pISSN 1229-1153 / eISSN 2465-9223 *J. Food Hyg. Saf.*
Vol. 36, No. 1, pp. 86~92 (2021)
https://doi.org/10.13103/JFHS.2021.36.1.86

Journal of Food Hygiene and Safety
Available online at http://www.foodhygiene.or.kr

갈색거저리(*Tenebrio molitor*) 유충의 산화방지 성분 및 활성

진경남 · 정은정 · 김용석*
전북대학교 식품공학과

Antioxidant Components and Antioxidant Activities of Mealworm (*Tenebrio molitor* Larvae)

Kyoung Nam Jin, Eun-Jeong Jeong, Yong-Suk Kim*
Department of Food Science and Technology, Jeonbuk National University, Jeonju, Korea

(Received February 4, 2021/Revised February 8, 2021/Accepted February 10, 2021)

ABSTRACT - In order to utilize edible insect larvae as a functional material, the antioxidant components and activities of *Tenebrio molitor* larvae extracts were evaluated. The total phenolic content of the extract by ethanol concentration (95%, 70%, 50%, water) of *T. molitor* larvae powder was the highest in the 50% ethanol extract at 459.23 ± 1.05 mg%, and the total flavonoid content was the highest in the water extract at 19.86 ± 0.69 mg%. The DPPH radical scavenging activity of *T. molitor* larvae powder extract was the highest in 70% ethanol extract at 82.60 ± 0.00%, followed by water, 50% ethanol, and 95% ethanol extract. The ABTS radical scavenging activity in 50% ethanol and water extract was highest at 97.57 ± 0.16% and 95.33 ± 0.41%, respectively, with no significant difference. Significantly, the reducing power was the highest in water extracts, followed by 50%, 70%, and 95% ethanol extract. The results confirmed the antioxidant components and antioxidant activities of *T. molitor* larvae have been identified, indicating that it is worth using as a functional material.

Key words : *Tenebrio molitor* larvae, Antioxidant activity, Phenolic, Flavonoid, DPPH

식용곤충은 단백질과 지방이 풍부하게 함유되어 쇠고기, 돼지고기, 닭고기 등 동물성 단백질의 대체 자원으로 이용될 수 있다. 또한, 돼지, 닭 등의 단백질 급원식품의 사육효율에 비해 사육에 필요한 공간과 시설요구도가 낮으며, 사육 시 방출되는 암모니아 가스와 온실가스가 훨씬 적은 양을 방출한다. 따라서 가파른 인구 증가로 인한 식량자원이 부족한 시대에 환경오염을 줄일 수 있는 단백질 급원 식품원료이다[1].

갈색거저리(*Tenebrio molitor*)는 딱정벌레목(*Coleoptera*)에 속하며, 그 유충은 mealworm이라고도 불린다[2]. 갈색거저리 유충은 2016년 식품공전에 등록되었으며, 현재 등재된 5종의 식용곤충 중 하나이다[3]. 갈색거저리 유충에는 glutamic acid가 다량 함유되어 있고, 혈중 high density lipoprotein (HDL)의 함량을 높이고 low density lipoprotein (LDL)의 함량을 낮춰주는 oleic acid가 다량 존재하여 영양적 가치도 우수하다[4].

지금까지 갈색거저리 유충에 대한 연구는 영양성분[4-6], 항균효과[7], 항산화 효과[8,9], β-secretase 저해 효과[10], hexane fraction의 항치매 효과[11,12] 등이 보고되었다. 또한 식품소재로 이용한 연구는 갈색거저리 유충 분말을 첨가한 식빵[13], 머핀[14], 양갱[15], 선식[16], 쌀 팽화 스낵[17], 발효유[18] 등이 있다. 그러나 갈색거저리 유충의 산화방지 성분과 활성에 대한 연구는 부분적으로 이루어져 있으나 종합적인 연구는 많이 수행되지 않았다.

따라서 본 연구에서는 식용곤충인 갈색거저리 유충 추출물의 total phenolics와 total flavonoid 등 산화방지 성분의 함량을 측정하고 여러 방법에 의한 산화방지 활성을 확인하여 갈색거저리 유충을 건강기능식품 소재로 활용하기 위한 가능성을 확인하고자 하였다.

*Correspondence to: Yong-Suk Kim, Department of Food Science and Technology, Jeonbuk National University, Jeonju 54896, Korea
Tel: +82-63-270-2567, Fax: +82-63-270-2572
E-mail: kimys08@jbnu.ac.kr

Copyright © The Korean Society of Food Hygiene and Safety. All rights reserved. The Journal of Food Hygiene and Safety is an Open-Access journal 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.

