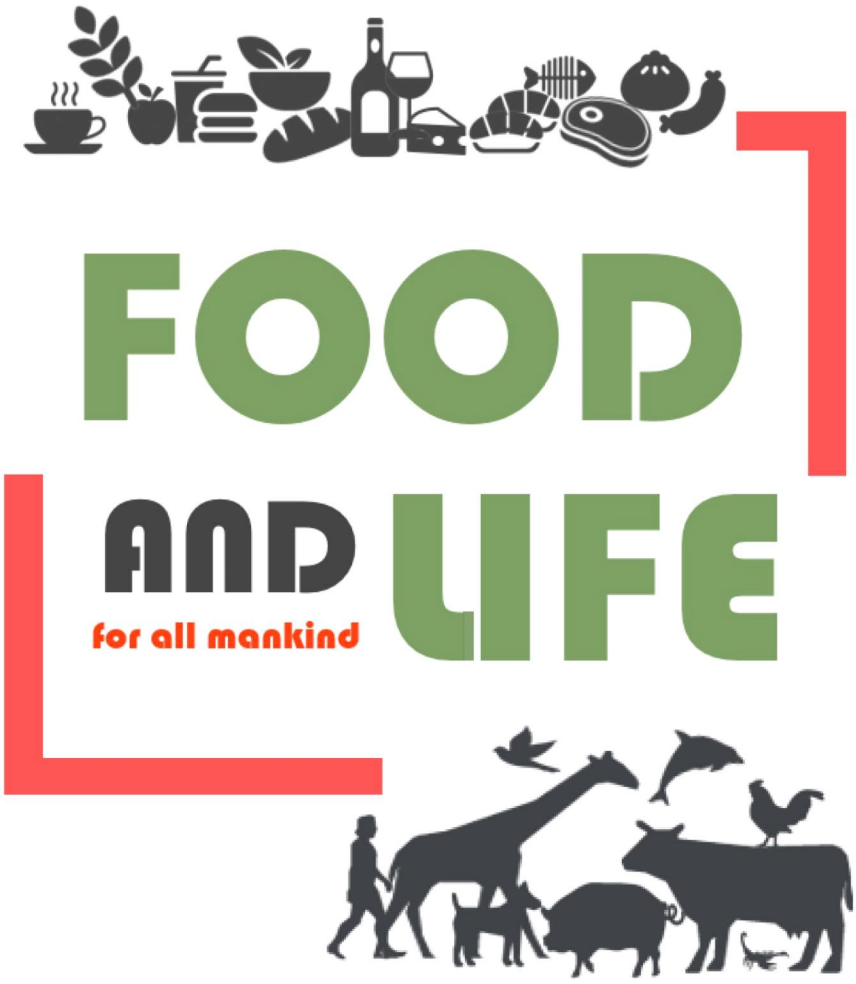

The Food and Life has published all type articles such as research articles, review articles, survey articles, research note, short communication or editorial since 2020. It covers the all scientific and technological aspects of food and life science.

https://www.foodnlife.org

Food and Life (2024) 2024(2):65-71
https://doi.org/10.5851/fl.2024.e7

Research Article Open Access

곤충 단백질 추출물을 적용한 소재의 가공 특성 평가

김예지[1], 차지윤[1], 김태경[1], 강민철[1], 천지연[2], 최윤상[1,*]

[1]한국식품연구원 가공공정연구단
[2]제주대학교 식품생명공학과

Evaluation of processing characteristics of materials using insect protein extract

Yea-Ji Kim[1], Ji Yoon Cha[1], Tae-Kyung Kim[1], Min-Cheoul Kang[1], Ji-Yeon Chun[2], Yun-Sang Choi[1,*]

[1]*Research Group of Food Processing, Korea Food Research Institute, Wanju 55365, Korea*
[2]*Department of Food Bioengineering, Jeju National University, Jeju 63243, Korea*

Abstract

The objective of this study was to prepare a protein gel using isolated soy protein and insect protein, and to evaluate its quality characteristics and nutritional properties. Insect protein has emerged as a novel protein source; however, when used alone, it often exhibits suboptimal processing properties and presents challenges for economic efficiency. Therefore, our aim was to explore the processing properties and quality characteristics by incorporating a blend of commonly used soy protein isolate and protein of *Hermetia illucens*. As the proportion of insect protein added to the protein gel increased, several parameters changed. Specifically, pH, lightness, and water holding capacity decreased with higher insect protein content. Conversely, redness and the essential amino acid index increased as more insect protein was incorporated. Notably, the T2 treatment demonstrated the highest values for hardness and chewiness. By investigating the quality characteristics of the gel in relation to the content of insect protein and providing insights into the industrial application of food and feed utilizing insect protein extract, this research contributes to the utilization of insect protein as a sustainable protein resource for enhancing food security and environmental protection.

