



꿀벌 수벌번데기 추출물의 항산화 및 혈당강화 효과

김효영, 우순옥, 김세건, 최홍민, 문효정, 한상미*

농촌진흥청 국립농업과학원 농업생물부

Antioxidant and Antihyperglycemic Effects of Honeybee Drone Pupae (*Apis mellifera* L.) Extracts

Hyo Young Kim, Soon Ok Woo, Se Gun Kim, Hong Min Choi, Hyo Jung Moon and Sang Mi Han*

Department of Agricultural Biology, National Institute of Agricultural Science, Rural Development Administration, Wanju 55365, Republic of Korea

Abstract

The purpose of this study was to evaluate antioxidant and dipeptidyl peptidase-4 (DPP-4) inhibitory activities of drone pupae ethanol extract and various fractions. In the DPPH radical scavenging activity, the ethyl acetate fraction (IC₅₀, 559.22±5.01 µg/mL) showed greater antioxidant activity than the other samples (not detected). The IC₅₀ value in ABTS radical scavenging activity ranged from 170.18 to 338.86 µg/mL. The butanol fraction (IC₅₀, 170.18±11.13 µg/mL) was approximately two times stronger than that of the hexane fraction (IC₅₀, 338.86±6.84 µg/mL). The ORAC of the hexane fraction was 14.49 µM TE/g, which was significantly higher than those of the other samples. The DPP-4 inhibitory effect showed IC₅₀ values of 956.87~1491.65 µg/mL and ethyl acetate fraction showed the highest activity. Therefore, the results indicate that drone pupae might be a potential candidate exhibiting antioxidant and DPP-4 inhibitory activity.

Keywords

Edible insect, DPPH, ABTS, ORAC, DPP-4

서론

양봉은 벌꿀과 같은 양봉산물로 경제적 이윤을 창출하는 동시에 화분 매개를 통한 자연환경 보전과 경관유지에 중요한 역할을 한다는 점에서 양봉산업의 가치는 크다고 할 수 있다. 우리나라에서는 경종 및 타 축산업보다 소자본으로 창농이 가능하고 상대적으로 적은 노동력 투입 등의 장점이 있어 양봉농가는 지속적으로 증가하는 추세이다. 그러나 밀원 대비 봉군수가 매우 높으며 이상기후와 질병에 의한 벌꿀 생산량 감소로 양봉 농가 순소득은 감소하고 있다(한국농촌경제연구원, 2019). 특히 우리나라 양봉농가 소득의 80% 이상은 벌꿀에 의존하는 매우 단순한 소득 구조로 양봉농가의 소득안전을 위하여 무한한

시장 잠재력을 갖고 있는 양봉산물의 다양한 고부가가치 실용화 소재 개발 연구가 절실하다.

미래 식량대책으로 부상한 식용곤충은 주요 영양 섭취원으로 세계적으로 섭취가 되고 있다. 미래 단백질 소비 인원은 증가하는 데 반해, 공급원이 감소하고 있기 때문에 단백질 섭취원의 대체재로써 식용곤충이 각광받고 있다(van Huis *et al.*, 2013). 따라서 미국과 유럽을 중심으로 식용곤충 시장의 산업수준은 높아질 것이며, 2025년 경 미국과 유럽의 식용곤충 시장규모는 약 33억 달러에 이를 것으로 예상된다(한국농촌경제연구원, 2017). 세계 곤충산업의 시장규모는 증대되고 있으며 앞으로 최대 수십조 원의 수준으로 급격하게 성장할 것으로 예상되고 특히 곤충자원을 이용한 신소재 개발, 의약품개발 등 곤

충을 이용하는 산업의 규모가 지속적으로 성장하고 있다 (FAO, 2013). 국내에서도 곤충산업 육성법을 통해 곤충의 활발한 연구가 진행되고 있으며 2020년 3월 현재 식품공전에는 7종의 곤충인 누에(*Bombyx mori* L.), 메뚜기(*Oxya japonica* Thunberg), 백강잠(*Beauveria bassiana* Vuill.), 갈색거저리 유충(*Tenebrio molitor* L.), 흰점박이꽃무지 유충(*Protaetia brevitarsis* L.), 장수풍뎡이 유충(*Allomyrina dichotoma* L.), 쌍별귀뚜라미(*Gryllus bimaculatus*)가 식품원료로 등록되어 있으며, 최근 아메리카왕거저리 유충(*Zophobas atratus*) 탈지분말이 한시적 식품원료로 등재된 바 있다(MFDS, 2016).