Materials and Methods

재료 및 시약

2019년에 MG네츄럴(Damyang, Korea)에서 갈색거저리 유충(약 3.5-4.0 cm 크기)을 구입하여 정제수로 세척하고, -80°C에서 24시간 동안 두어 희생하였으며 -45°C에서 동결 건조 후 분쇄하여 -80°C에서 보관하면서 시료로 사용하였다. 시험에 사용한 ethanol, Folin-Denis's phenol 용액, sodium carbonate, gallic acid, aluminium nitrate, potassium acetate, quercetin, 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl, 2,6-di-*tert*-butyl-4-methylphenol, potassium persulfate, phosphate buffer, 2,2'-azino-bis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulphonic acid) diammonium salt, potassium ferricyanide, trichloroacetic acid 등은 Sigma-Aldrich Co. (St. Louis, MO, USA)로부터 구입하여 사용하였다.

갈색거저리 유충의 추출물 제조

갈색거저리 유충의 기능성 성분을 추출하기 위해 식품에서 특정한 성분을 추출하는데 사용할 수 있는 물과 ethanol[3]을 농도별(95%, 70%, 50%, 0%)로 사용하였다. 즉, 동결건조한 갈색거저리 유충 분말 5 g에 100 mL의 용매를 각각 가한 후 25°C에서 24시간 교반(150 rpm)하여 기능성 성분을 추출하였다. 추출 후 여과지(Whatman No.2, Whatman International Ltd., Maidstone, England)로 감압여과한 후 각각의 용매를 가하여 100 mL로 정용한 것을 추출물로 하여 -40°C에서 보관하면서 실험에 사용하였다.

일반성분 및 이화학적 특성

수분함량은 AOAC법[19]에 준하여 105°C 상압 가열건조법으로 측정하였고, 조단백질은 semi-Kjeldahl법, 조회분은 550°C 회화법, 조지방은 soxhlet 추출법으로 분석하였다[3].

총 phenolic compounds 함량

총 phenolic compounds는 Folin-Denis's phenol 방법으로 측정하였다[20]. 즉, 추출물 0.2 mL를 시험관에 가하고 1 M Folin-Denis's phenol 용액 0.2 mL를 시험관에 더하여 혼합하였다. 여기에 물 1.8 mL를 가하고 잘 혼합하여 3분 동안 반응시킨 다음 10% Na_2CO_3 0.4 mL를 첨가하고 증류수를 가하여 총 용량을 4 mL로 하였다. 1시간 동안 실온에 방치한 후 상층액을 취하여 UV-vis spectrophotometer (UV-1650PC, Shimadzu Co., Kyoto, Japan)를 이용하여 725 nm에서 흡광도를 측정하였으며 표준물질로는 gallic acid를 이용하였다.

총 flavonoid 함량

총 flavonoid 함량은 질산알루미늄 검사법으로 측정하였다[21]. 즉, 추출물 0.5 mL, 80% ethanol 1.5 mL, 10% aluminum nitrate 0.1 mL 및 1 M potassium acetate 0.1 mL를 시험관에 가하고 잘 혼합하였다. 증류수를 가하여 총 용량이 4 mL가 되게 하고, 실온에 30분간 방치한 후 UV-vis spectrophotometer (UV-1650PC, Shimadzu Co., Kyoto, Japan)로 415 nm에서 흡광도를 측정하였으며, 표준물질로는 quercetin을 이용하였다.

1,1-Diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) radical 소거 활성

DPPH 라디칼 소거능은 Braca 등[22]의 방법을 변형하여 측정하였다. 즉, 시험관에 추출물 1 mL와 0.15 mM DPPH 용액 3 mL를 가하고 혼합하였다. 실온 암소에서 30분 동안 방치하고 UV-vis spectrophotometer (UV-1650PC, Shimadzu Co., Kyoto, Japan)를 이용하여 517 nm에서 흡광도를 측정하였으며, 대조구로는 2,6-di-*tert*-butyl-4-methylphenol (BHT)를 사용하였다[20].

$$\text{Scavenging activity}(\%) = \left(1 - \frac{\text{Absorbance of sample}}{\text{Absorbance of control}}\right) \times 100$$

ABTS radical 소거 활성

2,2'-Azino-bis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulphonic acid) (ABTS) radical 소거 활성은 Kim 등[23]의 방법을 응용하여 측정하였다. 즉, 7.4 mM의 ABTS diammonium salt 250 mL와 2.6 mM potassium persulfate 250 mL (1:1 반응)를 혼합한 후 실온, 암소에서 24시간 반응시켰다. 그 반응물을 물에 희석하여 734 nm에서 흡광도 값 1.10(±0.2)으로 조정하여 준비한다. ABTS 용액 2.85 mL와 추출물 0.15 mL를 혼합하고 실온 암소에 30분간 반응시킨 후 UV-vis spectrophotometer (UV-1650PC, Shimadzu Co., Kyoto, Japan)를 이용하여 734 nm에서 흡광도를 측정하였으며, 대조구로는 BHT를 사용하였다.

$$\text{Scavenging activity}(\%) = \left(1 - \frac{\text{Absorbance of sample}}{\text{Absorbance of control}}\right) \times 100$$

환원력 측정

환원력 측정은 추출물 1 mL에 200 mM phosphate buffer (pH 6.6) 1 mL와 1% potassium ferricyanide 1 mL를 첨가한 후 50°C 항온수조에서 20분간 반응시켰다. 여기에 10% trichloroacetic acid 1 mL를 첨가하여 혼합한 후 원심분리기 (HA-1000-3, Hanil, Daejeon, Korea)로 13,500 × *g*에서 15분간 원심분리하였다. 상층액 1 mL와 증류수 1 mL, ferric acid 1 mL를 넣고 혼합한 후 UV-vis spectrophotometer (UV-1650PC, Shimadzu Co., Kyoto, Japan)를 이용하여 700 nm에서 흡광도를 측정하였고[24], 대조구로는 BHT를 사용하였다.