Keywords: insect, protein extract, gel, processing, feed, food

서 론

곤충은 수천 년 동안 인류의 식량원으로 활용되어 왔으며, 최근 몇 년 동안 전 세계적으로 식량 및 사료 수요의 증가와 함께 인구 증가로 인해 식량 생산과 환경 오염의 문제가 심각해지고 있다(Kim et al., 2022a). 이에 따라 곤충이 식품 및 사료 산업에서 새로운 자원으로 주목받고 있으며, 곤충은 고단백, 저지방 및 다양한 기능성 물질을 함유하고 있어 인간 식품 및 사료 원료로서 매우 유망한 자원으로 간주되고 있다(Lee et al., 2022). 이러한 측면에서 곤충 단백질 추출물을 활용한 식품 및 사료 제품의 연구 및 개발은 지속 가능한 식량 생산과 자원 효율성을 향상시키는 데 중요한 역할을 할 수 있다(Kim et al., 2019).

유럽에서 동애등에는 쉬운 사육 방식과 외부 오염에 대한 저항성이 강하여 상대적으로 경제적인 식용곤충 자원으로써 각광받고 있다(Müller et al., 2017). 특히 기후위기, 전쟁 발발에 따른 식량 안보가 문제시 되고 있으며, 이에 따라 대체 단백질 자원 개발이 활발한 유럽 등지에서는 이미 이를 활용하기 위한 연구를 활발히 진행하고 있다(Kim et al., 2019). 식용곤충은 자원의 지속가능성이 높고, 높은 소화율과 다양한 기능성을 함유하고 있어서 식용뿐만 아니라, 사료용으로도 높은 가치를 가지고 있다(Lee et al., 2022; Ramos-Elorduy et al., 2002). 동애등에를 사료화하기 위하여 단백질 소화율이나, 성장률 등을 기존의 사료와 비교한 연구를 지속적으로 수행 중에 있다(Makkar et al., 2014; Renna et al., 2017; Schiavone et al., 2017). 그러나 사료의 가공특성은 동물들이 섭취하는 데 있어 기호도에 영향을 주기 때문에 가공적성의 향상은 중요한 요소로써 작용한다(Clouard and Val-Laillet, 2014).

그러나 곤충 단백질 소재를 활용하기 위한 가공 특성에 대한 연구는 아직도 제한적이다(Choi et al., 2017; Lee et al., 2024). 다양한 가공 공정이 곤충 단백질의 이화학적 및 물성학적 특성

*Corresponding author : Yun-Sang Choi. Research Group of Food Processing, Korea Food Research Institute, Wanju 55365, Korea. Tel: +82-63-219-9387, Fax: +82-63-219-9076, E-mail: kcys0517@kfri.re.kr

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

에 미치는 영향에 대한 연구도 부족하며, 제품의 안정성과 기능성을 보장하는 데 중요하다(Choi et al., 2022; Lee et al., 2021; Lee et al., 2023). 또한, 이러한 연구는 곤충 단백질이 제품의 최종 품질과 영양가에 미치는 영향을 평가함으로써 식품 및 사료 산업에서의 실용적인 적용 가능성을 파악하는 데 기여할 수 있다(Jang et al., 2022; Lee et al., 2022). 본 연구에서는 곤충 단백질 추출물을 활용하여 다양한 식품 및 사료 제품에 적용될 수 있는 가능성을 탐색하고자 하였다.

식용곤충의 단백질은 대부분이 체액성분으로 이루어져 있으며, 상대적으로 겔화 등 단단한 조직감을 유지하는데 어려운 구조의 단백질들을 함유하고 있다(Kim et al., 2022a). 식육가공품에 첨가하면 겔 형성에 어려움이 있어 안정적인 유화구조를 형성시키는데 어려움이 있으며, 빵을 만들 경우 단백질의 거품 형성능력이 낮아져 이를 활용한 제품의 부피가 감소하고, 경도가 증가하는 등의 단점을 보유하고 있다(Kim et al., 2022a). 또한 식용곤충을 활용하여 사료를 제작할 경우, 과도하게 딱딱해진 사료에 의해서 동물의 사료 섭취 시 어려움을 겪을 수 있다. 따라서 식용곤충의 물리적 특성을 고려하여 고단백 고품질의 단백질 사료를 제조할 필요가 있다.