양봉산물 중에서도 수벌은 일벌과 달리 여왕벌과 교미하는 일 외에는 생산적 가치가 낮지만 수벌번데기의 단백질 함량은 51.7%, 조지방 26.1%, 탄수화물 15.8% 그리고 글루탐산을 비롯한 18종의 아미노산, 칼륨(K)과 인(P) 등 13종의 미네랄과 비타민 C 등 풍부한 양양소를 갖고 있는 것으로 보고되었다(Kim *et al.*, 2018). 또한 국내 양봉농가에서 생산한 수벌번데기에서는 증금속과 대장균, 살모넬라 등의 유해미생물에 대해 안전한 것으로 확인되었다(Choi *et al.*, 2019). 따라서 수벌번데기(drone pupae)를 식품원료로 이용한다면 경제적 소득 및 식품 소재의 다양화 측면에서 중요한 자원이 될 수 있을 것으로 기대한다.

미토콘드리아는 생명 유지에 필수적인 에너지(ATP)를 생산하고 이러한 호흡과정에서 산화 부산물인 superoxide radical (O_2^-), hydrogen peroxide (H_2O_2), hydroxyl radical (OH^-)과 같은 활성 산소종(reactive oxygen species)이 발생한다(Fridovich, 1978). 이러한 활성 산소종은 외부로부터 침입하는 세균을 대식세포가 제거하는 등 생명 유지에 필요한 역할을 담당하고 있으나, 과도하게 생성될 경우 지질, 단백질, 핵산 등을 손상시키고 산화 스트레스(oxidative stress)를 유발하여 염증과 노화, 암, 당뇨 등과 같은 여러 질병을 야기한다(Chang *et al.*, 2015; Kang *et al.*, 2016). 이에 활성산소나 radical을 제거하여 질병을 관리하고자 하는 움직임이 활발하고 더불어 항산화제에 대한 관심이 높아지고 있다. 현재까지 개발된 항산화제의 종류로는 tocopherol, carotenoid, flavonoids, 아미노산류 등의 천연 항산화제와 tert-butylated hydroxytoluene (BHT), tert-butylated hydroxyanisole (BHA), tert-butyl hydroquinone 등의 합성 항산화제가 있다(Jang *et al.*, 2019). 하지만 합성 항산화제는 체내 흡수물질의 독성 및 발암유발 등의 부작용

을 초래하여 식품 이용에 제한되고 있다. 반면에 안전하고 항산화 작용이 뛰어난 천연 소재를 발굴하여 항산화제 원료로 이용하려는 연구가 활발히 이루어지고 있다(Aruoma, 1998). 당뇨병은 활성산소에 의한 질병들 가운데 우리나라 5대 사망원인 중 하나로 전 세계적으로 유병률이 증가할 뿐만 아니라 연령 또한 점차 낮아지고 있어 그 심각성이 대두되고 있다(Lim *et al.*, 2005). 이전 보고된 연구에서 당뇨병환자의 경우 체내 superoxide dismutase (SOD) 효소가 비정상적으로 활성화되고 항산화 물질이 감소되어 산화 스트레스에 노출되어 있음이 확인되었다(Seghrouchni *et al.*, 2002). 이는 고혈당에 의한 최종당화산물의 생성과 폴리올 경로의 활성화 등 여러 기전에 의해 나타나는 산화 스트레스 유발 작용 때문인 것으로 알려져 있고 이렇게 증가된 산화 스트레스는 췌장 베타세포의 기능장애를 일으켜 인슐린 분비 이상을 일으키기도 한다(Kim and Son, 2006). 현재까지 근원적인 치료법은 개발되어 있지 않은 실정이지만 개선을 위한 방안으로 식이요법, 운동요법, 약물요법 등이 병행되어 이루어지고 있다. 혈당강하제 중 DPP-4 inhibitor인 sitagliptin, vildagliptin 등은 소장에서 인크레틴 호르몬 활성을 증가시켜 인슐린 분비를 증가시키고 글루카곤의 분비를 억제하여 혈당을 조절한다(Lee, 2014). 현재까지 축적된 자료에 근거하면 부작용이 거의 없는 약제이나 angioedema를 포함한 과민반응이 드물게 나타나고 설폰요소제나 인슐린 치료와 병합 시에는 메트포르민 혹은 기타 약제와 병합할 때보다 저혈당 위험이 증가한다고 보고된 바 있다(Plosker, 2014). 따라서 천연물 소재를 이용한 혈당강하와 항산화 효능 연구는 활성산소종의 생성을 억제하고 당뇨 등 만성 질병을 예방할 수 있는 중요한 요소가 될 것이다.