통계분석

모든 실험은 3회 반복 측정하였으며, 결과는 SAS (Statistical analysis system ver. 6, SAS Institute, Cary, NC,

USA) 통계 package[25]를 이용하여 평균 및 표준편차를 구했으며, ANOVA 분석 및 Duncan's multiple rage test로 유의성을 검정하였다.

Results and Discussion

일반성분

갈색거저리 유충의 건조 수율은 건조 전 3,050 g에서 동결건조 후 1,060 g으로 35.33%이었다(data not shown).

동결건조한 갈색거저리 유충의 일반성분(Table 1)은 수분함량 0.80 ± 0.06%, 조회분 3.29 ± 0.03%, 조단백질 54.07 ± 0.24%, 조지방 36.78 ± 0.66%로 분석되었다. Yoo 등[4]의 연구에서는 국산 갈색거저리 유충의 일반성분이 수분 2.90 ± 0.04%, 조회분 3.73 ± 0.3%, 조단백질 50.32 ± 0.21%, 조지방 33.7 ± 0.13%로 보고하였다. Baek 등[8]은 동결건조한 갈색거저리 유충의 일반성분이 수분 3.36 ± 0.031%, 조회분 3.68 ± 0.003%, 조단백질 53.38 ± 0.152%, 조지방 30.71 ± 0.051%로 보고하였다. 이들 결과는 본 연구의 결과와 약간 차이가 있었으며, 이는 유충의 생육정도와 건조조건의 차이에 의한 것으로 추정된다.

총 phenolic compounds 함량

페놀성 화합물은 식물체에 다량 분포된 2차 대사산물의 하나로 phenolic hydroxyl기(-OH)를 포함하며, 단백질 및 거대 분자와 쉽게 결합하는 성질을 갖고 있다. 페놀성 화합물은 항산화 효과 등 다양한 기능을 갖는 것으로 알려져 있으며, 함량이 증가할수록 항산화 활성 또한 증가하는 경향을 나타낸다[26,27]. 갈색거저리 유충의 ethanol 농도별 추출물을 이용하여 총 phenolic compounds 함량을 측정하였다(Fig. 1). Ethanol (50%) 추출물의 총 phenolic compounds 함량은 459.23 ± 1.05 mg%으로 추출물 중 유의적으로 가장 높게 나타났으며, 물 추출물 362.62 ± 3.62 mg%, 70% ethanol 추출물 335.75 ± 6.96 mg%, 95% ethanol 추출물 103.82 ± 0.84 mg% 순이었다.

Baek 등[28]은 갈색거저리 유충(약 3 cm 크기)을 동결건조하여 얻은 70% ethanol 추출물의 총 phenolic compounds 함량이 다른 건조 방법에 비해 가장 높은 9.23 ± 0.09 mg GAE/g이라고 보고하여 본 연구결과보다 높게 나타났으며, 이는 유충의 사육환경 및 생육정도 차이에 의한 것으로 생각된다. Jang 등[29]은 발효한 갈색거저리 물추출물의 phenolic compounds 함량은 10.97 ± 0.84 mg%로서 95% ethanol 추출물의 3.59 ± 0.36 mg%보다 높다고 보고하였으며, 이는 본 연구결과와 비슷한 경향을 나타냈다. 한편 Kim 등[30]은 70% ethanol로 추출한 동결건조한 벼메뚜기의 phenolic compounds 함량이 17.61 mg/100 g으로 보고하여 갈색거저리유충의 총 phenolic compound의 함량이 벼메뚜기에 비해 훨씬 높은 것으로 나타났다.

Table 1. Proximate composition of freeze-dried *Tenebrio molitor* larvae (unit : dry basis %)

Moisture	Crude ash	Crude protein	Crude fat
0.80 ± 0.06[1)]	3.29 ± 0.03	54.07 ± 0.24	36.78 ± 0.66

[1)]Values are mean±standard deviation (n=3).