본 연구는 분리대두단백과 곤충 단백질을 활용하여 겔을 제조하여 품질 특성 및 영양학적 특성을 확인하였으며, 이를 활용하여 곤충 단백질을 활용한 식품 및 사료의 산업적 활용에 대한 정보를 제공함으로써 식량 안보와 환경보호를 위한 지속 가능한 단백질 자원으로 활용하는데 도움이 될 것으로 기대된다.

재료 및 방법

실험재료

시중의 시장에서 판매되는 동애등에 유충을 구입하여 사용하였다. 사용된 시약은 Sigma-Aldrich(St. Louis, MO, USA)에서 구입하여 사용하였다. 분리대두단백(isolated soybean protein, ISP)은 ES식품원료(Esfood, Gunpu, Korea)에서 사용하였으며, pH는 7.32이며, 단백질 함량은 90.92%이다.

분석항목 및 방법

곤충 유충의 전처리, 건조 및 단백질 추출

냉동되어 보관된 동애등에 유충은 실온에서 해동 후 1:10의 동애등에:물 비율인 끓는 물에서 시료를 1분간 데친 뒤 차가운 물로 헹구고 수분을 제거하였다. 수분이 제거된 동애등에 유충은 열풍건조기(HK-DO1000F, Hankuksi, Hwaseong, Korea)를 사용하여 300 g씩 겹치는 부분이 없도록 펼친 후, 70℃에서 수분함량이 약 7.0%에 도달할 때까지 건조하였다. 건조된 동애등에 유충은 단백질 추출 전까지 냉동실(-20℃)에 보관하였고, 최적화된 버퍼로 동애등에 유충 분말을 1:3의 비율로 추출하여 하루간 냉장실(3℃)에서 충분히 수화시켰다. 원심분리기(Supra R22, Hanil, Daejeom, Korea)를 사용하여 이를 15,000×g에서 30분간 원심분리하여 얻은 상등액을 분무건조를 통해 건조한 시료를 단백질로 활용하였으며, 해당 분말은 사용 전까지 냉동실(-20℃)에 보관하였다.

곤충 유충 단백질의 겔화물 제조

동애등에 유충 단백질의 겔화물의 조성은 Table 1에 나타내었다. 곤약과 카라기난을 각각 1.5%씩, 대두유 1%, 물 84%를 공통적으로 첨가하였으며, 단백질 12%를 분무 건조된 동애등에 추출물과 ISP의 비율을 조절하여 첨가하였다. 균질기(Ultra-Turrax T25, IKA, Staufen, Germany)를 사용하여 약 1분간 8,000 rpm으로 균질한 후, 공기를 제거하기 위해 300×g에서 10분 동안 원심분리하였다. 이후 30분간 80℃ 가열 후 3시간 동안 20℃로 냉각하여 겔화하였다.

Table 1. The formulation of protein gel composed of isolated insect protein

Ingredients (%)	Treatments			
	T1	T2	T3	T4
Water	84	84	84	84
Konjac	1.5	1.5	1.5	1.5
Carrageenan	1.5	1.5	1.5	1.5
Soybean oil	1.0	1.0	1.0	1.0
Isolated soybean protein (ISP)	12	8	4	0
Isolated insect protein (IIP)[1)]	0	4	8	12
Total	100	100	100	100

[1)] Insect, black soldier fly larva.

pH

곤충 단백질 겔 샘플 5 g과 증류수 20 mL를 약 8,000 rpm에서 1분간 균질한 후, pH meter(Accumet Model AB15+, Thermo Fisher Scientific, Portsmouth, NH, USA)를 사용하여 각각 3회씩 측정하였다.

색도

곤충 단백질 겔 샘플의 색도는 colorimeter(CR-410, Minolta, Tyoko, Japan)를 사용하여 CR-A50을 부착하여 측정하였다. 명도(lightness), 적색도(redness), 황색도(yellowness)를 나타내는 CIE L값, a값, b값을 각각 3회씩 측정하였다. 표준색은 L값이 +97.83, a값이 −0.43, b값이 +1.98인 백색 calibration plate를 사용하여 교정하였다.