본 연구에서는 수벌번데기의 계통적인 성분분리를 통해 항산화 및 혈당강하 효과를 확인하여 수벌번데기의 다양한 생리활성을 구명하고 기능성 식품소재로의 개발을 위한 기초자료를 제공하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 공시재료

시료는 2019년에 생산한 17~23일령의 수벌번데기를 충청남도 청양에 위치한 양봉농가로부터 구입하여 사용

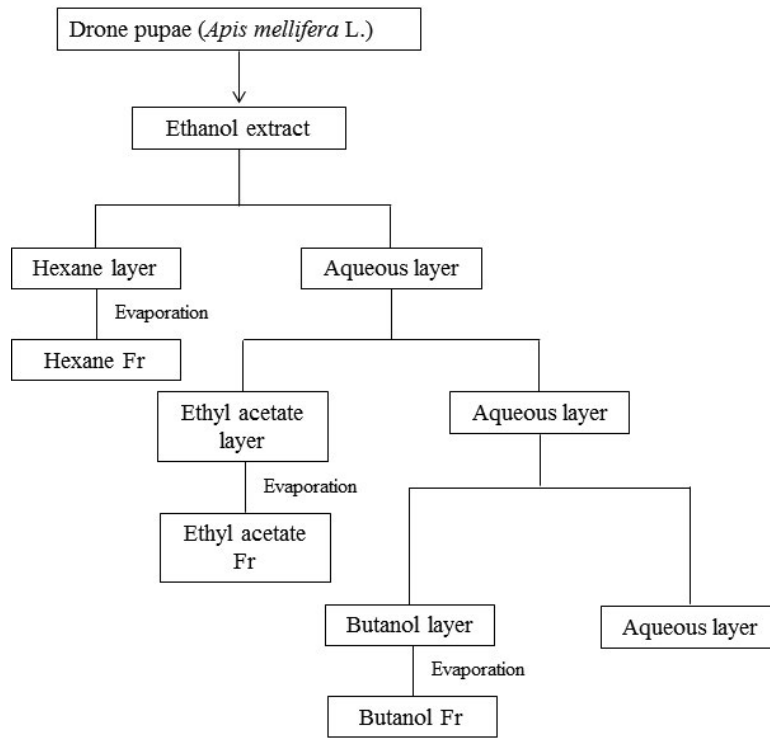


Fig. 1. Extraction and fractionation of honeybee drone pupae.

하였다. 수벌번데기는 채취 즉시 냉동보관 (-20°C) 하였고 분석시료 제조 방법은 Kim *et al.* (2019a)에 따라 제조하였다.

2. 추출용매별 추출물

동결건조 한 분말 시료(2 kg)에 70% 에탄올(20 L)을 첨가하여 3시간 동안 초음파세척기(Branson Ultrasonics, 8510, CT, USA)로 추출한 다음 여과지로 불순물을 제거하였다. 여과한 추출물을 rotary vacuum evaporator(Eyela, N-1200A, Tokyo, Japan)로 40°C 에서 감압농축하여 추출물을 얻었다. 용매 분획은 극성의 차이를 이용하여 헥산, 에틸아세테이트 및 부탄올 순서로 분획물을 얻었으며, 분리된 각각의 용매 분획물은 상기와 동일한 방법으로 감압농축하였다(Fig. 1).

3. 항산화 효과

1) DPPH radical 소거 활성

2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) radical 소거활성 측정에는 Brand-Williams *et al.* (1995)방법을 변형하여 평가

하였다. DPPH (Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA)시약을 에탄올에 녹여 2 mM DPPH 용액으로 만든 후 517 nm에서 흡광도가 1.0 ± 0.02 가 되도록 에탄올로 희석하였다. 96 well plate에 농도별 시료 40 μL 와 희석된 2 mM DPPH 용액 160 μL 를 혼합하여 6분간 상온에서 반응시킨 후 microplate reader (BioSurplus, Spectramax M2, CA, USA)를 이용하여 517 nm에서 흡광도를 측정하였다. 활성 비교를 위한 양성대조군으로 ascorbic acid (Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA)를 사용하였다.

