

**TITLE PAGE**  
**- Food and Life-**

Upload this completed form to website with submission

ARTICLE INFORMATION	Fill in information in each box below
<b>Article Type</b>	Research article
<b>Article Title (English)</b>	Characterization of Antioxidant Activity of <i>Protaetia brevitarsis seulensis</i> Larvae
<b>Article Title (Korean)</b> English papers can be omitted	흰점박이꽃무지 유충의 항산화 활성 규명
<b>Running Title (English, within 10 words)</b>	Antioxidant Activity of <i>Protaetia brevitarsis seulensis</i> Larvae
<b>Author (English)</b>	Ju Yi Shin <sup>1</sup> , Hyeong Sang Kim <sup>1,2</sup>
<b>Affiliation (English)</b>	1 School of Animal Life Science, Hankyong National University, Anseong 17579, Korea 2 Institute of Applied Humanimal Science, Hankyong National University, Anseong 17579, Korea
<b>Author (Korean)</b> English papers can be omitted	신주이 1, 김형상 12
<b>Affiliation (Korean)</b> English papers can be omitted	1 한경국립대학교 동물생명융합학부 2 한경국립대학교 휴머니털응용과학연구소
<b>Special remarks</b> – if authors have additional information to inform the editorial office	
<b>ORCID and Position(All authors must have ORCID) (English)</b> <a href="https://orcid.org">https://orcid.org</a>	Ju Yi Shin ( <a href="https://orcid.org/0009-0008-1532-7045">https://orcid.org/0009-0008-1532-7045</a> ) Hyeong Sang Kim ( <a href="https://orcid.org/0000-0001-7054-2989">https://orcid.org/0000-0001-7054-2989</a> )
<b>Conflicts of interest (English)</b> List any present or potential conflict s of interest for all authors. (This field may be published.)	The authors declare no potential conflict of interest.
<b>Acknowledgements (English)</b> State funding sources (grants, funding sources, equipment, and supplies). Include name and number of grant if available. (This field may be published.)	
<b>Author contributions</b> (This field may be published.)	Conceptualization: Kim HS. Data curation: Shin JY. Formal analysis: Shin JY. Methodology: Shin JY, Kim HS. Software: Shin JY. Validation: Kim HS. Investigation: Shin JY. Writing - original draft: Shin JY, Kim HS. Writing - review & editing: Shin JY, Kim HS.
<b>Ethics approval (IRB/IACUC) (English)</b> (This field may be published.)	This manuscript does not require IRB/IACUC approval because there are no human and animal participants.

**CORRESPONDING AUTHOR CONTACT INFORMATION**

For the <u>corresponding</u> author (responsible for correspondence, proofreading, and reprints)	Fill in information in each box below
First name, middle initial, last name	Hyeong Sang Kim

Email address – this is where your proofs will be sent	dock-0307@hknu.ac.kr
Secondary Email address	
Postal address	327 Jungang-ro, Anseong-si, Gyeonggi-do
Cell phone number	010-3930-2215
Office phone number	031-670-5123
Fax number	031-670-5129

Accepted

# 1 Characterization of **Antioxidant Activity** of *Protaetia brevitarsis seulensis* Larvae

## 3 Abstract

4 This study investigated the effects of four different processing methods—oven-drying  
5 (POD), roasting (PRD), pan-frying (PPD), and freeze-drying (PFD)—on the total  
6 phenolic content (TPC) and antioxidant activities of *Protaetia brevitarsis seulensis* larvae  
7 (PBL). While PFD exhibited the highest TPC (5.10 g/100 g), it showed the lowest  
8 antioxidant activities in terms of DPPH radical scavenging activity, reducing power, and  
9 iron chelating ability. Conversely, thermal processing methods, particularly PRD and  
10 PPD, demonstrated significantly superior antioxidant potential despite lower TPC values.  
11 **Pearson's correlation analysis using the treatment × concentration dataset (n = 16)**  
12 **indicated** a strong negative correlation ( $r = -0.97$ ) between TPC and DPPH radical  
13 scavenging activity; **this pattern suggests that non-phenolic, heat-derived constituents**  
14 **(e.g., Maillard reaction-related products) and/or other reducing components may**  
15 **contribute to the enhanced antioxidant responses of heat-treated PBL.** Principal  
16 component analysis (PCA) clearly distinguished the physicochemical characteristics of  
17 the heat-treated groups from the freeze-dried group, confirming that thermal stress  
18 induces a positive shift in antioxidant functionality. Furthermore, the Antioxidant  
19 composite index (ACI) was calculated to comprehensively evaluate the efficacy of each  
20 method; the PRD treatment achieved the highest score of 99.43, followed by PPD (96.29),  
21 POD (92.99), and PFD (78.48). These findings indicate that roasting is the optimal  
22 processing method for maximizing the antioxidant bioactivity of PBL, offering a more  
23 effective strategy for the development of functional food ingredients than conventional  
24 freeze-drying.

25 **Keywords:** *Protaetia brevitarsis seulensis* larvae, Thermal processing, Antioxidant  
26 activity, Maillard reaction, Principal Component Analysis

## 28 서론

29 최근 세계적인 인구 증가와 축산업으로 인한 온실가스 배출 문제가 심화됨에 따라,

30 식용 곤충은 기존 육류를 대체할 수 있는 지속 가능한 단백질원이자 친환경 미래  
31 식량 자원으로 각광받고 있다(Rumpold & Schlüter, 2013). 식용 곤충은 수분 함량이  
32 높아 가공 및 저장 과정에서의 미생물 증식을 억제하고 저장 안정성을 확보하기  
33 위해 건조 및 살균 공정이 필수적으로 요구된다(Mishyna et al., 2019). 일반적인 건조  
34 방법으로는 열풍 건조(oven-drying), 동결 건조(freeze-drying), 로스팅(roasting),  
35 팬프라이(pan-frying) 등이 이용되고 있으며, 이러한 가공 공정은 곤충의 물리적  
36 특성뿐만 아니라 영양 성분 및 생리활성 물질의 화학적 변화를 초래한다.  
37 일반적으로 동결 건조는 열에 의한 영양소 파괴를 최소화하여 원물의 특성을 가장  
38 잘 보존하는 방법으로 알려져 있으나, 긴 공정 시간과 높은 비용으로 인해 산업적  
39 활용에는 한계가 존재한다(Lenaerts et al., 2018). 반면, 고온을 수반하는 열처리  
40 비타민 C 나 열에 민감한 페놀성 화합물의 변성을 초래할 가능성이 있다. 그러나  
41 최근 연구 결과들은 열처리가 식품 내 환원당과 아미노산 간의 비효소적 갈변  
42 반응인 마이야르 반응을 촉진하여, 강력한 항산화 활성을 갖는 멜라노이딘과 같은  
43 2차 대사산물을 생성한다고 보고하였다(Bolchini et al., 2025). 이는 단순히 원물의  
44 성분을 보존하는 것을 넘어, 적절한 가공 공정이 생리활성을 증진시킬 수 있음을  
45 시사한다. 귀뚜라미(*Grylloides sigillatus*)와 메뚜기(*Schistocerca gregaria*)를  
46 대상으로 한 연구에서는 삶기, 굽기, 생시료와 같이 열처리 방식에 따라 DPPH 및

47 ABTS 라디칼 소거능, 금속이온 흡착력 및 환원력이 상이하게 나타나는 것으로  
48 보고되었다(Zielińska et al., 2017). 또한 갈색거저리 유충(*Tenebrio molitor*)을  
49 대상으로 다양한 가공 방법(동결건조, 열풍건조, 오븐구이, 로스팅, 팬프라이, 튀김,  
50 삶기, 찜 및 전자레인지 처리)을 적용한 연구에서도 공정에 따라 DPPH 및 ABTS  
51 라디칼 소거능이 서로 다른 수준으로 나타나며, 이러한 경향은 총 페놀 화합물  
52 함량과 유사한 경향을 보이는 것으로 확인되었다(Baek et al., 2019). 더불어  
53 흰점박이꽃무지 유충(*Protaetia brevitarsis seoulensis*)을 대상으로 한 연구에서도  
54 데치기, 탈지 및 저장 온도와 같은 전처리 조건에 따라 총 페놀 화합물 함량 및 DPPH  
55 라디칼 소거능이 유의적으로 변화하는 것으로 보고되어, 가공 조건이 항산화  
56 활성에 영향을 미치는 주요 요인이 확인되었다(Kim et al., 2022).