수분함량

곤충 단백질 겔의 수분함량을 측정하기 위하여 moisture analyzer(MB120, OHAUS, Parsippany, NJ, USA)를 사용하여 처리구별로 각각 3회씩 수분함량을 측정하였다.

보수력

곤충 단백질 겔의 보수력을 측정하기 위하여, 원심분리 후 손실된 수분함량과 샘플의 수분함량을 비교하여 보수력을 측정하였다. 탈지면을 넣은 튜브에 여과지에 감싼 각 샘플을 넣은 뒤 1,000×g에서 10분간 원심분리하여 유리수분을 제거한 샘플의 무게를 측정하여 손실된 수분함량으로 사용하였다.

$$\text{보수력 (\%)} = [\text{시료 내 수분함량(g)} - \text{유리수분 중량(g)}] / \text{시료 내 수분함량(g)} \times 100$$

물성

곤충분말로 제조한 단백질 겔의 경도(hardness), 탄력성(springiness), 응집성(cohesiveness), 검성(gumminess) 및 씹음성(chewiness)은 texture analyzer(TA-XT2i, Stable Micro System, Surrey UK)를 사용하여 측정하였다. 곤충 단백질 겔 시료를 2.0×2.0×1.0 cm 높이로 동일하게 정형하여 측정하였으며, 각 특성에 대한 값은 Exponent software(Stable Micro System)를 사용하여 Caine et al.(2003)에 나타난 식에 따라 계산되었다. 물성 측정 조건은 maximum load 2 kg, pre-test speed 2.0 mm/s, post-test speed 5.0 mm/s, force 10 g, distance 8.0 mm, and head speed 2.0 mm/s로 설정하였다.

아미노산 분석

곤충 단백질 겔의 아미노산 함량은 Kim et al.(2019)에 방법에 따라 측정되었다. 측정된 아미노산은 FAO/WHO/UNU (2985)의 보고서를 참고하여 필수아미노산 및 필수아미노산 지수(essential amino acid index, EAAI)를 계산하여 추출된 단백질의 영양학적 질을 측정하였다.

통계분석

처리구간의 통계 분석을 위하여 SPSS Ver. 20.0(SPSS, Chicago, IL, USA)을 이용하여 실시하였고, 실험 결과는 평균값과 평균의 표준편차로 나타내었다. 일원배치 분산분석(one-way ANOVA)을 실시한 결과, 유의성을 나타낸 실험항목에 있어, 처리구 간의 평균값 차이는 던컨의 다중검정(Duncan's multiple range test)을 통하여 유의성 검정($p<0.05$)을 실시하였다.

결과 및 고찰

pH

동애등에가 첨가된 단백질 겔의 pH 결과는 Fig. 1에 나타내었다. 동애등에 단백질 추출물을 첨가할수록 pH가 감소하는 경향을 나타내었다($p<0.05$). 이는 동애등에 유충 단백질의 pH가 6.05로 확인되었기 때문에, 단백질 소재로써 활용된 동애등에 유충의 pH에서 기인한 결과로 판단된다. 또한 본 연구에서 곤충 단백질이 12% 첨가된 단백질 겔의 pH도 가장 낮은 수치(6.04)를 나타내는 것을 확인할 수 있다. 동애등에 유충 단백질과 분리대두단백은 서로 다른 아미노산 조성을 가지며, 강한 염기성을 띄는 라이신, 아르기닌과 같은 특정 아미노산의 함량 차이는 단백질간의 pH 차이를 유발할 수 있다(Li et al., 2018). 단백질의 pH는 단백질 고유의 특성을 결정짓는데 중요한 요소로 작용한다. 단백질의 pH는 단백질 잔기의 전하에 영향을 주고, 이는 단백질의 용해도나 전자기적 반발력에 영향을 미쳐 가공적성에 영향을 줄 수 있다(Zayas, 2012).

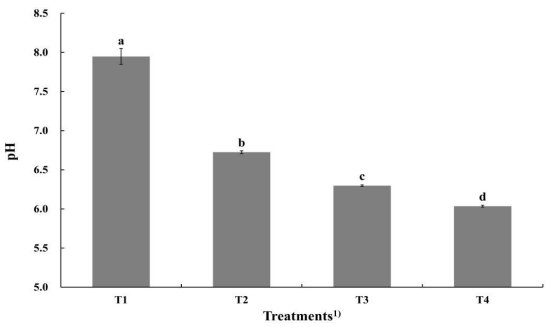

Fig. 1. The effect of isolated insect larva protein on pH value of protein gel. [a–d]Significant difference among treatments was presented by different letters on top of column ($p<0.05$). [1)] T1, 12% ISP; T2, 8% ISP+4% IIP; T3, 4% ISP+8% IIP; T4, 12% IIP. ISP, isolated soybean protein; IIP, isolated insect protein.