2) ABTS⁺ radical 소거 활성

2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) (ABTS) radical 소거활성을 이용한 항산화력 측정에는 Re *et al.* (1999) 방법을 변형하여 측정하였다. 7 mM ABTS (Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA)와 140 mM potassium persulfate를 혼합하여 암실에서 16시간 이상 방치하여 radical을 형성하였고 실험 직전에 ABTS stock 용액을 734 nm에서 흡광도가 0.7 ± 0.02 가 되도록 에탄올로 희석하였다. 이 용액 190 μL 에 농도별 시료 10 μL 를 가한 후 상온에서 6분간 반응시켜 734 nm에서 흡광도를 측정하였

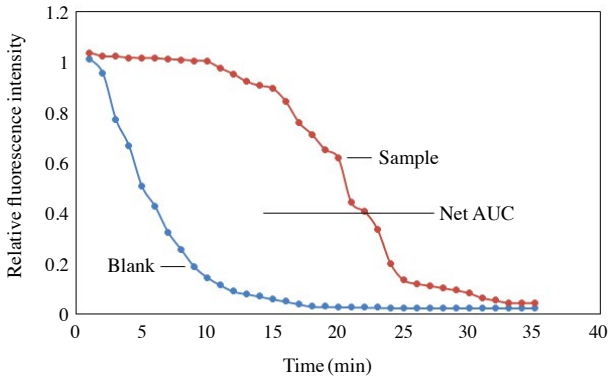


Fig. 2. Antioxidant activity of tested sample expressed as the net area under the curve (net AUC).

으며, ascorbic acid를 양성대조군으로 사용하였다.

3) ORAC 활성

Oxygen radical absorbance capacity (ORAC) 분석법은 ORAC antioxidant assay kit (Zenbio, NC, USA)를 사용하였으며, 제조사에서 권장하는 시험법에 따라 진행하였다. ORAC 측정은 microplate reader를 이용하여 485 nm에서 전자가 여기(excitation)되고 528 nm에서 방출(emission)되게 조절하여 형광의 광도를 확인하였다.

ORAC 값은 Fig. 2와 같이 시료첨가구와 대조구의 형광감소곡선 아래의 면적(area under the curve, AUC)의 차이인 순면적(net AUC)을 구하였고 검체 1 g당 μM trolox equivalent로 나타내었다($\mu\text{M TE/g}$).

4. 혈당강하 효능

1) DPP-4 저해 활성

Dipeptidyl peptidase-4 (DPP-4) 저해활성은 DPP4 inhibitor screening assay kit (Cayman chemical, Ann Arbor, MI, USA)를 이용하였으며, 제조사에서 권장하는 시험법에 따라 진행하였다. 즉, 96 well plate에 diluted assay buffer 30 μL , diluted enzyme 용액 10 μL , 농도별 시료 10 μL 와 diluted substrate 용액 50 μL 를 첨가하고 37°C에서 30분간 반응시킨 다음 excitation 350 nm, emission 450 nm에서 발광정도를 확인하였다.

5. 통계처리

모든 데이터는 3회 반복 측정 후 평균치 \pm 표준편차

Table 1. Antioxidant activities of the sample from honeybee drone pupae

Sample ¹⁾	DPPH radical scavenging activity (IC ₅₀)	ABTS ⁺ radical scavenging activity (IC ₅₀)
1 ($\mu\text{g/mL}$)	ND ³⁾	259.63 \pm 13.00 ^b
2 ($\mu\text{g/mL}$)	ND	338.86 \pm 6.84 ^a
3 ($\mu\text{g/mL}$)	559.22 \pm 5.01 ^{4,5)a}	214.22 \pm 8.69 ^c
4 ($\mu\text{g/mL}$)	ND	170.18 \pm 11.13 ^d
Ascorbic acid ($\mu\text{g/mL}$) ²⁾	10.03 \pm 0.22 ^b	4.73 \pm 0.11 ^e

¹⁾1: Ethanol extract, 2: Hexane fraction, 3: Ethyl acetate fraction, 4: Butanol fraction.

²⁾Ascorbic acid was used as a positive control.

³⁾ND: Not detected.

⁴⁾All samples were tested in a set of triplicated experiment.

⁵⁾Different letters (a-e) within the same column differ significantly by Tukey's multiple range test ($p < 0.05$).

