pupae

Items	Content (mg/100 g)
Ca	55.43 ± 1.51
K	1,349.13 ± 34.57
Mg	85.50 ± 2.96
Fe	5.49 ± 0.19
Na	50.12 ± 0.89
Zn	6.37 ± 0.27
P	1,323.55 ± 43.85
Se	0.50 ± 0.12
S	548.83 ± 2.58
Cu	1.45 ± 0.26
Mn	N.D.

N.D., not detected. Values represent means ± SD (n = 3)

수벌번데기 추출 수율

수벌번데기 동결건조분말을 증류수(DW)와 50, 70 및 100% EtOH를 용매로 하여 유효물질을 추출하였다. 각각의 용매를 이용한 추출물은 여과 후 농축을 행하였으며, 처리구별 추출후의 농축물 수율을 조사한 결과(Table 9), DW로 추출한 처리구에서 45.81 ± 7.96%로 가장 높았으며, EtOH의 함량이 높을수록 낮은 수율을 나타내었다. 이 결과로부터 수벌번데기 동결건조분말 추출물 중에는 소수성 화합물 보다 친수성 화합물의 함량이 더 높은 것으로 시사되었으며, 곤충 특성상 아미노산 등의 친수성 화합물이 추출물의 함량에 영향을 미쳤을 것으로 추측된다.

DPPH Radical scavenging Activity (%)

생체 내에서 활성산소종(reactive oxygen species, ROS) 및 radical종과 같은 산화촉진 물질과 산화억제 물질의 균형이 깨지면 활성산소종이 생성되어 산화적 스트레스가 촉진되면서 각종 질병의 유발 및 노화가 가속화 되어진다고 알려져 있다. 산화적 스트레스의 원인은 ROS의 축적에 의해 일어나고 ROS의 산화적 대사산물인 free radical이 생체세포와 반응하여 단백질분해, 지질산화, DNA손상 및 합성억제 등을 초래한다(Fang et al., 2002; Valko et al., 2007). 본 연구에서 수벌번데기의 추출 용매에 따른 수벌번데기 추출물의 free radical-scavenging 활성은 시료에 의한 DPPH의 환원력을 평가하여 비교하였다. DPPH radical-scavenging 활성은 Table 10과 같이 모든 시료에서 추출물의 농도가 증가할수록 DPPH radical-scavenging 활성이 증가하였다. 그리고 동일한 농도에서 DPPH radical-scavenging 활성은 DW와 50% EtOH 추출물이 유사하거나(50 ~ 200 µg/mL) DW 추출물이 가장 우수하였으며(400, 500 µg/mL), 추출 용매의 EtOH 비율이 증가할수록 DPPH radical-scavenging 활성이 감소하는 경향을 나타내었다. 이 결과로부터 본 실험의 시료에 있어 항산화능에 기여하는 주요 화합물은 비극성계 화합물보다 극성계 화합물이 시사되었으며, 본 시료가 곤충 추출물임을 고려하였을 때, 저분자 단백질 또는 유리형 아미노산일 가능성이 높은 것으로 추측되었다.

Table 9. Yield with different solvents used to extract *Apis mellifera* drone pupae (%)

	DW*	50 % EtOH	70 % EtOH	100 % EtOH
Drone pupae extract	45.81 ± 7.96 ^a	28.32 ± 4.11 ^b	26.07 ± 0.32 ^b	21.15 ± 0.49 ^b

*DW, distilled water. Values represent means ± SD (n = 3)

Values with different letters are significantly different at $p < 0.05$ by the Duncan's multiple range test.