총 flavonoids 함량

플라보노이드는 페놀성 화합물 중에서 자연적으로 많이 생성되는 화합물 중 하나이다[31]. 이들은 단백질 및 거대 분자들과 결합하는 성질이 있고 reducing agent, singlet oxygen quencher, hydrogen donor로 작용함으로써 항산화 효과를 나타낸다[32,33]. 동결건조한 갈색거저리 유충의 ethanol 농도별 추출물을 이용하여 총 flavonoid 함량을 측정한 결과는 Fig. 2와 같다. 물 추출물의 총 flavonoids 함량이 19.86 ± 0.69 mg%으로 가장 높았고, 95% ethanol 추출물 16.85 ± 0.79 mg%, 70% ethanol 추출물 8.44 ± 0.00, 50% ethanol 추출물 8.33 ± 0.15 mg% 순으로 나타났다. Jang 등[29]은 발효한 갈색거저리 물추출물의 총 flavonoid 함량이 2.13 ± 0.22 mg%, 95% 에탄올 추출물에서 3.23 ± 0.51 mg%라고 보고하여 본 연구결과보다 낮게 검출되었으며, 물추출물의 함량이 높게 나타난 본 연구결과와 다른 경향을 보였는데, 이는 시료의 차이와 발효의 적용에 따른 것으로 추정된다.

DPPH radical 소거 활성

DPPH radical 소거 활성은 안정한 free radical로서 항산

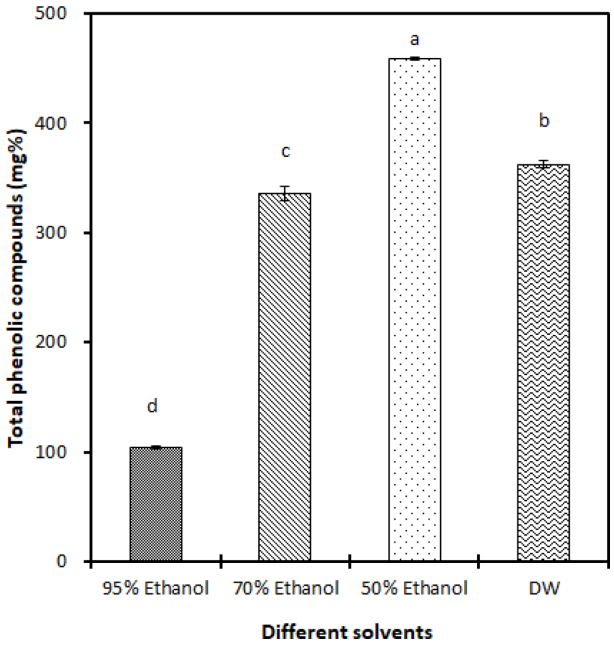

Fig. 1. Total phenolic compounds content of *Tenebrio molitor* larvae extracts by different solvents (P<0.05) (n=3). DW: Distilled water.

화 활성을 갖는 물질로부터 전자나 수소를 제공 받으면 DPPH-H로 환원되면서 보라색이 노란색으로 탈색되는 비색법을 이용한 항산화 활성 측정 방법이다[34]. 동결건조한 갈색거저리 유충 분말의 ethanol 추출물에 의한 DPPH radical 소거 활성을 측정한 결과는 Fig. 3과 같다. Ethanol (70%) 추출물의 DPPH radical 소거 활성은 82.60 ± 0.00%로써 대조구인 BHT (0.3 mg/mL) 처리구의 77.95 ± 0.78%보다 높게 나타났으며, 물 및 50% ethanol 추출물은 각각 74.15 ± 1.54%, 65.00 ± 0.17%를 나타내었다. Ethanol (95%) 추출물은 16.36 ± 3.1%를 나타내 가장 낮은 소거 활성을 나타냈다. Baek 등[8]은 10 mg/mL 농도(70% ethanol 추출물)에서 81.17%의 DPPH radical 소거 활성을 나타내어 같은 농도의 블루베리 추출물과 유사한 활성을 나타냈다고 보고하여 본 연구결과와 비슷한 활성을 나타내었다. Kim 등[30]은 벼메뚜기의 DPPH에 의한 항산화 효과를 실험한 결과 70% ethanol, 50% ethanol, 물, 100% ethanol 추출물 순으로 높은 것을 확인 하였으며 이는 본 실험결과와 유사한 경향을 나타내었다.

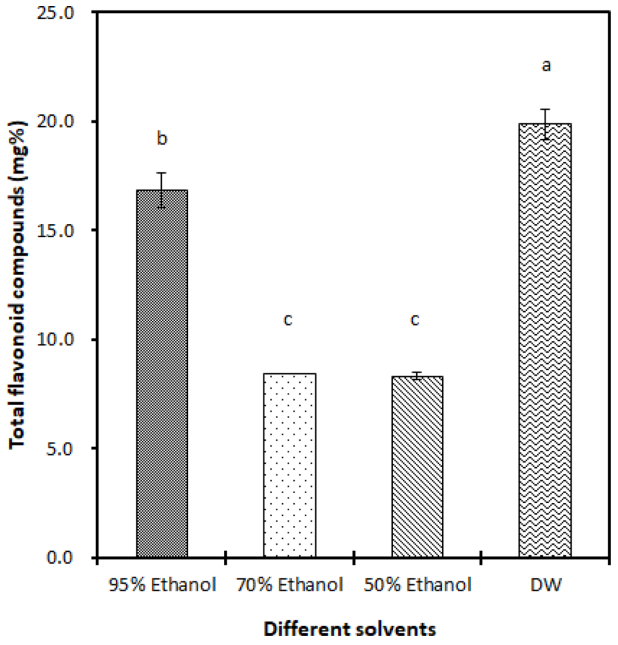

Fig. 2. Total flavonoid compounds content of *Tenebrio molitor* larvae extracts by different solvents (P<0.05) (n=3). DW: Distilled water.