로 나타내었으며, 대조군과 실험군 간의 통계적 유의성에 대한 검증은 Statistical analysis system (SAS enterprise guide, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA) 프로그램을 이용하여 one way ANOVA 방법으로 분산분석을 실시하였고 조사항목들 간의 유의성 검증은 Tukey's의 다중 검정법으로 $p < 0.05$ 수준에서 실시하였다.

결과 및 고찰

Fig. 1과 같이 수벌번데기 건조분말 시료 2 kg을 에탄올로 추출한 후 감압농축하여 추출물 296.9 g (14.84%)을 얻었다. 그리고 여기서 얻어진 추출물 296.9 g을 증류수로 용해시킨 후에 핵산, 에틸아세테이트 및 부탄올 순으로 분획하였다. 그 결과 핵산 분획 54 g (18.18%), 에틸아세테이트 분획 3.41 g (1.14%), 부탄올 분획 28.38 g (9.55%) 및 물 분획 201.22 g (67.77%)을 얻었다. 수벌번데기 분획 중 에틸아세테이트 분획 수율이 1.14% 가장 낮았고 물 분획이 67.77%로 가장 높은 수율을 보였다. 항산화 물질이 전자를 공여할 수 있는 능력을 평가할 때 이용되는 DPPH radical 소거능은 그 측정 방법이 비교적 간단하여 항산화 활성을 탐색할 때 유용하다. DPPH는 특유의 보라색의 안정한 free radical로 항산화 물질에 의해 환원되면서 옅은 노란색으로 변하게 된다(Lee *et al.*, 2003). 이를 이용하여 수벌번데기 에탄올 추출물 및 분획물의 DPPH radical 소거능을 측정된 결과(Table 1) 다른 시료들에 비해 에틸아

세테이트 분획에서만 $559.22 \pm 5.01 \mu\text{g/mL}$ 의 IC_{50} (DPPH)의 농도가 50% 감소되는데 필요한 시료의 농도)값을 나타내었으며, 양성대조군인 ascorbic acid와는 유의적인 차이를 나타내었다 ($p < 0.05$).

ABTS radical 소거능을 이용한 수벌번데기 에탄올 추출물 및 분획물의 항산화력 분석은 ABTS와 potassium persulfate의 반응으로 생성된 ABTS^+ free radical이 항산화물질에 의해 제거되면서 radical 특유의 색인 청록색이 무색으로 탈색되는 원리로서 DPPH radical 소거활성법과 더불어 널리 이용되는 항산화 측정법이다 (Yu *et al.*, 2008). ABTS radical을 50% 저해하는 수벌번데기 에탄올 추출물 및 분획물의 결과를 Table 1에 제시하였다. 에탄올 추출물 IC_{50} 값은 $259.63 \pm 13.00 \mu\text{g/mL}$, 헥산 분획은 $338.86 \pm 6.84 \mu\text{g/mL}$, 에틸아세테이트 분획은 $214.22 \pm 8.69 \mu\text{g/mL}$, 부탄올 분획은 $170.18 \pm 11.13 \mu\text{g/mL}$ 로 부탄올 분획의 ABTS radical 소거 활성이 가장 높음을 확인할 수 있었다 ($p < 0.05$). 이러한 결과는 DPPH의 경우 free radical을 소거하지만 ABTS는 양이온 radical을 소거하는 방법으로 두 기질과 반응물과의 작용 기전이 달라 활성의 차이를 보이는 것으로 판단된다. 한편, 식용곤충과 관련하여 국내에서 이루어진 생리활성 연구는 식용곤충 전체를 활용하기보다 단백질을 분리하여 활용한 연구가 이루어졌다 (Yu *et al.*, 2017; Kim *et al.*, 2019). Jang *et al.* (2019)에 따르면 식용곤충별 alcalase 단백질 수분해물의 DPPH radical, ABTS radical 소거활성은 각각 $34.4 \sim 460.35 \mu\text{g/mL}$, $28.15 \sim 34.54 \mu\text{g/mL}$ 의 IC_{50} 범위를 나타내어 ($p < 0.05$) 본 연구 결과와 비교하였을 때 전처리 방법이 항산화 활성에 영향을 미치는 것으로 판단된다. 한편, 효소별 쌍별귀뚜라미 단백질수분해물의 DPPH radical 소거활성은 flavourzyme 단백질수분해물이 우수하였고, ABTS radical 소거활성은 neutrase 단백질수분해물에서 활성이 높다고 보고하였다 (Cho *et al.*, 2019). 이는 효소별 저분자 펩타이드의 생산과 가수분해시 생성된 아미노산 종류에 따른 것으로 사료된다.