57 흰점박이꽃무지 유충은 동아시아 지역에서 전통적으로 혈행 개선 및 간 기능 보호  
58 효능이 보고된 약용 소재로 이용되어 왔으며, 최근 식품 원료로 정식 등록됨에 따라  
59 산업적 활용 범위가 확대되고 있다(Chon et al., 2012; Kwon et al., 2023, Choi et al.,  
60 2025). 특히 단백질과 불포화지방산이 많을 뿐만 아니라 폴리페놀, 플라보노이드  
61 등 유용 생리활성 물질을 함유하고 있어, 천연 항산화 기능성 소재로서의 잠재력이  
62 높은 것으로 평가받고 있다(Yoon et al., 2020; Kim et al., 2022). 이들 성분은 총  
63 페놀성 화합물 함량 및 DPPH 라디칼 소거능과 같은 항산화 활성과 밀접한 관련이

64 있는 것으로 보고되었으며, 이러한 항산화 특성은 체내 산화적 스트레스 억제와  
65 같은 생리적 기능과 직결되어 차세대 기능성 식품 소재로서의 광범위한 활용  
66 가능성이 제시되고 있다(Choi et al., 2021). 또한, 흰점박이꽃무지 유충은 국내 식용  
67 곤충 산업 내에서 비교적 널리 사육되는 대표적인 종 중 하나로(MAFRA, 2025),  
68 대량 생산이 이루어지고 있어 실제 제품 개발 시 원료 수급 측면에서 활용 가능성이  
69 높은 것으로 판단된다. 그러나 현재까지 진행된 연구는 주로 영양 성분 분석이나  
70 단순 효능 평가에 국한되어 있으며, 가공 공정 변수에 따른 항산화 활성의 변화  
71 양상 및 그 작용 기작을 체계적으로 비교 분석한 연구는 부족한 실정이다. 특히  
72 다양한 열처리 조건이 유충 내 페놀성 화합물을 비롯한 생리활성 물질의 변동에  
73 미치는 영향과, 이로 인한 DPPH 라디칼 소거능 및 환원력 등의 항산화 기작 변화를  
74 규명한 기초 자료가 미흡한 상황이다. 이에 따라 실제 식품 가공 공정에서 항산화  
75 가능성을 극대화할 수 있는 최적의 전처리 조건을 제시할 필요가 있다.

76 따라서 본 연구에서는 흰점박이꽃무지 유충을 대상으로 열풍 건조(OD),  
77 로스팅(RD), 팬프라이닝(PD), 동결 건조(FD)의 4 가지 전처리 방법을 적용하여, 가공  
78 공정이 유충의 총 페놀 화합물 함량과 항산화 활성(DPPH 라디칼 소거능, 철이온  
79 흡착력, 환원력)에 미치는 영향을 규명하고자 하였다. 또한, 각 항산화 지표 간의  
80 상관관계 분석을 통해 흰점박이꽃무지 유충의 항산화 효능을 극대화할 수 있는

81 최적의 가공 조건을 제시함으로써, 향후 고부가가치 기능성 식품 소재로서의 활용  
82 가능성을 제시하고자 하였다.

83

## 84 재료 및 방법

### 85 흰점박이꽃무지 유충 분말 제조

86 실험 재료로 사용된 흰점박이꽃무지 유충은 버그드림(Daejeon, Republic of

87 Korea)에서 구입하였으며, 부화 후 약 90 일이 경과하여 체내 영양 축적이

88 극대화되고 몸 색이 노란색으로 변한 약 2.5~3.0 g 의 3령 말기 개체를 선별하여

89 사용하였다. 시료는 3일간 절식시킨 후, 100°C의 끓는 물에서 유충이 수면으로

90 떠오르는 시점까지 짧게 데침(Blanching) 처리하여 실험 재료로 사용하였다.

91 건조는 열풍 건조(oven drying, OD), 동결 건조(freeze drying, FD), 로스팅(roasting,

92 RD), 팬프라이닝(pan frying, PD) 4 가지 조건으로 수행하였다. OD 는 60°C

93 건조기(LO-FS100, LKLAB KOREA, Korea)에서 24 h 처리하였다. RD 는

94 에어프라이어(SY-921, DONO, Republic of Korea) 180°C에서 10 min 가열한 후,

95 60°C에서 24 h 추가 건조하였다. PD 는 180°C 팬에서 3 min 볶은 다음 60°C에서 24

96 h 건조하였다. FD 는 -45°C 동결건조기(KN-HFD1, Zhengzhou Known Imp,

97 China)에서 7 d 건조하였다. 처리 후 시료는 분쇄기(DA-10000G, DAESUNG

98 ARTLON, Republic of Korea)로 분쇄하고 -30°C에서 보관하였다. 각 전처리 시료는  
99 열풍 건조(POD), 로스팅(PRD), 팬프라이(PPD), 동결 건조(PFD) 처리구로  
100 구분하여 표기하였다.

101

## 102 수용성 추출물 제조

103 전처리 분말을 증류수로 0.1, 0.25, 0.5, 1% (w/v) 농도로 조제한 뒤 4°C에서 24 h  
104 추출하였다. 추출액은 원심분리기(Cef-D50.6, DAIHAN-Scientific, Republic of  
105 Korea)로 3,000 rpm, 10 min 원심분리하여 상등액을 회수하였고, 이를 분석에  
106 사용하였다.

107

## 108 총 페놀성 화합물

109 총 페놀성 화합물 함량(Total phenolic compounds content, TPC)은 Folin-  
110 Ciocalteu 법(Lin & Tang, 2007)으로 정량하였다. 시료 0.1 mL 에 증류수 2.8 mL 와  
111 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 2.0 mL 를 혼합한 뒤, 50% Folin-Ciocalteu 시약 0.1 mL 를 가하였다.  
112 실온에서 30 min 반응 후 750 nm 에서 흡광도를 측정했으며, gallic acid(r<sup>2</sup>=0.99)  
113 표준곡선으로 환산하였다.