Table 10. DPPH⁺ radical-scavenging activity (%) of *Apis mellifera* drone pupa extracts prepared using different solvents

Solvent	Concentration (µg/mL)				
	15	30	50	100	200
Water	15.69 ± 1.97 ^a	28.65 ± 2.00 ^b	56.48 ± 3.20 ^a	75.62 ± 2.87 ^a	76.47 ± 5.40 ^a
50% EtOH	13.64 ± 1.31 ^a	32.54 ± 2.98 ^a	57.03 ± 5.47 ^a	63.91 ± 0.62 ^b	62.92 ± 1.81 ^b
70% EtOH	5.76 ± 1.16 ^b	11.71 ± 0.66 ^c	22.90 ± 1.65 ^b	40.95 ± 0.85 ^c	45.53 ± 2.20 ^c
100% EtOH	2.75 ± 1.42 ^c	3.35 ± 1.34 ^d	5.76 ± 1.05 ^c	9.38 ± 1.37 ^d	11.38 ± 0.75 ^d
	0.5	1	1.5	3	6
Ascorbic acid	8.06 ± 1.01	15.67 ± 0.50	34.81 ± 4.49	68.06 ± 4.45	80.25 ± 0.21

^aDPPH, 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl. Values are expressed as the means ± SD (n = 3)

Values with different letters are significantly different at $p < 0.05$ by the Duncan's multiple range test.

Table 11. ABTS⁺ radical-scavenging activity (%) of *Apis mellifera* drone pupa extracts prepared using different solvents

Solvent	Concentration (µg/mL)				
	15	30	50	100	200
Water	10.05 ± 0.20 ^b	18.35 ± 0.22 ^b	29.42 ± 0.24 ^c	57.09 ± 0.32 ^b	94.23 ± 0.12 ^a
50% EtOH	23.99 ± 1.29 ^a	41.16 ± 1.36 ^a	64.05 ± 1.47 ^a	84.48 ± 5.51 ^a	94.33 ± 0.02 ^a
70% EtOH	22.90 ± 1.22 ^a	39.55 ± 1.07 ^a	61.74 ± 0.87 ^b	82.48 ± 6.18 ^a	93.96 ± 0.06 ^a
100% EtOH	1.54 ± 1.10 ^c	3.30 ± 1.20 ^c	5.65 ± 1.34 ^d	11.53 ± 1.70 ^c	23.28 ± 2.44 ^b
	0.5	1	1.5	3	6
Ascorbic acid	13.12 ± 0.90	19.97 ± 0.83	26.81 ± 0.76	47.34 ± 0.55	88.41 ± 0.15

Values are expressed as the means ± SD (n = 3)

Values with different letters are significantly different at $p < 0.05$ by the Duncan's multiple range test.

ABTS⁺ Radical scavenging Activity (%)

수벌번데기 추출물의 ABTS⁺ radical-scavenging 활성 또한 DPPH radical-scavenging 활성과 동일하게 모든 시료에서 수벌번데기 추출물의 농도가 높을수록 활성이 증가하는 경향을 나타내었으며, 추출물의 동일 농도에서 추출 용매에 따른 시료의 ABTS⁺ radical-scavenging 활성은 50% EtOH 추출 시료가 가장 우수하였고, 다음으로 70% EtOH 추출 시료가 근소하게 낮은 scavenging 효과를 나타내었으며, DW 추출물과 100% EtOH 추출물 순으로 scavenging 효과가 낮아지는 경향을 나타내었다(Table 11). 이러한 차이는 DPPH의 경우 시료에 의한 proton radical (H[•])의 공여능을 평가하는 반면, ABTS의 경우 시료에 의한 전자공여능을 평가하는 특징으로부터 기인되었다고 판단된다. 이와 같은 DPPH와 ABTS를 이용한 수벌번데기 추출물의 항산화 활성을 참고하였을 때, 1차적으로 물을 이용하여 추출한 후, 50% MeOH을 이용하여 2차 추출을 행함으로써 항산화 활성 측면에 있어 보다 효율적인 추출이 가능할 것으로 판단된다.