ORAC법은 수소전자 전달과 연관하여 2,2'-Azobis (2-methylpropionamide) dihydrochloride (AAPH)에 의해 생성된 peroxy radical과 형광 probe가 반응하여 형성된 비형광 생성물의 양이 항산화 물질에 의해 얼마나 감소하는지를 측정하는 원리로서 식품 내 존재하는 hydrophilic 성분과 hydrophobic 성분 모두에 반응하여 응용범위가 넓은 장점이 있다 (Kurihara *et al.*, 2004). Table 2에서 보는

Table 2. ORAC activity of ethanol extract and fractions from honeybee drone pupae

Sample ¹⁾	ORAC ($\mu\text{M TE}^2/\text{g}$)
1	$10.58 \pm 1.41^{3,4)b}$
2	14.49 ± 0.92^a
3	11.85 ± 2.10^{ab}
4	8.90 ± 0.94^b

¹⁾1: Ethanol extract, 2: Hexane fraction, 3: Ethyl acetate fraction, 4: Butanol fraction.

²⁾TE: Trolox equivalent.

³⁾All samples were tested in a set of triplicated experiment.

⁴⁾Different letters (a-e) within the same column differ significantly by tukey's multiple range test ($p < 0.05$).

Table 3. DPP4 inhibitory activities of samples from honeybee drone pupae

Sample ¹⁾	Inhibitory activity on DPP4 (IC_{50})
1 ($\mu\text{g/mL}$)	$1242.50 \pm 148.60^{3,4)ab}$
2 ($\mu\text{g/mL}$)	1491.65 ± 188.90^a
3 ($\mu\text{g/mL}$)	956.87 ± 117.74^b
4 ($\mu\text{g/mL}$)	1196.57 ± 171.78^{ab}
Sitagliptin (nM) ²⁾	73.41 ± 3.10^c

¹⁾1: Ethanol extract, 2: Hexane fraction, 3: Ethyl acetate fraction, 4: Butanol fraction.

²⁾Sitagliptin was used as a positive control.

³⁾All samples were tested in a set of triplicated experiment.

⁴⁾Different letters (a-e) within the same column differ significantly by tukey's multiple range test ($p < 0.05$).

바와 같이 ORAC 측정 결과 $8.90 \sim 14.49 \mu\text{M TE/g}$ 의 값을 나타내었다. 앞선 DPPH 및 ABTS radical 소거활성과 다르게 헥산 분획의 ORAC값이 $14.49 \pm 0.92 \mu\text{M TE/g}$ 으로 peroxy radical에 대한 수소원자공여능이 가장 높았고 부탄올 분획이 $8.90 \pm 0.94 \mu\text{M TE/g}$ 으로 가장 낮았다.

DPP-4는 인슐린과 글루카곤 분비를 조절하여 체내 glucose 항상성을 조절하는 인크레틴 호르몬인 glucagon-like peptide-1 (GLP-1)과 glucose-dependent insulinotropic polypeptide (GIP)를 분해하여 불활성화 시키는 작용을 한다. 따라서 DPP-4 작용을 차단하고 인크레틴 활성을 증가시키기 위해 DPP-4 억제제가 개발되었고 2006년부터 임상에서 처방되고 있다 (Ahren, 1998; Drucker and Nauck, 2006). 본 연구에서 수벌번데기 에탄올 추출물 및 용매분획물의 DPP-4 억제활성을 분석한 결과는 Table 3과 같다. DPP-4 저해활성은 에틸아세테이트 분획에서 $956.87 \pm 117.74 \mu\text{g/mL}$ 의 IC_{50} 값을 나타내어 활성이 가장 낮은 헥산 분획 ($1491.65 \pm 188.90 \mu\text{g/mL}$)에 비해 약 1.5배 더 활

성이 높았다. 에탄올 추출물과 부탄올 분획의 경우 각각 $1242.50 \pm 148.60 \mu\text{g/mL}$, $1196.57 \pm 171.78 \mu\text{g/mL}$ 의 IC_{50} 값을 보였다. 따라서 수벌번데기 에탄올 추출물 및 분획물은 DPP-4 효소를 저해하여 항당뇨 작용에 기여 할 것으로 판단되나 추후에 어떠한 성분에 의해 DPP-4 저해 기전이 일어나는지에 대한 구체적인 연구가 필요하다고 사료된다.