ABTS radical 소거 활성

ABTS radical 소거 활성 시험은 페놀성 화합물이 없을 경우에는 $ABTS^{+}$가 비교적 안정하지만 페놀성 화합물과 같은 수소공여제와는 강열하게 반응하여 무색의 ABTS로 색이 변하는 비색법을 이용한 항산화 활성 측정 방법이다[35]. 동결건조한 갈색거저리 유충의 ethanol 농도별 추출물의 ABTS radical 소거 활성을 측정한 결과는 Fig. 4와 같다. Ethanol (50%) 추출물과 물 추출물의 ABTS radical 소거 활성은 각각 97.57 ± 0.16%와 95.33 ± 0.41%를 나타내 유의적 차이는 없었으며, 그 다음 70% ethanol 추출물이

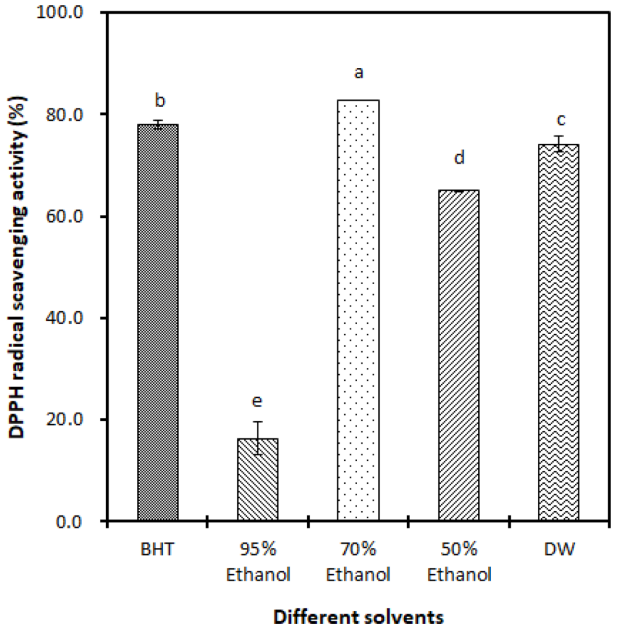

Fig. 3. The DPPH radical scavenging activity of *Tenebrio molitor* larvae extracts by different solvents (P<0.05) (n=3). BHT: 2,6-Di-*tert*-butyl-4-methylphenol (0.3 mg/mL), DW: Distilled water.

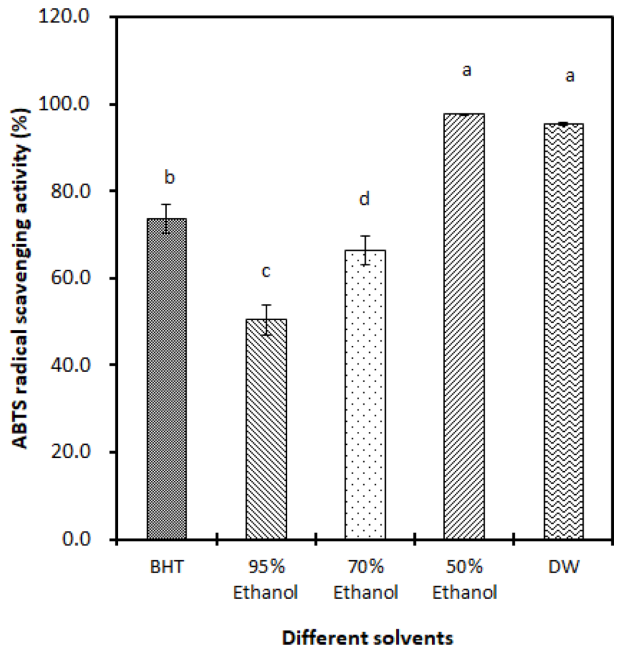

Fig. 4. The ABTS radical scavenging activity of *Tenebrio molitor* larvae extracts by different solvents (P<0.05) (n=3). BHT: 2,6-Di-*tert*-butyl-4-methylphenol (0.15 mg/mL), DW: Distilled water.

66.39 ± 3.37%, 95% ethanol 추출물이 50.41 ± 3.51%로써 ethanol 농도가 높아질수록 소거 활성이 감소하였다. 대조구인 BHT (0.15 mg/mL)는 73.64 ± 3.21%의 소거 활성을 나타냈다. 이 결과는 총 phenolic compounds의 함량 결과와 같은 비슷한 경향을 나타내었다. Baek 등[28]은 갈색거저리 유충의 ABTS radical 소거 활성이 농도 의존적으로 증가하였고, 2,000 μg/mL의 농도에서 25% 정도의 소거 활성을 나타냈으며, 동결건조한 것이 다른 건조 방법에 의한 것보다 활성이 높았다고 보고하였다.