이상 결과와 같이, 수벌번데기는 높은 단백질 농도, 우수한 아미노산, 지방산 등의 조성으로 건강식을 비롯한 각종 식품원료로써 매우 중요하게 이용될 수 있을 것으로 판단되며, 항산화 효과 등을 이용한 건강보조식품으로의 가치도 가지고 있을 것으로 기대된다. 그러나 먼저 수벌번데기를 대량 생산하는 방법, 생산 적기를 규정하여야 할 필요가 있으며 지역별, 시기별, 사양관리 및 수벌번데기의 령에 따라 영양성분에 차이가 있을 것으로 사료되기 때문에 이에 대한 추가적인 연구가 선행되어야 할 것으로 보인다.

저자 직책 & 역할

김정은: 전남농업기술원 곤충잡업연구소 농업연구사; 주저자
 김도익: 농업연구관; 실험설계 및 자료검토
 구희연: 농업연구사; 자료검토
 김현진: 농업연구사; 실험수행 및 자료검토
 김성연: 농업연구사; 자료통계
 이유범: 농업연구사; 실험수행

김지수: 농업연구사, 실험수행
김호혁: 기술서기관, 자료검토
문제학: 전남대학교 교수, 논문검토
최용수: 농촌진흥청 국립농업과학원 농업연구사, 논문검토

모든 저자는 원고를 읽고 투고에 동의하였음.