색도, 수분함량 및 보수력

추출된 곤충 단백질이 포함된 단백질 겔의 색도 값은 Table 2에 나타내었다. 명도(CIE L*)은 곤충단백질(isolated insect protein, IIP)의 함량이 증가할수록 감소하였으며(p<0.05), 적색도는 증가하는 경향을 나타내었다(p<0.05). 이러한 결과는 각 단백질 소재 특유의 색에 기인하여 영향을 받은 것으로 사료된다. 곤충 단백질의 색도에 가장 큰 영향을 받는 것은 멜라닌 색소로서 곤충 단백질의 추출 시 멜라닌 색소가 용출되어 함께 추출된 것으로 보여진다(Kim et al., 2020). 멜라닌 색소의 함량은 곤충의 종류나 생애주기에 따라 다르며, 선행연구에 따르면 동애등에 유충에는 5.7 mg/g 존재하는 것으로 나타났다(Ushakova et al., 2018). 따라서 상대적으로 어둡고 붉은 색을 나타내는 곤충 단백질은 이러한 결과를 나타낸 것으로 판단된다.

동애등에 단백질 추출물이 첨가된 단백질 겔의 수분함량 및 보수력은 Table 2에 나타내었다. 수분함량은 유의적인 차이를 보이지 않았으나(p>0.05), 상대적으로 보수력은 곤충 단백질 첨가량이 증가할수록 급격히 감소하는 경향을 나타내었다(p<0.05). 따라서 가열 공정에 따른 열에 의한 수분의 손실은 모든 처리구가 유사하게 나타난 것으로 사료된다. 그러나, 물리적인 힘에 의한 수분의 손실은 상대적으로 곤충 단백질이 많아질수록 높아지는 것으로 보아, 단백질 겔에서 물을 가둘 수 있는 구조적인 안정성이 떨어지는 것으로 보여진다. 일반적인 콩단백질의 등전점은 pH 4.0-5.0이고, 동애등에의 등전점은 4.3-4.5라고 하여 본 실험에서는 pH의 차이의 의해서 보수력이 영향을 받은 것으로 판단된다(Tan et al., 2014; Queiroz et al., 2021).

물성

동애등에 단백질 추출물이 첨가된 단백질 겔의 물성은 Table 3에 나타내었다. 경도의 경우는 분리대두단백 단독 처리구(T1)보다 T2가 경도가 상승하는 결과를 나타내었다(p<0.05). 또한 T3 또한 분리대두단백 단독 처리구와 유사한 경향을 나타내었다. 그러나 곤충 단백질로만 단백질 겔을 제조한 경우 경도가 급격하게 감소하였으며, T4는 유의적으로 가장 낮은 경도를 나타내었다(p<0.05). 그러나 탄력성의 경우 상대적으로 T3와 T4가 가장 높은 값을 가지고 있었으며, T2가 가장 낮은 수치를 나타내었다(p<0.05). 응집성의 경우 분리대두단백과 곤충 단백질이 혼합될 경우 감소하는 경향을 나타냈다(p<0.05). 검성의 경우 상대적으로 경도가 높은 T2가 가장 높은 수치를 나타내었

Table 2. The effect of isolated insect larva protein on instrument color value, moisture content and water holding capacity (WHC) of protein gel

Trait	T1	T2	T3	T4
CIE L*	61.00±0.75^{a}	40.37±0.86^{b}	34.69±1.07^{c}	30.98±1.24^{d}
CIE a*	-1.81±0.21^{d}	2.49±0.14^{c}	3.49±0.19^{b}	4.82±0.59^{a}
CIE b*	11.31±0.32	11.32±0.61	11.05±0.48	11.98±1.21
Moisture content (%)	89.40±2.79	88.66±1.72	88.79±1.14	88.74±2.15
WHC (%)	80.14±0.81^{a}	65.42±1.84^{b}	53.67±4.84^{c}	17.17±3.13^{d}

T1, 12% ISP; T2, 8% ISP+4% IIP; T3, 4% ISP+8% IIP; T4, 12% IIP.
$^{a-d}$Significant difference among treatments was presented by different letters on side of value (α(0.05).
ISP, isolated soybean protein; IIP, isolated insect protein.