114

## 115 DPPH 라디칼 소거능

116 DPPH 라디칼 소거능(DPPH radical scavenging activity)은 Huang 등(2006)의  
117 절차를 기반으로 평가하였다. 시료 2.0 mL 에 0.2 mM 의 DPPH 용액(0.5 mL)을  
118 첨가한 뒤, 암조건에서 실온 30 min 반응시키고 517 nm 에서 흡광도를  
119 측정하였다. 양성대조는 ascorbic acid(AA)로 설정하였다.

$$120 \quad \text{DPPH scavenging (\%)} = [1 - (\text{Abs\_sample} / \text{Abs\_control})] \times 100$$

121

## 122 철(II) 이온 흡착력

123 철이온 흡착력(iron chelating ability)은 Le 등(2007)의 방법으로 분석하였다.  
124 시료 0.5 mL 에 0.6 mM FeCl<sub>2</sub> 용액(0.1 mL)과 메탄올(0.9 mL)을 혼합해 5 min  
125 반응시킨 다음, ferrozine(0.5 mM, 0.1 mL)을 더해 암조건에서 30 min 추가  
126 반응시켰다. 562 nm 에서 흡광도를 측정하였고, ethylenediaminetetraacetic  
127 acid(EDTA)를 대조구로 사용하였다. 시료의 고유 색 또는 탁도에 의한 흡광도  
128 간섭을 보정하기 위해, ferrozine 을 첨가하지 않은 sample blank(시료 + FeCl<sub>2</sub> +  
129 용매)를 별도로 측정하였고, 분석 흡광도에서 blank 값을 차감한 후 철이온  
130 흡착력(%)을 계산하였다:

$$131 \quad \text{Iron chelation (\%)} = [1 - (\text{Abs\_sample} / \text{Abs\_control})] \times 100$$

132

## 133 환원력

134 환원력(Reducing power)은 Huang 등(2006)의 방법을 응용하였다. 시료 1 mL 에  
135 sodium phosphate buffer(200 mM, pH 6.6, 1 mL)와 potassium ferricyanide 용액(10  
136 mg/mL, 1 mL)을 혼합하여 50°C 배양기(C-INA3, Changshin, Republic of Korea)에서  
137 20 min 반응시켰다. 이후 trichloroacetic acid(100 mg/mL, 1 mL)를 넣어 반응을  
138 정지시키고, 상등액 2 mL 를 취한 뒤 ferric chloride(1 mg/mL, 0.4 mL)와 증류수(2  
139 mL)를 순서대로 가하여 700 nm 에서 흡광도를 측정하였다. 열처리 시료의 색  
140 간섭을 최소화하기 위해 ferric chloride 를 첨가하지 않은 sample blank 를 별도로  
141 측정하였으며, 최종 흡광도 계산 시 blank 값을 차감하여 환원력 값을 산출하였다.  
142 양성대조는 ascorbic acid(AA)로 하였다.

#### 144 다변량 통계 분석 및 항산화 종합 지수 산출

145 본 연구에서 획득한 항산화 실험 데이터 간의 유기적인 관계를 규명하고,  
146 전처리 방법에 따른 종합적인 효능을 평가하기 위해 상관관계 분석(Correlation  
147 analysis), 주성분 분석(Principal Component Analysis, PCA), 그리고 항산화 종합  
148 지수(Antioxidant Composite Index, ACI) 산출을 수행하였다.

149 첫째, 각 실험 지표(총 페놀성 화합물 함량, DPPH 라디칼 소거능, 철이온  
150 흡착력, 환원력) 간의 상호 연관성을 파악하기 위해 Pearson 의 상관계수(Pearson's

151 correlation coefficient, r)를 산출하였다. 상관분석은 처리구(4 수준)×농도(0.1, 0.25,  
152 0.5, 1%; 4 수준)의 조합으로 구성된 총 16개 데이터(n=16)를 사용하여  
153 수행하였다. 다만 본 분석은 농도 의존적 변화의 영향을 함께 반영할 수 있으므로,  
154 상관관계 결과는 기작을 단정하기 위한 근거가 아니라 전처리 조건과 농도  
155 변화에 따른 지표 간 연관 경향을 탐색적으로 제시하는 수준에서 해석하였다.

156 도출된 상관계수는 -1에서 1 사이의 값을 가지며, 각 변수 간의 선형적 관계  
157 강도와 방향성을 시각적으로 나타내기 위해 상관 행렬 히트맵(Correlation matrix  
158 heatmap)으로 도식화하였다.

159 둘째, 전처리 방법에 따른 항산화 특성의 다변량 패턴을 시각화하고 처리구  
160 간의 유사성을 그룹화하기 위해 주성분 분석(PCA)을 실시하였다. 각 실험  
161 데이터는 단위와 범위가 다르므로 통계적 오류를 최소화하기 위해  
162 표준화(Standardization, Z-score normalization) 과정을 거친 후 분석에 사용하였다.

163 분석 결과는 제 1 주성분(PC1)과 제 2 주성분(PC2)을 축으로 하는 Biplot 으로  
164 나타내어, 각 처리구(Score)와 실험 변수>Loading) 간의 관계를 2차원 평면상에  
165 동시에 투영하여 해석하였다.

166 셋째, 서로 다른 척도를 가진 항산화 실험 결과들을 통합하여 각 전처리 방법의  
167 효능을 정량적으로 비교하기 위해 항산화 종합 지수(ACI)를 산출하였다. ACI

168 산출을 위해 각 실험 항목(DPPH 라디칼 소거능, 철이온 흡착력, 환원력)의 1%  
169 농도 데이터를 해당 실험의 최대값을 기준으로 백분율(%)로 환산하여  
170 정규화하였다. 이후 정규화된 각 지표의 점수를 산술 평균하여 최종 ACI 점수를  
171 도출하였으며, 이를 통해 단일 지표 평가의 한계를 보완하고 종합적인 항산화  
172 활성을 평가하였다. ACI는 서로 다른 단위의 항산화 활성 지표를 통합하여  
173 전처리 방법 간 종합적인 경향을 비교하기 위한 보조 지표로 설정하였다. 본 연구  
174 범위에서는 각 지표의 상대적 중요도를 객관적으로 규정할 수 있는 사전 근거가  
175 제한적이므로, 임의의 차등 가중치 적용에 따른 편향을 피하기 위해 동일  
176 가중치(산술평균)를 적용하였다. 또한 ACI는 이원배치 분산분석 및 개별 항산화  
177 지표 결과에 대한 해석을 보완하기 위한 탐색적 지표로 활용하였다. 총 페놀성  
178 화합물(TPC)은 항산화 활성 지표라기보다 phenolic equivalents 기반의  
179 성분(환원성 물질) 지표로서 분석법 특성상 비페놀성 환원성 물질의 영향을 받을  
180 수 있다. 이에 본 연구에서는 ACI는 기능적 항산화 활성 지표(DPPH 라디칼  
181 소거능, 철이온 흡착력, 환원력)를 중심으로 통합하고, TPC는 활성 지표와의  
182 관계를 해석하기 위한 설명 변수로 분리하여 상관분석 및 PCA 해석에  
183 활용하였다. ACI 계산식은 다음과 같다.

184 
$$ACI=(DPPH (\%)+Iron\ Chelating\ ability (\%)+Reducing\ power (OD))/3$$

185 여기서 각 항목의 정규화 값은 (Measured Value / Maximum Value) × 100 으로  
186 계산하였다. PCA 와 ACI 는 처리구 간 다중 지표 패턴을 보조적으로 요약하기  
187 위한 탐색적 분석이며, 본 연구의 주요 결론은 이원배치 분산분석 및 개별 지표  
188 결과에 기반하여 도출하였다.

189

## 190 통계처리

191 모든 분석은 3 회 반복하였다. 유의성 검정은 SPSS 소프트웨어(IBM SPSS  
192 Statistics, ver. 20; IBM Corp., New York, USA)를 이용하였다. 전처리 방법과  
193 농도를 요인으로 한 이원배치 분산분석(two-way ANOVA)을 수행하고,  
194 사후검정은 Duncan 다중범위검정으로  $p < 0.05$  에서 처리구 간 차이를 판정하였다.