환원력 측정

환원력 측정 실험은 700 nm에서 ferric-ferricyanide (Fe^{3+}) 혼합물이 수소를 공여하여 유리라디칼을 안정화시켜 ferrous (Fe^{2+})로 전환하는 환원력을 흡광도 값으로 나타낸 방법이다[24]. 동결건조된 갈색거저리 유충을 ethanol 농도별로 추출한 추출물의 환원력을 측정한 결과는 Fig. 5와 같다. 물 추출물의 흡광도($OD_{700\,nm}$)는 1.589 ± 0.02로 유의적으로 가장 높은 환원력을 나타내었고, 50% ethanol, 70% ethanol, 95% ethanol 추출물의 흡광도는 각각 1.529 ± 0.01, 1.020 ± 0.02, 0.248 ± 0.00으로 나타나 ethanol 농도가 높을수록 환원력이 감소하여 ABTS radical 소거 활성 시험의 결과와 비슷한 경향을 나타내었다. 물 추출물과 50% ethanol 추출물의 환원력은 대조구(BHT 0.3 mg/mL, 1.357 ± 0.02)보다 높은 활성을 보였다. Jang 등[29]은 갈색거저리의 95% ethanol 추출물의 Cu 환원력이 0.46 ± 0.03으로서 물 추출물(0.32 ± 0.02)보다 높았다고 보고하여 본 연구 결과와 다른 경향을 나타냈으나 본 연구와는 다른 측정 방법을 사용하였다. Dlamini 등[36]과 Pasko 등[37]은 총 phenolic compounds의 함량이 많을수록 환원력 등 항산화 활성이 높게 나타난다고 보고하였는데, 본 연구에서도 비슷한 경향을 나타내었다.

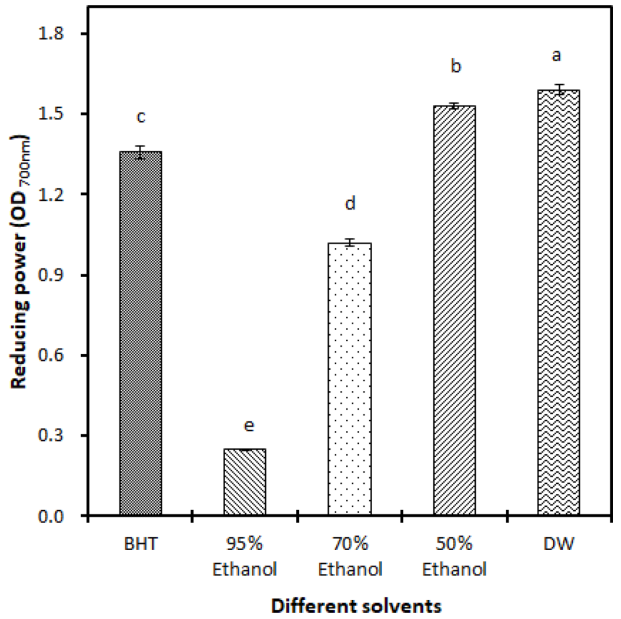

Fig. 5. The reducing power of *Tenebrio molitor* larvae extracts by different solvents (P<0.05) (n=3). BHT: 2,6-Di-*tert*-butyl-4-methylphenol(0.3 mg/mL), DW: Distilled water.

본 연구결과 갈색거저리 유충은 총 phenolic compounds와 총 flavonoids 등 산화방지 성분을 많이 함유하고 있었으며, 다양한 방법에 의해 측정한 산화방지 활성이 우수함을 확인하였다.

국문요약

식용곤충인 갈색거저리 유충을 기능성 소재로 활용하기 위하여 갈색거저리 유충 추출물의 산화방지 성분 및 활성을 확인하였다. 동결건조한 갈색거저리 유충 분말의 일반성분은 수분함량 0.80 ± 0.06%, 조회분 3.29 ± 0.03%, 조단백질 54.07 ± 0.24%, 조지방 36.78 ± 0.66%이었다. 갈색거저리 유충 분말의 ethanol 농도별(95%, 70%, 50%, 물) 추출물의 총 phenolic compounds 함량은 50% ethanol 추출물에서 459.23 ± 1.05 mg/100 g으로 가장 높았으며, 총 flavonoid compounds 함량은 물 추출물에서 19.86 ± 0.69 mg/100 g으로 가장 높았다. 갈색거저리 유충 분말 추출물의 DPPH radical 소거 활성은 70% ethanol 추출물에서 82.60 ± 0.00%로 가장 높았으며, 물, 50% ethanol, 95% ethanol 추출물 순으로 높았다. ABTS radical 소거 활성은 50% ethanol 및 물 추출물에서 각각 97.57 ± 0.16%와 95.33 ± 0.41%로 높게 나타났으며, 유의적 차이는 없었다. 환원력의 경우 물 추출물에서 유의적으로 가장 높았으며, 50% ethanol, 70% ethanol, 95% ethanol 추출물 순이었다. 본 연구결과 갈색거저리 유충의 산화방지 성분의 함량이 많고 산화방지 활성을 우수함을 확인하였으며, 기능성 소재로서 활용할 가치가 있는 것으로 나타났다.