Table 3. The effect of isolated insect larva protein on texture profile of protein gel

Trait	T1	T2	T3	T4
Hardness (kgf)	1.14±0.14^{b}	2.07±0.05^{a}	1.09±0.06^{b}	0.20±0.01^{c}
Springiness	0.88±0.01^{b}	0.71±0.02^{c}	0.94±0.01^{a}	0.95±0.01^{a}
Cohesiveness	0.80±0.01^{a}	0.53±0.01^{c}	0.59±0.01^{b}	0.77±0.05^{a}
Gumminess (kgf)	0.89±0.09^{b}	1.09±0.06^{a}	0.64±0.03^{c}	0.15±0.01^{d}
Chewiness (kgf)	0.78±0.08^{a}	0.79±0.05^{a}	0.61±0.03^{b}	0.13±0.01^{c}

T1, 12% ISP; T2, 8% ISP+4% IIP; T3, 4% ISP+8% IIP; T4, 12% IIP.
$^{a-d}$Significant difference among treatments was presented by different letters on side of value (α(0.05).
ISP, isolated soybean protein; IIP, isolated insect protein.

으며, T4는 가장 낮은 수치를 보였다. 씹힘성의 경우 T1, T2가 유의적인 차이를 보이지 않고 가장 높은 수치를 나타내었으며, T4가 가장 낮은 수치를 보였다(p<0.05). 선행 연구들에 따르면, 곤충 단백질의 첨가는 근원섬유단백질 겔이나 빵과 같은 식품의 탄력성을 오히려 저하시키는 것으로 나타났다(González et al., 2019; Kim et al., 2022b). 하지만 해당 연구에서는 곤충 단백질을 다량 첨가하였을 때, 겔의 탄력성이 증가하는 것으로 나타났다. 곤충 단백질은 구조적 변성에 안정하기 때문에 가열에 의한 네트워크 형성 능력이 상대적으로 낮을 수 있으며(Lee et al., 2024), 이에 의해 겔 내에서 단백질보다 곤약과 카라기난의 특성을 더 강하게 나타내는 것으로 판단된다. 따라서 곤충 단백질을 혼합하여 단백질 겔을 제조할 경우, 상대적으로 삼킬 수 있을 때까지 필요한 힘이 덜 들어가는 탄력성 우수한 단백질 겔 생성에 도움을 줄 수 있을 것으로 사료된다.

아미노산 조성

단백질의 아미노산 조성은 동물의 성장에 있어서 중요한 요소로써 작용한다(Kim et al., 2022a). 동애등에 단백질 추출물이 첨가된 단백질 겔의 아미노산 조성은 Table 4에 나타냈다. 필수 아미노산 중 His, Leu, Met+Cys, Thr, Val의 함량은 곤충 단백질의 첨가량이 증가할수록 증가하는 경향을 나타내었으며, Phe+Tyr의 함량은 감소하는 경향을 나타냈으나, T2, T3와 T1 간 유의적인 차이를 보이지는 않았다. 또한 근육의 성장과 생장에 중요한 역할을 수행하는 Lys의 함량은 사료에서 충분한 공급이 요구되는데, 이는 T2 처리구에서 가장 높았으며, T4 처리구가 가장 낮았다(p<0.05). 하지만, 필수아미노산지수를 계산한 결과, 곤충을 첨가할수록 점차 증가하는 경향을 나타냈다. 곤충 단백질의 아미노산 조성은 곤충의 생리학적 특성, 곤충 사육에 사용된 사료, 단백질 추출 전 가공 공정 등의 영향을 받는다(El-Dakar et al., 2021; Huang et al., 2019). 따라서 곤충 단백질을 라이신(Lys)이 풍부한 단백질 원료와 함께 활용하거나, 곤충 내 라이신 함량을 증가시키기 위한 사육 과정 혹은 가공 공정을 개발할 경우 영양학적으로 더욱 우수해질 것으로 사료된다.