195

## 196 결과 및 고찰

### 197 총 페놀성 화합물

198 페놀성 화합물(Phenolic compounds)은 항산화 활성과 밀접한 관련이 있는  
199 것으로 알려져 있으며(Tungmunnithum et al., 2018), 곤충에서도 표피 및 지질 관련  
200 대사로부터 유래한 페놀/폴리페놀 성분이 보고되어 항산화 기능과의 연관성이  
201 제시된 바 있다(Choi et al., 2019). 본 연구에서 전처리별 TPC 는 Table 1 에  
202 제시하였으며, PFD 처리구에서 5.10 g/100 g 으로 가장 높았고, 팬프라인

203 처리구에서 3.07 g/100 g 으로 가장 낮았다( $p < 0.05$ ). 이러한 차이는 건조 온도와  
204 가열 방식이 페놀성 성분의 안정성에 영향을 준 결과로 해석된다. 고온 처리 시  
205 폴리페놀의 분해 또는 다른 성분과의 결합이 발생해 측정치가 감소할 수 있다는  
206 보고가 있으며(Kang et al., 2003), 구조 변형에 따른 반응성 변화가 동반될 수  
207 있다(Martín-Cabrejas et al., 2009). 반대로 동결 건조는 저온에서 수분을  
208 제거하므로 열 민감 성분의 손실을 상대적으로 줄일 수 있고, 동태등에  
209 대상으로 한 연구에서도 PFD 처리구에서 TPC 가 가장 높게 나타난 바 있다(Hyun  
210 et al., 2023). 다만 본 연구에서는 TPC 가 높다고 해서 모든 항산화 지표가  
211 동일하게 증가하지 않았는데, 이는 펩타이드 등 비페놀성 항산화 성분의 기여  
212 가능성을 시사한다.

213 종합하면, 흰점박이꽃무지 유충에서 페놀성 화합물 보존 측면에서는 동결  
214 건조가 유리한 공정으로 확인되었다. 그러나 항산화 기능은 단일 성분(예:  
215 TPC)만으로 설명되기 어려우므로, 추가 지표와 성분 변화(가열 생성물, 단백질  
216 유래 성분 등)를 함께 고려한 공정 최적화가 필요하다.

217

## 218 **DPPH 라디칼 소거능**

219 본 연구에서는 전처리 및 농도 증가에 따라 DPPH 라디칼 소거능이 증가하는

220 경향을 보였으며(Table 2), 특히 PRD 와 PPD 처리구는 0.25% 이상에서 50%를  
221 상회하는 높은 활성을 나타낸 반면, PFD 는 전 농도에서 상대적으로  
222 낮았다( $p<0.05$ ). 또한, DPPH 라디칼을 50% 저해하는 데 필요한 농도(IC<sub>50</sub>)는 값이  
223 낮을수록 높은 항산화 활성을 의미하는데, PRD 및 PPD 처리구는 낮은 IC<sub>50</sub> 값을  
224 나타낸 반면 PFD 처리구는 가장 높은 값을 보여 열처리 공정에 따른 항산화 활성  
225 차이를 나타냈다(Table 3).

226 이는 180°C 수준의 가열(로스팅/팬프라이)이 열 민감 성분의 변화와 함께  
227 항산화 활성에 기여하는 신규 생성물의 형성을 촉진했을 가능성을 시사한다.  
228 일반적으로 열처리 과정에서는 마이야르 반응이 진행되며, 이로 인해 다양한  
229 반응 생성물이 형성될 수 있는 것으로 알려져 있다. 이러한 마이야르 반응  
230 생성물은 라디칼 소거능 및 철 이온 흡착력과 같은 항산화 활성에 기여할 수  
231 있음이 보고되어 있으며, 특히 반응 후반에 형성되는 멜라노이딘과 같은 물질은  
232 자유 라디칼을 소거하는 능력을 갖는 것으로 알려져 있다 (Bolchini et al., 2025).  
233 이와 같은 결과는 가열 과정에서 마이야르 반응 생성물의 형성과 함께 항산화  
234 활성이 증가한다는 기존 연구와도 일치한다. Huang 등(2023)은 대두박 단백질  
235 가수분해물을 이용한 마이야르 반응을 통해 생성된 반응물에서 약 69.8%의 DPPH  
236 라디칼 소거능을 확인하여, 열처리 과정에서 생성된 마이야르 반응 생성물이

237 자유 라디칼 소거능에 효과적으로 기여할 수 있음을 시사한다. 또한, 식용곤충인  
238 귀뚜라미(*Gryllus assimilis*) 단백질을 이용한 연구에서도 마이야르 반응 후 DPPH  
239 라디칼 소거능이 약 48.03% 증가한 것으로 나타나, 마이야르 반응 생성물이 전자  
240 공여 기반 항산화 활성에 기여할 수 있음이 뒷받침된다 (de Matos et al., 2025).  
241 다만 본 연구에서는 Maillard reaction 생성물에 대한 직접 지표(갈변지수, MRP  
242 정량 등)를 측정하지 않았으므로, 해당 해석은 가능성 수준으로 제한되며, 향후  
243 관련 지표 분석 및 성분 동정을 통한 추가 검증이 필요하다.

244 따라서 흰점박이꽃무지 유충의 DPPH 기반 항산화 기능은 단순히 총 페놀  
245 함량(TPC) 수준만으로 예측하기 어려우며, 가열 과정에서 단백질의 변성 및  
246 분해에 의해 생성되는 저분자 펩타이드와 아미노산, 그리고 마이야르 반응을  
247 통해 형성되는 반응 생성물과 같은 비페놀성 성분들의 영향을 함께 고려하여  
248 해석할 필요가 있다. 이러한 결과는 항산화 활성이 특정 성분에 의해 단일하게  
249 결정되기보다는 다양한 화합물 간의 상호작용과 복합적인 반응 기작에 의해  
250 나타날 수 있음을 시사한다.

251

## 252 철(II) 이온 흡착력

253 철 이온 흡착력 측정 결과, PRD 와 PPD 처리구에서 높은 흡착력이 관찰되었고,

254 PFD 처리구는 상대적으로 낮았다( $p < 0.05$ )(Table 2). 특히 PPD 처리구의 1% 농도  
255 결과는 EDTA와 유사한 수준을 보여 금속이온 억제 측면에서 유의미한 잠재력을  
256 시사한다.

257 이러한 활성 차이는 전처리 과정에서 유도된 구조적 변화와 성분 조성의  
258 변화와 관련이 있는 것으로 보인다. 열처리 과정 중 단백질의 부분적 분해 및 구조  
259 변화가 일어나면서 금속이온과 결합 가능한 아미노산 잔기 및 작용기가 보다  
260 효과적으로 노출되었을 가능성이 있다. 또한 전처리 과정에서 생성되는 저분자  
261 펩타이드와 같은 생리활성 성분은 금속이온과 상호작용하거나 결합할 수 있어,  
262 이러한 성분 조성의 변화가 철이온 흡착력 차이에 기여했을 것으로 사료된다.

263 이는 식용곤충을 대상으로 한 연구에서 열처리 이후 단백질 가수분해물 및  
264 펩타이드 분획의  $Fe^{2+}$  킬레이션 활성이 증가하며, 펩타이드 구조 및 아미노산  
265 측쇄가 금속이온 결합에 중요한 역할을 한다고 보고한 결과와도  
266 일치한다(Zielińska et al., 2017).

267 따라서 본 연구에서 관찰된 철이온 흡착력의 차이는 전처리 과정에서 유도되는  
268 구조적 변화와 생리활성 성분의 변화가 복합적으로 작용한 결과로 판단되며,  
269 흰점박이꽃무지 유충의 금속이온 흡착 특성은 가공 조건에 따라 유의적으로  
270 달라질 수 있음을 시사한다. 향후에는 금속이온 결합에 관여하는 주요 성분과

271 반응 기작을 규명하는 추가 연구가 요구된다.