Conflict of interests

The authors declare no potential conflict of interest.

ORCID

Kyoung Nam Jin https://orcid.org/0000-0002-7894-4111
Eun-Jeong Jeong https://orcid.org/0000-0002-9399-0271
Yong-Suk Kim https://orcid.org/0000-0003-1331-4175

References

1. Kim, S.Y., Son, Y.J., Kim, S.H., Kim, A.N., Lee, G.Y., Hwang, I.K., Studies on oxidative stability of *Tenebrio molitor* larvae during cold storage. *Korean J. Food Cook. Sci.,*

31, 62-71 (2015).
2. Yoo, S.O., Choi, Y.C., Song, H.S., 2011. Breed and utilization of mealworm (*Tenebrio molitor*). National Academy of Agricultural Science. RDA, Suwon, Korea. pp. 14-168.
3. Korea Food Industry Association, 2019. Food Code. KyungSung Munhwasa, Seoul, Korea. pp. 313-377.
4. Yoo, J.M., Hwang, J.S., Goo, T.W., Yoon, E.Y., Comparative analysis of nutritional and harmful components in Korean and Chinese mealworms (*Tenebrio molitor*). *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.,* **42**, 249-254 (2013).
5. Kang, M.S., Kim, M.J., Han, J.S., Kim, A.J., Fatty acid composition and anti-inflammatory effects of the freeze dried *Tenebrio molitor* larvae. *Korean J. Food Nutr.,* **30**, 251-256 (2017).
6. Lee, J.H., Lee, J.Y., Whang, J.B., Nam, J.S., Han, H.K., Kim, S.M., Im, J.Y., Choi, Y.M., Kim, H.R., Kim, S.N., Changes in food composition of *Tenebrio molitor* by life stage. *Korean J. Food Cook. Sci.,* **32**, 656-663 (2016).
7. Chung, S.J., Lee, Y.H., Chung, J.H., Lee, B.R., Han, D.M., Antifungal effect and activity spectrum of crude antifungal proteins from hemolymph of larvae of *Tenebrio molitor* in Korea. *Korean J. Mycol.,* **23**, 232-237 (1995).
8. Baek, M.H., Seo, M.C., Kim, M.A., Yun, E.Y., Hwang, J.S., The antioxidant activities and hair-growth promotion effects of *Tenebrio molitor* larvae extracts. *J. Life Sci.,* **27**, 1269-1275 (2017).
9. Kim, J.J., Kim, K.S., Yu, B.J., Optimization of antioxidant and skin-whitening compounds extraction condition from *Tenebrio molitor* larvae (mealworm). *Molecules*, **23**, 2340-2350 (2018).
10. Kim, J.Y., β-Secretase (BACE1) inhibitory property of *Tenebrio molitor* against Alzheimer's disease. Master's thesis, Dong-A University, Busan, Korea (2013).
11. Youn, K.J., Yun, E.Y., Lee, J.H., Kim, J.Y., Hwang, J.S., Jeong, W.S., Jun, M.R., Oleic acid and linoleic acid from *Tenebrio molitor* larvae inhibit BACE1 activity in vitro: molecular docking studies. *J. Med. Food,* **17**, 284-289 (2014).
12. Yun, E.Y., Hwang, J.S., Status and prospect for development of insect foods. *Food Sci. Ind.,* **49**, 31-39 (2016).
13. Kim, Y.M., Quality characteristics of white bread with *Tenebrio molitor* linne powder. *Korean J. Food Nutr.,* **30**, 1164-1175 (2017).
14. Hwang, S.Y., Choi, S.K., Quality characteristics of muffins containing mealworm (*Tenebrio molitor*). *Korean J. Culi. Res.,* **21**, 104-115 (2015).
15. Jeon, A.R., Chung, H.J., Quality characteristics of yanggaeng made with different concentration of mealworm powder. *J. Korean Soc. Food Cult.,* **33**, 169-175 (2018).
16. Park, K.H., Kim, G.Y., Quality and characteristics of manufacturing sunsik with edible insect (mealworm). *Culi. Sci. Hos. Res.,* **24**, 13-23 (2018).
17. Cho, S.Y., Jeong, D.H., Ryu, G.H., Effect of extrusion process variable on physicochemical properties of extruded rice snack with mealworm. *Korean J. Food Sci. Technol.,* **49**, 444-452 (2017).
18. Gim, D.W., Koo, H.Y., Kim, S.G., Park, J.K., Kim, Y.J., Huh, C.K., Kim, Y.D., Kim, H.J., Quality characteristics and antioxidative activity of fermented milk added with hot water extract of *Cordyceps militaris* grown upon *Tenebrio molitor*. *J. Korean Soc. Food Preserv.,* **24**, 1067-1078 (2017).
19. Association of Official Analytical Chemists, 1995. Official method of analysis. 16th ed. The association of official analytical chemists, Washington, DC, USA.
20. Lee, J.S., Lee, M.H., Park, C.I., Lee, H.J., Hong, H.D., Lee, B.D., Sung, I.J., Chang, K.J., Park, C.H., The content of total polyphenol, total flavonoid and the antioxidant activity in different origin and parts of *Moringa olerifera* cultivated in Cheorwon. *J. Korean Soc. Int. Agric.,* **28**, 385-389 (2016).
21. Woo, S.O., Hong, I.P., Han, S.M., Comparison of total flavonoids and phenolic contents of propolis collected in Korea. *Korean J. Agric.,* **30**, 293-298 (2015).
22. Braca, A., Fico, G., Morelli, I., Simone, F.D., Tome, F., Tommasi, N.D., Antioxidant and free radical scavenging activity of flavonol glycosides from different *Aconitum* species. *J. Ethnopharmacol.,* **86**, 63-67 (2003).
23. Kim, M.H., Jeong, E.J., Kim, Y.S., Studies on the antioxidative activities and active components of the extracts from *Pleurotus ostreatus*. *J. Food Hyg. Saf.,* **31**, 119-125 (2016).
24. Sa, Y.J., Kim, J.S., Kim, M.O., Jeong, H.J., Yu, C.Y., Park, D.S., Kim, M.J., Comparative study of electron donating ability, reducing power, antimicrobial activity and inhibition of α-glucosidase by *Sorghum bicolor* extracts. *Korean J. Food Sci. Technol.,* **42**, 598-604 (2010).
25. SAS Institute, Inc., 1990. SAS User's Guide. Statistical Analysis Systems Institute, Cary, NC, USA.
26. Halliwell, B., Aeschbach, R., Loliger, J., Aruoma, O.I., The characterization of antioxidants. *Food Chem. Toxicol.,* **33**, 601-617 (1995).
27. Kim, H.J., Jun, B.S., Kim, S.K., Cha, J.Y., Cho, Y.S., Polyphenolic compound content and antioxidative activities by extracts from seed, sprout and flower of safflower (*Carthamus tinctorius* L). *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.,* **29**, 1127-1132 (2000).
28. Baek, M.H., Kim, M.A., Kwon, Y.S., Hwang, J.S., Goo, T.W., Jun, M.R., Effects of processing methods on nutritional composition and antioxidant activity of mealworm (*Tenebrio molitor*) larvae. *Entomol. Res.,* **49**, 284-293 (2019).
29. Jang, S.H., Sim, S.Y., Ahn, H.Y., Seo, K.I., Cho, Y.U., Physicochemical properties and biological activities of *Tenebrio molitor* fermented by several kinds of microorganisms. *J. Life Sci.,* **28**, 923-930 (2018).
30. Kim, H.J., Kang, S.J., Kim, J.E., Koo, H.Y., Park, J.H., Choi, H.C., Antioxidant activity and antimicrobial activity of the grasshopper, *Oxya chinensis* Sinuosa. *J. Agric. Sci. Technol.,* **49**, 19-26 (2014).
31. Nguyen, T.K., Shin, D.B., Lee, K.R., Shin, P.G., Cheong, J.C., Yoo, Y.B., Lee, M.W., Lee, T.S., Antioxidant, anti-inflammatory and anti-acetylcholinesterase activities of