Table 4. The effect of isolated insect larva protein on amino acid profile of protein gel

Amino acid (mg/g of protein)	T1	T2	T3	T4
His[1)]	25.84±0.25^{d}	28.01±0.11^{c}	33.69±0.12^{b}	48.38±0.04^{a}
Ile[1)]	40.79±0.34	39.63±0.39	39.32±0.16	39.97±1.04
Leu[1)]	81.48±1.12^{c}	79.32±0.57^{b}	74.48±0.18^{ab}	69.13±2.38^{a}
Lys[1)]	66.51±0.03^{b}	72.11±0.67^{a}	64.23±0.43^{bc}	62.18±1.66^{c}
Met+Cys[1)]	0.66±0.04^{c}	1.09±0.03^{c}	3.12±0.18^{b}	5.37±0.87^{a}
Phe+Tyr[1)]	92.60±1.27^{a}	92.38±0.51^{a}	91.28±0.62^{a}	82.86±0.01^{b}
Thr[1)]	42.14±0.05^{b}	43.18±0.47^{ab}	42.98±0.16^{ab}	44.08±0.32^{a}
Val[1)]	40.29±0.04^{c}	41.50±0.43^{c}	43.79±0.33^{b}	51.03±0.89^{a}
Asp	124.13±0.59^{a}	120.67±0.40^{a}	113.87±0.03^{b}	105.32±2.75^{c}
Ser	58.36±0.35^{a}	55.61±0.01^{b}	51.24±0.09^{c}	40.46±0.72^{d}
Glu	212.29±0.65	206.08±0.12	208.63±1.00	202.52±3.07
Pro	51.16±1.24	53.31±5.21	53.00±1.89	38.99±5.00
Gly	43.05±0.13^{c}	43.95±0.46^{bc}	46.01±0.09^{b}	53.09±1.38^{a}
Ala	44.09±0.26^{d}	52.64±0.40^{c}	68.80±0.20^{b}	110.38±0.64^{a}
Arg	76.60±0.46^{a}	70.52±0.71^{b}	65.56±0.23^{c}	46.24±1.63^{d}
Essential amino acid index[2)]	0.95±0.01^{d}	1.03±0.00^{c}	1.16±0.01^{b}	1.28±0.01^{a}

T1, 12% ISP; T2, 8% ISP+4% IIP; T3, 4% ISP+8% IIP; T4, 12% IIP.
[1)] Indicates essential amino acid.
[2)] Essential amino acid index was calculated according to reference essential amino acid value for human from FAO/WHO/UNU (1985).
[a-d]Significant difference among treatments was presented by different letters on side of value (p<0.05).
ISP, isolated soybean protein; IIP, isolated insect protein.

결 론

분리대두단백과 곤충 단백질의 혼합형 단백질 겔 특성은 첨가되는 단백질 종류에 의하여 영향을 받는 것으로 나타났다. 곤충 단백질의 첨가는 수분함량의 차이에는 영향을 미치지 않았으나, 보수력을 감소시키는 결과를 나타내었다. 물성에서는 동애등에 단백질을 첨가할수록 탄력성은 증가하나, 응집성은 감소하여 탱탱하면서도 넘기기 쉬운 겔 형성에 도움을 줄 수 있을 것으로 사료된다. 또한 영양학적 분석 결과, 메티오닌의 함량은 증가하여 상대적으로 필수아미노산의 함량이 증가하여 동애등에 추출물을 활용한 단백질 겔의 제조는 영양학적으로 우수한 겔 형성에 도움을 줄 수 있을 것으로 판단된다. 따라서 곤충 단백질을 첨가한 겔 형성 시 분리대두단백과 곤충 단백질의 비율을 조절하여 제조한다면 원하는 품질의 제품을 제조할 수 있을 것으로 판단되며, 영양학적 특성의 변화를 줄 수 있는 첨가제로도 활용이 가능할 것으로 사료된다.

Conflicts of Interest

The authors declare no potential conflict of interest.

Acknowledgments

This research was supported by the Main Research Program (E0211200-04) of the Korea Food Research Institute (KFRI) funded by the Ministry of Science and ICT (Korea). This research was also partially supported by the Technology Development Program (1425175616) funded by the Ministry of SMEs and Startups (MSS, Korea).

Ethics Approval

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

Author Contributions

Conceptualization: Kim YJ, Kim TK, Chun JY, Choi YS.
Data curation: Kang MC, Chun JY, Choi YS.
Formal analysis: Kim YJ, Cha JY.
Validation: Kang MC, Choi YS.
Investigation: Chun JY, Choi YS.
Writing-original draft: Kim YJ, Kim TK.
Writing-review&editing: Kim YJ, Cha JY, Kim TK, Kang MC, Chun JY, Choi YS.