272

## 273 환원력

274 환원력 측정 결과, PRD 처리구가 전 농도에서 가장 높은 값을 보였고, PFD

275 처리구가 가장 낮았다( $p < 0.05$ )(Table 2). 특히 1%에서 PRD 처리구의 흡광도가

276 양성대조(ascorbic acid)보다 높게 나타나, 환원 반응에 기여하는 성분의 활성

277 증가와 관련될 가능성을 시사한다.

278 이러한 결과는 열처리 과정에서 단백질의 구조 변화 및 분해에 의해 생성되는

279 저분자 펩타이드와 아미노산과 같은 성분들이 전자 공여 능력을 나타내어 환원력

280 증가에 기여할 수 있기 때문으로 판단된다. 실제로 갈색거저리(*Tenebrio molitor*)

281 및 귀뚜라미(*Grylloides sigillatus*)와 같은 식용곤충 단백질을 열처리 또는 가수분해

282 처리하여 얻은 펩타이드의 항산화 활성을 분석한 연구에 따르면, 저분자

283 펩타이드와 특정 아미노산 잔기는 전자 공여 능력을 통해 환원력에 기여하는

284 것으로 보고된 바 있다 (Zielińska et al., 2017). 또한, 가열 과정에서 형성되는

285 마이야르 반응 생성물 역시 전자 전달 능력을 가지는 것으로 알려져 있으며,

286 귀뚜라미 단백질을 이용한 연구에서도 마이야르 반응 후 환원력이 유의적으로

287 증가한 것으로 보고되어 이러한 경향을 뒷받침한다 (de Matos et al., 2025).

288

## 289 **항산화 성분과 활성 간의 상관관계 분석**

290       흰점박이꽃무지 유충의 전처리 방법에 따른 항산화 성분(총 페놀성 화합물)과  
291       활성(DPPH 라디칼 소거능, 철이온 흡착력, 환원력) 간의 유기적인 관계를  
292       파악하기 위해 Pearson의 상관계수( $r$ )를 분석하고 이를 히트맵으로  
293       시각화하였다(Fig. 1). 분석 결과, DPPH 라디칼 소거능과 환원력은  $r=0.81$ 의 높은  
294       양의 상관관계를 나타내어( $p<0.01$ ), 유충 내 항산화 물질들이 라디칼 소거와 전자  
295       공여 메커니즘에 동시에 관여함을 확인하였다.

296       주목할 점은 TPC 함량과 DPPH 라디칼 소거능 간의 상관계수가  $r=-0.97$ 로 매우  
297       강한 음의 상관관계를 보였다는 것이다. 이는 일반적으로 식물성 소재에서 페놀  
298       함량이 높을수록 항산화 활성이 증가한다는 기존 보고(Piljac-Žegarac et al.,  
299       2009)와 대치되는 결과이다. 본 연구에서 TPC가 가장 높았던 PFD 처리구는  
300       오히려 가장 낮은 라디칼 소거능을 보인 반면, 열처리를 가한 PRD와 PPD  
301       처리구는 낮은 TPC에도 불구하고 우수한 활성을 나타냈다. 이는 고온 가열  
302       과정에서 생성된 멜라노이딘과 같은 마이야르 반응 생성물(Maillard reaction  
303       products, MRPs)이 Folin-Ciocalteu 시약과는 반응하지 않거나 낮게 측정되지만,  
304       실제 항산화 활성에는 지배적인 기여를 했기 때문으로 사료된다(Manzocco et al.,

305 2000). 따라서 흰점박이꽃무지 유충의 항산화 효능은 단순 페놀성 화합물보다는  
306 가공 중 생성된 2차 대사산물이나 펩타이드 등의 복합적인 작용에 기인하는  
307 것으로 판단된다.

308

### 309 **주성분 분석**

310 전처리 방법에 따른 흰점박이꽃무지 유충의 종합적인 항산화 특성을 비교하고  
311 처리구 간의 유사성을 규명하기 위해 주성분 분석을 실시하였다(Fig. 2).  
312 제 1 주성분(PC1)과 제 2 주성분(PC2)은 전체 데이터 변동의 각각 73.31%와  
313 19.92%를 설명하였으며, 총 93.23%의 설명력을 보여 데이터의 패턴을 신뢰성  
314 있게 나타내었다.

315 Biplot 분석 결과, PC1 을 기준으로 우측에는 PFD 처리구가 위치하였고,  
316 좌측에는 PRD, PPD, POD 처리구가 위치하여 명확한 그룹화 양상을 보였다. PFD  
317 처리구는 TPC 벡터 방향과 밀접하게 연관되어 있어 열에 민감한 페놀성 화합물의  
318 보존에는 유리함을 시사하였다. 반면, PRD 와 PPD 처리구는 DPPH 라디칼 소거능  
319 및 환원력 벡터 방향으로 강하게 편향되어 위치하였다. 이는 열처리가 유충의  
320 화학적 구조 변형을 유도하여 실질적인 전자 공여 능력과 라디칼 소거능을  
321 증진시키는 주요 인자임을 시각적으로 입증한다. 특히 PRD 처리구는 활성

322 벡터의 방향성과 가장 일치하여 항산화 활성 측면에서 가장 효율적인 가공법임을  
323 다변량 통계적으로 확인하였다.

324

### 325 **항산화 종합 지수**

326 각 실험별 측정 단위가 상이하야 발생하는 단일 지표 평가의 한계를 극복하고,  
327 전처리 방법에 따른 종합적인 항산화 효능을 정량적으로 평가하기 위해 항산화  
328 종합 지수(ACI)를 산출하였다(Fig. 3). ACI는 각 실험 지표를 100 점 만점으로  
329 환산하여 평균한 값으로, 점수가 높을수록 종합적인 항산화 기능이 우수함을  
330 의미한다. 분석 결과, PRD 처리구가 99.43 점으로 가장 높은 ACI를 나타내었으며,  
331 그 뒤를 이어 PPD(96.29), POD(92.99), PFD(78.48) 순으로 나타났다. PRD는 DPPH  
332 라디칼 소거능과 환원력 항목에서 최고점(100 점 환산치)을 기록하여 종합적인  
333 활성이 가장 뛰어난 것으로 평가되었다. 반면, 동결 건조(PFD)는 영양 성분 보존  
334 측면에서는 우수할 수 있으나, 항산화 활성 관점에서는 열처리 공정에 비해  
335 상대적으로 낮은 효능을 보였다. 이는 곤충 식품 가공 시 단순히 원물을 건조하는  
336 것보다 로스팅과 같은 적절한 열처리를 병행하는 것이 기능성 물질의 활성화를  
337 유도하여 산업적 활용 가치를 높일 수 있음을 시사한다. 결론적으로,  
338 흰점박이꽃무지 유충의 항산화 소재화를 위한 최적의 전처리 방법은

339 로스팅(PRD)인 것으로 도출되었다.