Literature Cited

- Baek, M., Hwang, J.S., Kim, M.A., Kim, S.H., Goo, T.W., Yun, E.Y., 2017. Comparative analysis of nutritional components of edible insects registered as novel foods. *J. Life Sci.* 27, 334-338.
- Blios, M.S., 1958. Antioxidant determination by the use of a stable free radical. *Nature*. 181, 1199
- Burgett, M., 1990. Bakuti-A Nepalese culinary preparation of giant honey bee brood. *The Food Insect Newsl.* 3, 1-2.
- Cambero, M.I., Seuss, I., Honikel, K.O., 1992. Flavor compounds of beef broth as affected by cooking temperature. *J. Food Sci.* 57, 1285-1290.
- Cheong, S.H., Na, Y.J., Lee, E.H., Chang, K.J., 2007. Anthropometric measurement, dietary behaviors, health-related behaviors and nutrient intake according to lifestyles of college students. *J. Kor. Soci. of Food Sci. and Nutr.* 36, 1560-1570.
- Cho, S.H., Park, B.Y., Kim, J.H., Hwang, I.H., Kim, J.H., Lee, J.M., 2005. Fatty acid profiles and sensory properties of longissimus dorsi, triceps brachii, and semimembranosus muscles from Korean Hanwoo and Australian Angus beef. *Asian-Australian J. Anim. Sci.* 18, 1786-1793.
- Cho, Y.h., 2005. Skin, nutrition and functional foods. *Food Sci. and Ind.* 38, 8-15.
- Choi, Y.S., Lee, M.L., Lee, M.Y., Kim, H., Lee, K.G., Yeo, J.H., Woo, S.O., 2009. Management for high quality drone products. *Kor. J. Apicul.* 24, 1-7.
- Chu, G.M., Lee, H.J., Park, J.S., Cho, H.W., Ahn, B.H., 2003. Effect of garlic stalk silage on performance and carcass characteristics of Hanwoo Steers. *Korean J. Anim. Sci. Technol.* 45, 1007-1018.
- De Foliart, G.R., 1997. An overview of the role of edible insects in preserving biodiversity. *Ecol. of Food and Nutri.* 36, 109-132.
- Dietz, A., 1978. Nutrition of the adult honey bee, in: Graham J.M. (Ed.), *Nutrition of the adult honey bee*, in: Graham J.M. (Ed.), *The hive and the honey bee*, Dadant and Sons, Carthage, Illinois, pp. 125-156.
- Evans, J., 2013. Insect gastronomy. *Cereal Mag.* 3, 62-71.
- Fang, Y.Z., Yang, S., Wu, G., 2002. Free radicals, antioxidants, and nutrition. *Nutri.* 18, 872-879.
- FAO Regional Office for Asia and the Pacific, 2010. Forest insects as food: Humans bite back, Proceedings of a workshop on Asia-Pacific resources and their potential for development, 19-21 February 2008. <http://www.fao.org/3/a-i1380e.pdf> (rappublication February, 2010)
- Ghosh, S., Chuttong, B., Burgett, M., Meyer-Rochow, V.B., Jung, C., 2020a. Nutritional value of brood and adult workers of the Asia honeybee species *Apis cerana* and *Apis dorsata*. In *African edible insects as alternative source of food, oil, protein and bioactive components*; Mariod, A.A., (Ed.), Springer, Basel, pp. 265-273.
- Ghosh, S., Jung, C., Meyer-Rochow, V.B., 2016. Nutritional value and chemical composition of larvae, pupae, and adults of worker honey bee, *Apis mellifera ligustica* as a sustainable food source. *J. Asia-Pac. Entomol.* 19, 487-495.
- Ghosh, S., Sohn, H.Y., Pyo, S.J., Jensen, A.B., Meyer-Rochow, V.B., Jung, C., 2020b. Nutritional composition of *Apis mellifera* drones from Korea and Denmark as a potential sustainable alternative food source: Comparison between developmental stages. *Foods* 2-21.
- Hocking, B., Matsumura, F., 1960. Bee brood as food. *Bee World*, 41, 113-120.
- Jongema, Y., 2012. List of Edible Insect Species of the World. Wageningen: Laboratory of Entomology, Wageningen University. (available at www.ent.wur.nl/UK/Edible+insects/Worldwide+species+list/).
- Jung, I.C., Yang, S.J., Moon, Y.H., 2007. Feeding effect of citrus by-product TMR forage on the nutritional composition and palatability of Hanwoo loin. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutri.* 36, 578-583.
- Kang, S.M., Maeng, A.R., Seong, P.N., Kim, J.H., Cho, S., Kim, Y., Choi, Y.S., 2018. Effect of drone pupa meal added as replacement of sodium nitrite and vitamin C on physico-chemical quality characteristics of emulsion-type sausage. *The Kor. J. Food And Nutri.*, 31, 802-810.
- Kato, H., Rhue, M.R., Nishimura, T., 1989. Role of free amino acids and peptides in food taste. In *flavor chemistry*. *Amer. Chem. Soci.* 388, 158-174
- Kim, H.S., Jung, C.E., 2013. Nutritional characteristics of edible insects as potential food materials. *Kor. J. Apicul.* 28, 1-8.
- Kim, S.G., Woo, S.O., Bang, K.W., Jang, H.R., Han, S.M., 2018a. Chemical composition of drone pupa of *Apis mellifera* and its nutritional evaluation. *J. Apicul.* 33, 17-23.
- Kim, S.G., Woo, S.O., Jang, H.R., Choi, H.M., Moon, H.J., Han, S.M., 2018b. Safety investigation on foodborne pathogens and mycotoxins in honeybee drone pupas. *J. Food Hyg. Saf.* 33, 399-403.
- Kim, S.I., Jung, K.K., Kim, D.Y., Kim, Y.J., Choi, C.B., 2011. Effects of supplementation of rice bran and roasted soybean in the diet on physico-chemical and sensory characteristics of *M. longissimus dorsi* of Hanwoo steers. *Kor. J. Food Sci. Anim. Resour.* 31, 451-549.