이러한 결과로 미루어 DPPH radical 소거능과 DPP-4 저해활성은 에틸아세테이트 분획이 높았으나 ABTS radical 소거능은 부탄올 분획, ORAC 활성은 헥산 분획에서 더 높았는데 이는 각 분획물 중에 함유되어 있는 유효성분의 구조가 서로 상이하기 때문으로 추정되며 이를 뒷받침 하기 위하여 각 분획의 유효성분 구명이 필요하다고 판단된다.

적 요

꿀벌 수벌번데기의 생리활성 효능을 구명하여 고부가 가치 식의약소재로 활용하기 위하여 수벌번데기 용매분획 추출물의 항산화와 혈당강하 활성을 측정하였다. 수벌번데기의 항산화 효능을 알아보기 위하여 DPPH radical 소거 활성 측정은 에틸아세테이트 분획에서만 $559.22 \pm 5.01 \mu\text{g/mL}$ 의 IC_{50} 값을 나타내었다. ABTS radical 소거능은 부탄올 > 에틸아세테이트 > 에탄올 > 헥산 분획 순으로 유의적인 차이를 보였다. ORAC에 의한 항산화 활성을 측정한 결과 $8.90 \sim 14.49 \mu\text{M TE/g}$ 의 범위를 나타내었고 헥산 분획의 활성이 높은 것으로 확인되었다. 혈당강하 효능은 DPP-4 저해 활성을 측정한 결과 에틸아세테이트 분획 (IC_{50} , $956.87 \pm 117.74 \mu\text{g/mL}$)이 헥산 분획 (IC_{50} , $1491.65 \pm 188.90 \mu\text{g/mL}$)보다 약 1.5배 가량 활성이 높은 것으로 나타났다. 이상의 결과들을 종합하여 볼 때 수벌번데기 에탄올 추출물 및 분획물은 용매에 따라 추출되는 유효성분이 서로 상이하어 활성에 차이를 나타내는 것으로 판단되며 추후에 각 분획물의 유효성분 구명에 관한 연구가 진행되어야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 농업기초기반연구 어젠다연구사

업(과제번호: PJ01512901)에 의하여 수행된 것으로 이에 감사드립니다.

인 용 문 헌

- 한국농촌경제연구원. 2017. 세계농업: 세계 식용곤충 시장 및 가공기술 현황(제 207호).
- 한국농촌경제연구원. 2019. 양봉산업의 위기와 시사점(제 178호).
- Ahrén, B. 1998. Glucagon-like peptide-1 (GLP-1): a gut hormone of potential interest in the treatment of diabetes. *Bioessays*. 20(8): 642-651.
- Aruoma, O. I. 1998. Free radical, oxidative stress, and antioxidants in human health and disease. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 75: 199-212.
- Brand-Williams, W., M. E. Cuvelier and C. Berset. 1995. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food Sci. Technol.* 28: 25-30.
- Chang, S. J., K. S. Han, J. H. Wang, H. S. Chae, Y. H. Choi, Y. W. Chin, H. S. Choi and H. J. Kim. 2015. Effect of *Atractylodes Rhizoma Alba*, *Houttuyniae Herba*, *Lonicerae Flos*, *Scutellariae Radix* and *Coptidis Rhizoma* extracts combined with metformin on the antioxidant and adipocyte differentiate inhibition. *J. Korean Med. Obes. Res.* 15: 24-32.
- Cho, H. R., Y. J. Lee, J. E. Hong and S. O. Lee. 2019. Enzymatic preparation and antioxidant activities of protein hydrolysates from *Gryllus bimaculatus*. *Korean J. Food Sci. Technol.* 51(5): 473-479.
- Choi, H. M., S. M. Han, H. Y. Kim, S. O. Woo, S. K. Kim, K. W. Bang and H. J. Moon. 2019. Investigation of Heavy Metals from Honeybee Drone Pupa (*Apis mellifera* L) as an Ingredient for Novel Foods. *J. Apiculture.* 34(3): 273-277.
- Drucker, D. J. and M. A. Nauck. 2006. The incretin system: glucagon-like peptide-1 receptor agonists and dipeptidyl peptidase-4 inhibitors in type 2 diabetes. *Lancet.* 368(9548): 1696-1705.
- FAO. 2013. Edible insects, Future prospects for food and feed security.
- Fridovich, I. 1978. The biology of oxygen radicals. *Science.* 201: 875-880.
- Jang, H. Y., C. E. Park and S. O. Lee. 2019. Comparison of antioxidant capacity of protein hydrolysates from 4 different edible insects. *Korean J. Food Sci. Technol.* 51(5): 480-485.
- Kang, D. H., E. M. Park, J. H. Kim, J. W. Yang, J. H. Kim and M. Y. Kim. 2016. Bioactive compounds and antioxidant activity of Jeju camellia mistletoe (*Korthalsella japonica* Engl.). *J. Life Sci.* 26: 1074-1081.
- Kim, B. H. and S. M. Son. 2006. Mechanism of developing diabetic vascular complication by oxidative stress. *J.*