340

341 **결론**

342 본 연구는 미래 대체 단백질원이자 기능성 소재로서 주목받고 있는

343 흰점박이꽃무지 유충의 산업적 활용 가치를 제고하기 위해, 열풍 건조(POD),

344 로스팅(PRD), 팬프라이(PPD), 동결 건조(PFD)의 4 가지 전처리 공정이 유충의

345 항산화 특성에 미치는 영향을 비교 분석하였다. 실험 결과, 총 페놀성 화합물

346 함량은 열에 의한 손실이 적은 PFD 처리구에서 5.10 g/100g 으로 가장 높게

347 나타났다. 그러나 실제 항산화 효능을 대변하는 DPPH 라디칼 소거능, 환원력,

348 철이온 흡착력은 고온 열처리를 수반한 PRD 및 PPD 처리구에서 유의적으로 높은

349 활성을 보였다. 상관관계 분석 결과, 총 페놀성 화합물 함량과 DPPH 라디칼

350 소거능 간에는 강한 음의 상관관계( $r=-0.97$ )가 확인되었는데, 이는

351 **흰점박이꽃무지 유충의 항산화 활성이 단순 페놀성 화합물뿐만 아니라, 가열**

352 **공정 중 마이야르 반응을 통해 생성된 멜라노이딘과 같은 비페놀성 화합물에**

353 **의해 기인했을 가능성을 시사한다.** 또한, 다변량 통계 분석인 주성분 분석(PCA)을

354 통해 열처리 공정이 항산화 활성 벡터와 강한 양의 상관성을 가지며 동결 건조와

355 명확히 구분되는 특성을 가짐을 확인하였다. 특히, 각 실험 지표를 통합하여

356 산출한 항산화 종합 지수(ACI) 평가에서 PRD 처리구는 99.43 점으로 가장 우수한  
357 기능성을 나타내어, PPD(96.29), POD(92.99), PFD(78.48) 대비 탁월한 항산화  
358 효능을 입증하였다. 종합하면, 흰점박이꽃무지 유충을 고부가가치 항산화 소재로  
359 활용하기 위해서는 영양 성분의 단순 보존에 초점을 맞춘 동결 건조 방식보다는,  
360 로스팅과 같은 적절한 열처리 공정을 적용하여 기능성 성분의 구조적 변환 및  
361 활성화를 유도하는 것이 효과적임을 확인하였다. 따라서, 본 연구의 결과는 곤충  
362 식품 가공 공정의 최적화 및 기능성 증진 기술 개발을 위한 기초 자료로서 활용될  
363 수 있을 것으로 보인다. 다만, 본 연구에서는 항산화 활성에 기여하는 것으로  
364 추정되는 마이야르 반응 생성물 및 펩타이드에 대한 직접적인 지표 분석은  
365 포함하지 않았으므로, 이들의 구체적인 작용 기전에 대해서는 추가적인 검증이  
366 필요하다. 향후 관련 물질에 대한 정밀 분석을 통해 항산화 활성 기작을 보다  
367 명확히 규명할 수 있을 것으로 기대된다.

368

#### 369 **Conflicts of Interest**

370 The authors declare no potential conflict of interest.

#### 371 **Acknowledgments**

372 Not applicable.

373

#### 374 **Ethics Approval**

375 This article does not require IRB/IACUC approval because there are no human and  
376 animal participants.

377

### 378 **Author Contributions**

379 Conceptualization: Kim HS.

380 Data curation: Shin JY.

381 Formal analysis: Shin JY.

382 Methodology: Shin JY, Kim HS.

383 Software: Shin JY.

384 Validation: Kim HS.

385 Investigation: Shin JY.

386 Writing-original draft: Shin JY, Kim HS.

387 Writing-review & editing: Shin JY, Kim HS.

388

### 389 **Author Information**

390 Ju Yi Shin (Ph. D candidate, Hankyong National University)

391 <https://orcid.org/0009-0008-1532-7045>

392 Hyeong Sang Kim (Associate Professor, Hankyong National University)

393 <https://orcid.org/0000-0001-7054-2989>

394

395 **References**

396 Baek M, Kim MA, Kwon YS, Hwang JS, Goo TW, Jun M, Yun EY. 2019. Effects of  
397 processing methods on nutritional composition and antioxidant activity of mealworm  
398 (*Tenebrio molitor*) larvae. Entomological Research 49(6):284-293.

399 Bolchini S, Morozova K, Ferrentino G, Scampicchio M. 2025. Assessing antioxidant  
400 properties of Maillard reaction products: Methods and potential applications as food  
401 preservatives. European Food Research and Technology 251(8):2039-2059.

402 Choi IH, Choi SU, Son JS, Jang WW, Chung TH. 2021. Antioxidant and cytoprotective  
403 effects of enzyme-extracted constituents of *Protaetia brevitarsis* seulensis  
404 powder. Entomological Research 51(2):90-94.

405 Choi IH, Yu R, Lim YJ, Choi GS, Choi SU, Hwang JI, Son JS, Chung TH. 2019.  
406 Antithrombotic efficacy of *Protaetia brevitarsis* extract. Journal of Environmental  
407 Science International 28(7):639-643.

408 Choi YW, Lee DY, Park JM, Han DH, Kim JS, Park JW, Namkung S, Hur SJ. 2025.  
409 A Review on the current research and industrialization status of edible insect protein.  
410 Food Science of Animal Resources 45(4):981-997.

411 Chon JW, Kweon HY, Jo YY, Yeo JH, Lee HS. 2012. Protective effects of extracts of  
412 *Protaetia brevitarsis* on carbon tetrachloride-induced hepatotoxicity in the mice. Journal  
413 of Sericultural and Entomological Science 50(2):93-100

414 de Matos FM, Sales ACDA, Tavares GM, de Castro RJS. 2025. Effects of the Maillard  
415 reaction on the antioxidant and antihypertensive properties of black cricket (*Gryllus*  
416 *assimilis*) protein hydrolysates. ACS Food Science & Technology 5(4):1365-1373.

417 Gulcin İ, Alwasel SH. 2023. DPPH radical scavenging assay. Processes 11(8):2248.

418 Gulcin İ, Alwasel SH. 2025. Fe<sup>3+</sup> reducing power as the most common assay for  
419 understanding the biological functions of antioxidants. Processes 13(5):1296.

420 Huang SJ, Tsai SY, Mau JL. 2006. Antioxidant properties of methanolic extracts from  
421 *Agrocybe cylindracea*. LWT 39(4):379-387.

422 Huang X, Wang P, Xue W, Cheng J, Yang F, Yu D, Shi Y. 2023. Preparation of meaty  
423 flavor additive from soybean meal through the Maillard reaction. Food chemistry: X  
424 19:100780.

425 Hyun JY, Nam JH, Chun JY. 2023. Quality characteristics of black soldier fly larvae  
426 (*Hermetia illucens*) powder with various drying method. Food Engineering Progress  
427 27(2):120-128.

428 Kang HK, Lee SK, Yoo YK. 2003. Effects of prestorage heat treatment on changes of  
429 phenolic compound contents and incidence of skin blackening in 'Niitaka' pear fruits  
430 during cold storage. Journal of the Korean Society for Horticultural Science 44(2):197-  
431 200.

432 Kim HY, Kim D, Chun JY. 2022. Quality evaluation of hot air-dried edible insect  
433 '*Protaetia brevitarsis* larvae' including sacrificing method, storage temperature, and  
434 defatting condition. 산업식품공학 26(2):69-77.

435 Kwon HW, Rhee MH, Shin JH. 2023. The inhibitory effects of *Protaetia brevitarsis*  
436 *seulensis* larvae extract on human platelet aggregation and Glycoprotein IIb/IIIa  
437 expression. Preventive Nutrition and Food Science 28(3):328-334.

438 Le K, Chiu F, Ng K. 2007. Identification and quantification of antioxidants in *Fructus*  
439 *lycii*. Food Chemistry 105(1):353-363.

440 Lenaerts S, Van Der Borgh M, Callens A, Van Campenhout L. 2018. Suitability of  
441 microwave drying for mealworms (*Tenebrio molitor*) as alternative to freeze drying:  
442 Impact on nutritional quality and colour. Food chemistry 254:129-136.