fruiting bodies of *Phellinus xeranticus*. *J. Mushroom Sci. Prod.,* **11**, 278-286 (2013).
32. Yu, M.H., Im, H.G., Lee, H.J., Ji, Y.J., Lee, I.S., Components and their antioxidative activities of methanol extracts from sarcocarp and seed of *Zizyphus jujuba* var. inermis rehder. *Korean J. Food Sci. Technol.,* **38**, 128-134 (2006).
33. Lee, S.Y., Shin, Y.J., Park, J.H., Kim, S.M., Park, C.S., An analysis of the *Gyungokgo's* ingredients and a comparison study on anti-oxidation effects according to the kinds of extract. *Korea J. Herbol.,* **23**, 123-136 (2008).
34. Chung, H.J., Jeon, I.S., Antioxidative activities of methanol extracts from different parts of *Chrysanthemum zawadskii*. *Korean J. Food Preserv.,* **18**, 739-745 (2011).
35. Kang, S.A., Han, J.A., Acetylcholinesterase inhibiting effect and free radical scavenging effect of soybean (*Glycine max*) and Yak-kong (*Rhynchosia nolubilis*). *J. East Asian Soc. Diet Life,* **14**, 64-69 (2004).
36. Dlamini, N.R., Taylor, J.R.N., Rooney, L.W., The effect of sorghum type and processing on the antioxidant properties of African sorghum-based foods. *Food Chem.,* **105**, 1412-1419 (2007).
37. Pasko, P., Barton, H., Zagrodzki, P., Gorinstein, S., Folta, M., Zachwieja, Z., Anthocyanins, total polyphenols and antioxidant activity in amaranth and quinoa seeds and sprouts during their growth. *Food Chem.,* **115**, 994-998 (2009).