- Korean Endocr. Soc. 21(6): 448-459.
- Kim, H. Y., S. O. Woo, S. G. Kim, K. W. Bang, H. M. Choi, H. J. Moon and S. M. Han. 2019a. Analysis of oxidative stability in drone pupae (*Apis mellifera* L.). J. Apiculture. 34(1): 63-66.
- Kim, S. M., C. W. An and J. A. Han. 2019b. Characterization and application of the proteins isolated from edible insects. Korean J. Food Sci. Technol. 51(6): 537-542.
- Kim, S. G., S. O. Woo, K. W. Bang, H. R. Jang and S. M. Han. 2018. Chemical composition of drone pupa of *Apis mellifera* and its nutritional evaluation. J. Apiculture. 33(1): 17-23.
- Kurihara, H., H. Fukami, S. Asami, Y. Toyoda, M. Nakai, H. Shibata and X. S. Yao. 2004. Effects of oolong tea on plasma antioxidative capacity in mice loaded with restraint stress assessed using the oxygen radical absorbance capacity (ORAC) assay. Biol. Pharm. Bull. 27(7): 1093-1098.
- Lee, D. H. 2014. Dipeptidyl peptidase-4 inhibitor. Korean J. Med. 87: 1-8.
- Lee, H. J., B. J. Lee, D. S. Lee and Y. W. Seo. 2003. DPPH radical scavenging effect and *in vitro* lipid peroxidation inhibition by *Portulaca oleracea*. Korean J. Biotechnol. Bioeng. 18(3): 165-169.
- Lim, C. S., C. Y. Li, Y. M. Kim, W. Y. Lee and H. I. Rhee. 2005. The inhibitory effect of *Cornus walteri* extract against α -amylase. J. Korean Soc. Appl. Biol. Chem. 48: 103-108.
- MFDS (Ministry of Food and Drug Safety). Korea food code. Available from: http://www.mfds.go.kr/brd/m_99/view.do?seq=43911. Accessed Feb. 19, 2016.
- Plosker, G. L. 2014. Sitagliptin: a review of its use in patients with type 2 diabetes mellitus. Drugs. 74: 223-242.
- Re, R., N. Pellegrini, A. Proteggente, A. Pannala, M. Yang and C. Rice-Evans. 1999. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. Free. Radic. Biol. Med. 26: 1231-1237.
- Seghrouchni, I., J. Draï, E. Bannier, J. Riviere, P. Calmard, I. Garcia, J. Orgiazzi and A. Revol. 2002. Oxidative stress parameters in type I, type II and insulin-treated type 2 diabetes mellitus; insulin treatment efficiency. Clin. Chim. Acta. 321: 89-96.
- van Huis, A., J. Van Itterbeeck, H. Klunder, E. Mertens, A. Halloran, G. Muir and P. Vantomme. 2013. Edible insects: future prospects for food and feed security. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.
- Yu, J. S., K. S. Woo, I. G. Hwang, Y. R. Lee, T. S. Kang and H. S. Jeong. 2008. ACE inhibitory and antioxidative activities of silkworm larvae (*Bombyx mori*) hydrolysate. J. Korean Soc. Food Sci. Nutr. 37(2): 136-140.
- Yu, M. H., H. S. Lee, H. R. Cho and S. O. Lee. 2017. Enzymatic preparation and antioxidant activities of protein hydrolysates from *Tenebrio molitor* larvae (Mealworm). J. Korean Soc. Food Sci. Nutr. 46(4): 435-441.