- Lee, S.W., Yoon, S.R., Kim, G.R., Kyung, H.K., Jeong, Y.J., Yeo, S.H., Kwon, J.H., 2011. Effect of Nuruks and crude amylolytic enzyme on free amino acid and volatile components of brown rice vinegar prepared by static culture. *Kor. J. Food Sci. Technol.* 43, 570-576.
- Meyer-Rochow, V.B. (1976). The use of insects as human food. *Food and Nutr.* 33, 151-152.
- Misiura, M., Milytk, W., 2019. Proline-containing peptides-New insight and implications: A review. *Biofactors* 45, 857-866.
- Moon, Y.H., 2012. Comparison of quality characteristics among chilled loins obtained from Jeju black cattle, Hanwoo and imported Australian beef. *J. East Asian Soc. Dietary Life.* 22, 497-505.
- Nowak, A., Piotrowska, M., 2012. Biochemical activities of *Brochothrix thermosphacta*. *Meat. Sci.* 90, 410-413.
- Nakagaki, B.J., DeFoliart, G.R., 1991. Comparison of diets for mass-rearing acheta domesticus (Orthoptera: Gryllidae) as of food conversion efficiency with values reported for livestock. *J. Econo. Entomol.*, 84, 891-896.
- Ophir, O., Peer, G., Gilad, J., Blum, M., Aviram, A., 1983. Low blood pressure in vegetarians: the possible role of potassium. *The Amer. J. Clini. Nutri.* 37, 755-762.
- Rule, D.C., Smith, S.B., Romans, J.R., 1995. Fatty acid composition of muscle and adipose tissue of meat animal. in: *The biology of fat in meat animal : Current Advances*, Smith, S.B., Smith, D.R. (Eds.) pp. 144-165., Ame. Soci. Ani. Sci. Cham. Illinois.
- Rumpold, B., Schluter, O., 2013. Nutritional composition and safety aspects of edible insects. *Mol. Nutri. and Food Resear.* 57, 802-823.
- Seol, M.Y., Lee, J.S., Kim, E.S., 1990. A longitudinal study on calcium, phosphorus and magnesium contents of breast milk from lactating women in Seoul area. *Kor. J. Nutri.* 23, 115-123.
- Shou, H., 1969. Food component and taste. *J. Food Indu. J. ap.* 16, 83-87.
- Srivastava, S.K., Babu, N., Pandey, H., 2009. Traditional insect bioprospecting-As human food and medicine. *Indian J. Tradit. Knowl.* 8, 485-94.
- Thoenes, S., Schmidt, J., 1990. A rapid, effective method of non-destructively removing honeybee larvae from combs. *Amer. Bee J.* 130, 817.
- United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division, 2013. *World Population Prospects: The 2012 Revision, Key Findings and Advance Tables. Working paper n° ESA/P/WP. 227.*
- Valko, M., Leibfritz, D., Moncol, J., Cronin, M.T.D., Ma-zur, M., Telser, J., 2007. Free radicals and antioxidants in normal physiological functions and human disease. *The Int. J. Biochem. And Cell Biol.* 39, 44-84.
- Van Huis, A., Van, I.J., Klunder, H., Mertens, E., Halloran, A., Vantomme, P., 2013. *Edible insects: Future prospects for food and feed security. AO Forestry Paper 171.* <http://www.fao.org/docrep/018/i3253e/i3253e.pdf>.
- Wagenmakers, A.J.M., 1992. Amino acid metabolism, muscular fatigue and muscle wasting. *Int. J. Sports Med.* 13, S110-S113.
- Yang, Y.K., 2007. The effect of leucine administration on blood fatigue factor and exercise performance. *Kor. J. Sports Sci.* 16, 781-790.
- Yoo, J.S., Chin, J.H., Kim, M.J., Jang, K.J., 2008. College students' dietary behavior, health-related lifestyles and nutrient intake status by physical activity levels using international physical activity questionnaire (IPAQ) in Incheon area. *Kor. J. Nutri. And Health* 41, 818-831.
- Zhang, Y., Guo, K., LeBlanc, R.E., Loh, D., Schwartz, G.J., Yu, Y.H., 2007. Increasing dietary leucine intake reduces diet-induced obesity and improves glucose and cholesterol metabolism in mice via multimechanisms. *Diabetes* 56, 1647-1654.