443 Lin JY, Tang CY. 2007. Determination of total phenolic and flavonoid contents in  
444 selected fruits and vegetables, as well as their stimulatory effects on mouse splenocyte

445 proliferation. Food Chemistry 101(1):140-147.

446 MAFRA (Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs) (2025). Results of the 2024  
447 insect industry survey. Available from: <https://link24.kr/31UyeA0>. Accessed at Mar 30.  
448 2026.

449 Manzocco L, Calligaris S, Mastrocola D, Nicoli MC, Lericri CR. 2000. Review of non-  
450 enzymatic browning and antioxidant capacity in processed foods. Trends in food science  
451 & technology 11(9-10):340-346.

452 Martín-Cabrejas MA, Aguilera Y, Pedrosa MM, Cuadrado C, Hernández T, Díaz S,  
453 Esteban RM. 2009. The impact of dehydration process on antinutrients and protein  
454 digestibility of some legume flours. Food Chemistry 114(3):1063-1068.

455 Mishyna M, Martinez JJI, Chen J, Benjamin O. 2019. Extraction, characterization and  
456 functional properties of soluble proteins from edible grasshopper (*Schistocerca gregaria*)  
457 and honey bee (*Apis mellifera*). Food Research International 116:697-706.

458 Piljac-Žegarac J, Valek L, Martinez S, Belščak A. 2009. Fluctuations in the phenolic  
459 content and antioxidant capacity of dark fruit juices in refrigerated storage. Food  
460 Chemistry 113(2):394-400.

461 Rumpold BA, Schlüter OK. 2013. Potential and challenges of insects as an innovative  
462 source for food and feed production. Innovative Food Science & Emerging Technologies  
463 17:1–11.

464 Tungmunnithum D, Thongboonyou A, Pholboon A, Yangsabai A. 2018. Flavonoids  
465 and other phenolic compounds from medicinal plants for pharmaceutical and medical  
466 aspects: An overview. Medicines 5(3):93.

467 Yen GC. 1990. Influence of seed roasting process on the changes in composition and  
468 quality of sesame (*Sesame indicum*) oil. Journal of the Science of Food and Agriculture  
469 50(4):563-570

470 Yoon CH, Jeon SH, Ha YJ, Kim SW, Bang WY, Bang KH, Sang WG, Kim IS, Cho  
471 YS. 2020. Functional chemical components in *Protaetia brevitarsis* larvae: Impact of  
472 supplementary feeds. Food science of animal resources 40(3):461-473.

473 Zielińska E, Baraniak B, Karaś M. 2017. Antioxidant and anti-inflammatory activities  
474 of hydrolysates and peptide fractions obtained by enzymatic hydrolysis of selected heat-  
475 treated edible insects. Nutrients 9(9):970.

476

477

Accepted

478 **Tables and Figures**

479 **Table 1. Total phenolic contents (g/100 g) of *Protaetia brevitarsis seulensis* larvae**  
480 **(PBL)**

Parameters	Treatments			
	POD	PRD	PPD	PFD
Total phenolic contents (g/100 g)	3.34 <sup>B</sup> ±0.13	3.30 <sup>BC</sup> ±0.17	3.07 <sup>C</sup> ±0.13	5.10 <sup>A</sup> ±0.04

481 Data are expressed as the mean ± standard deviation.

482 <sup>A-C</sup> Means with different letters in the same row are different ( $p < 0.05$ ).

483 POD, oven-dried PBL; PRD, roasted PBL; PPD, pan-fried PBL; PFD, freeze-dried  
484 PBL.

Accepted

485  
486

**Table 2. DPPH radical scavenging activity (%), iron chelating ability (%) and reducing power (O.D.) of *Protaetia brevitarsis seulensis* larvae (PBL)**

Parameters	Treatments	Concentration (%)				
		0	0.1	0.25	0.5	1
DPPH radical scavenging activity (%)	AA	0.00 <sup>bA</sup> ±0.0 1	96.0 <sup>aA</sup> ±0.2 4	96.1 <sup>aA</sup> ±0.3 7	96.1 <sup>aA</sup> ±0.1 4	96.1 <sup>aA</sup> ±0.38
	POD	0.00 <sup>eA</sup> ±0.0 1	36.1 <sup>dBC</sup> ±3.0 0	44.1 <sup>cC</sup> ±3.51	57.4 <sup>bC</sup> ±2.6 5	66.5 <sup>aC</sup> ±1.59
	PRD	0.00 <sup>eA</sup> ±0.0 1	36.3 <sup>dBC</sup> ±5.8 6	53.2 <sup>cB</sup> ±1.94	59.5 <sup>bBC</sup> ±3.6 7	73.5 <sup>aB</sup> ±1.49
	PPD	0.00 <sup>dA</sup> ±0.0 1	40.7 <sup>cB</sup> ±6.22	50.4 <sup>bB</sup> ±4.2 6	63.0 <sup>aB</sup> ±2.13	68.2 <sup>aBC</sup> ±6.2 5
	PFD	0.00 <sup>eA</sup> ±0.0 1	31.4 <sup>dC</sup> ±0.4 0	32.5 <sup>cD</sup> ±0.5 9	33.8 <sup>bD</sup> ±1.1 1	35.9 <sup>aD</sup> ±0.50
Iron chelating ability (%)	EDTA	0.00 <sup>bA</sup> ±0.0 1	99.9 <sup>aA</sup> ±0.2 6	99.9 <sup>aA</sup> ±0.1 3	99.5 <sup>aA</sup> ±0.4 9	99.9 <sup>aA</sup> ±0.14
	POD	0.00 <sup>eA</sup> ±0.0 1	68.5 <sup>dE</sup> ±0.34	84.8 <sup>cD</sup> ±0.1 4	94.2 <sup>bC</sup> ±0.6 1	96.8 <sup>aD</sup> ±0.63
	PRD	0.00 <sup>eA</sup> ±0.0 1	73.4 <sup>dC</sup> ±0.4 0	87.7 <sup>cB</sup> ±0.12	96.2 <sup>bB</sup> ±0.0 5	98.1 <sup>aB</sup> ±0.17
	PPD	0.00 <sup>eA</sup> ±0.0 1	74.3 <sup>dB</sup> ±0.3 4	86.1 <sup>cC</sup> ±0.49	89.6 <sup>bE</sup> ±0.47	99.8 <sup>aA</sup> ±0.27
	PFD	0.00 <sup>eA</sup> ±0.0 1	71.2 <sup>dD</sup> ±0.8 7	84.2 <sup>cD</sup> ±0.6 5	92.8 <sup>bD</sup> ±0.2 3	97.5 <sup>aC</sup> ±0.39
Reducing power (O.D.)	AA	0.01 <sup>dA</sup> ±0.0 1	1.03 <sup>cA</sup> ±0.2 2	1.17 <sup>bcA</sup> ±0.3 4	1.52 <sup>abA</sup> ±0.0 2	1.48 <sup>aB</sup> ±0.01
	POD	0.03 <sup>eB</sup> ±0.01	0.24 <sup>dB</sup> ±0.0 1	0.55 <sup>cB</sup> ±0.01	1.02 <sup>bC</sup> ±0.0 1	1.40 <sup>aC</sup> ±0.01
	PRD	0.03 <sup>eB</sup> ±0.01	0.26 <sup>dB</sup> ±0.0 1	0.55 <sup>cB</sup> ±0.01	1.08 <sup>bB</sup> ±0.0 1	1.53 <sup>aA</sup> ±0.01
	PPD	0.03 <sup>eB</sup> ±0.01	0.25 <sup>dB</sup> ±0.0 1	0.55 <sup>cB</sup> ±0.01	0.99 <sup>bD</sup> ±0.0 1	1.47 <sup>aB</sup> ±0.01
	PFD	0.03 <sup>eB</sup> ±0.01	0.17 <sup>dB</sup> ±0.0 1	0.41 <sup>cB</sup> ±0.01	0.75 <sup>bE</sup> ±0.01	1.36 <sup>aD</sup> ±0.01

487 Data are expressed as the mean ± standard deviation.

488 <sup>a-c</sup> Means with different letters in the same row are different ( $p < 0.05$ ).

489 <sup>A-E</sup> Means with different letters in the same column are different ( $p < 0.05$ ).

490 AA, ascorbic acid; EDTA, ethylenediaminetetraacetic acid; POD, oven-dried PBL; PRD,

491 roasted PBL; PPD, pan-fried PBL; PFD, freeze-dried PBL.

492

493 **Table 3. IC<sub>50</sub> values for DPPH radical scavenging activity (%) of *Protaetia***  
 494 ***brevitarsis seulensis* larvae (PBL)**

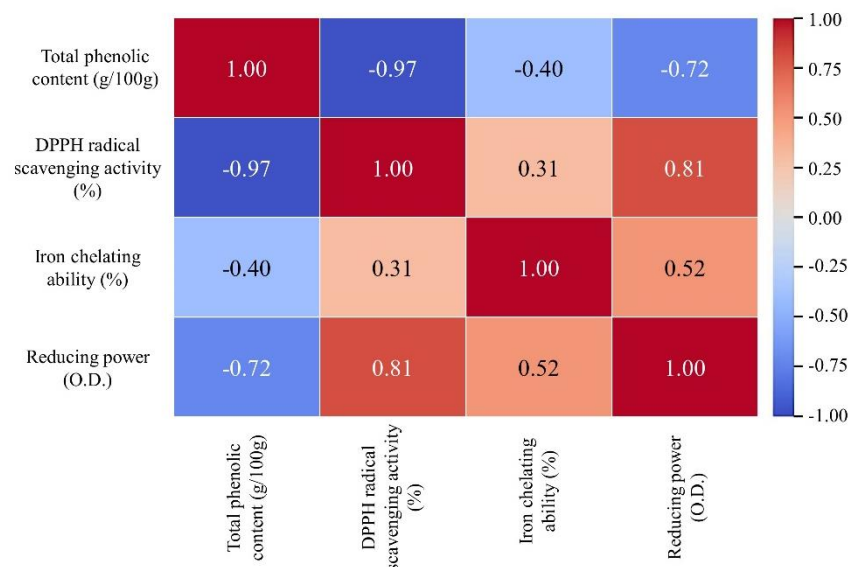
Parameters	Treatments			
	POD	PRD	PPD	PFD
IC <sub>50</sub> value of DPPH radical scavenging activity (%)	0.42 <sup>B</sup> ±0.03	0.30 <sup>B</sup> ±0.03	0.22 <sup>B</sup> ±0.15	3.91 <sup>A</sup> ±0.30

495 Data are expressed as the mean ± standard deviation.

496 <sup>A-B</sup> Means with different letters in the same row are different ( $p < 0.05$ ).

497 POD, oven-dried PBL; PRD, roasted PBL; PPD, pan-fried PBL; PFD, freeze-dried PBL.

Accepted

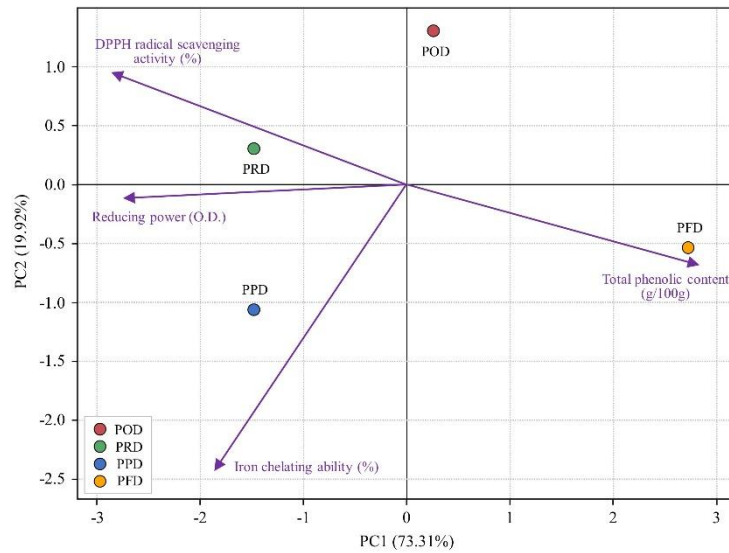


498

499 **Figure 1. Correlation heatmap of antioxidant indices in *Protactia brevitarsis***  
 500 ***seulensis* larvae (PBL).**

501

Accepted



502

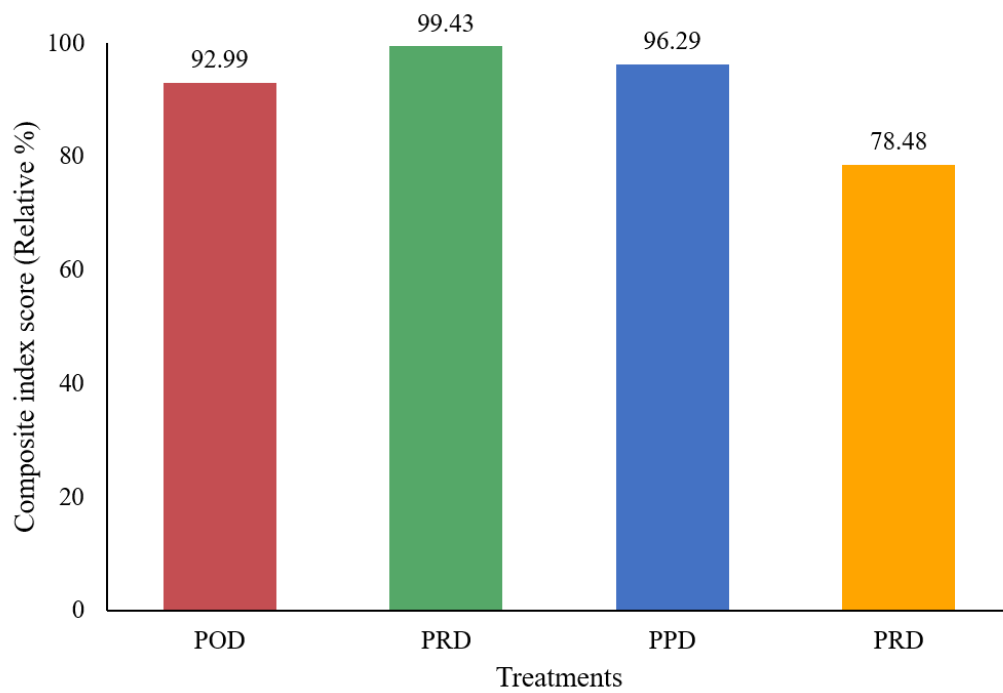
503 **Figure 2. Principal component analysis (PCA) biplot of antioxidant activities in**

504 ***Protactia brevitarsis seulensis* larvae (PBL). POD, oven-dried PBL; PRD, roasted PBL;**

505 **PPD, pan-fried PBL; PFD, freeze-dried PBL.**

506

Accepted



507

508 **Figure 3. Antioxidant composite index (ACI) in *Protaetia brevitarsis seulensis* larvae**

509 **(PBL).** POD, oven-dried PBL; PRD, roasted PBL; PPD, pan-fried PBL; PFD, freeze-

510 dried PBL.

Accepted