Author Information

Yea-Ji Kim (Researcher, Korea Food Research Institute)
https://orcid.org/0000-0003-0937-5100
Ji Yoon Cha (Researcher, Korea Food Research Institute)
https://orcid.org/0000-0002-1694-4343
Tae-Kyung Kim (Researcher, Korea Food Research Institute)
https://orcid.org/0000-0002-6349-4314
Min-Cheoul Kang (Senior Researcher, Korea Food Research Institute)
https://orcid.org/0000-0002-9658-9045
Ji-Yeon Chun (Associate Professor, Jeju National University)
https://orcid.org/0000-0002-9658-9045
Yun-Sang Choi (Principal Researcher, Korea Food Research Institute)
https://orcid.org/0000-0001-8060-6237

References

Caine WR, Aalhus JL, Best DR, Dugan MER, Jeremiah LE. 2003. Relationship of texture profile analysis and Warner-Bratzler shear force with sensory characteristics of beef rib steaks. Meat Sci 64:333-339.

Choi YS, Kim TK, Choi HD, Park JD, Sung JM, Jeon KH, Paik HD, Kim YB. 2017. Optimization of replacing pork meat with yellow worm (*Tenebrio molitor* L.) for Frankfurters. Food Sci Anim Resour 37:617-625.

Choi YW, Kim TK, Kang MC, Lee JH, Cha JY, Jang HW, Choi YS. 2022. A study on the analysis of food properties of edible insects to enhance the utilization. Korean J Food Cook Sci 38:215-226.

Clouard C, Val-Laillet D. 2014. Impact of sensory feed additives on feed intake, feed preferences, and growth of female piglets during the early postweaning period. J Anim Sci 92:2133-2140.

El-Dakar MA, Ramzy RR, Ji H. 2021. Influence of substrate inclusion of quail manure on the growth performance, body composition, fatty acid and amino acid profiles of black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*). Sci Total Environ 772:145528.

González CM, Garzón R, Rosell CM. 2019. Insects as ingredients for bakery goods. A comparison study of *H. illucens, A. domestica* and *T. molitor* flours. Innov Food Sci Emerg Technol 51:205-210.

Huang C, Feng W, Xiong J, Wang T, Wang W, Wang C, Yang F. 2019. Impact of drying method on the nutritional value of the edible insect protein from black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) larvae: amino acid composition, nutritional value evaluation, *in vitro* digestibility, and thermal properties. Eur Food Res Technol 245:11-21.

Jang HB, Baek J, Choi YS, Jang HW. 2022. Quality characteristics and antioxidant activities of rice cookies prepared with *Tenebrio molitor, Protaetia brevitarsis*, and *Gryllus bimaculatus* powder. Korean J Food Sci Technol 54:171-178.

Kim TK, Lee JH, Yong HI, Kang MC, Cha JY, Chun JY, Choi YS. 2022a. Effects of defatting methods on the physicochemical properties of proteins extracted from *Hermetia illucens* larvae. Foods 11:1400.

Kim TK, Lee MH, Cha JY, Kim J, Kang MC, Yong HI, Jung S, Choi YS. 2022b. Use of edible insects in thermal-induced protein gels containing porcine myofibrillar protein. J Insects Food Feed 8:803-811.

Kim TK, Yong HI, Chun HH, Lee MA, Kim YB, Choi YS. 2020. Changes of amino acid composition and protein technical functionality of edible insects by extracting steps. J Asia-Pac Entomol 23:298-305.

Kim TK, Yong HI, Kim YB, Kim HW, Choi YS. 2019. Edible insects as a protein source: a review of public perception, processing technology, and research trends. Food Sci Anim Resour 39:521-540.

Lee HJ, Kim YJ, Kim JH, Cha JY, Kim TK, Han SG, Choi YS. 2023. Effect of different curing methods on the quality characteristics of *Tenebrio molitor* larvae. Korean J Food Cook Sci 39:458-464.

Lee JH, Cha JY, Kim TK, Choi YS, Jang HW. 2021. Effects of a defatting process on the thermal stabilities and volatile compound profiles of proteins isolated from *Protaetia brevitarsis* larvae. LWT-Food Sci Technol 151:112095.

Lee JH, Kim TK, Cha JY, Jang HW, Yong HI, Choi YS. 2022. How to develop strategies to use insects as animal feed: digestibility, functionality, safety, and regulation. J Anim Sci Technol 64:409-431.

Lee JH, Kim YJ, Choi YJ, Kim TK, Cha JY, Park MK, Jung S, Choi YS. 2024. Effect of gamma-ray and electron-beam irradiation on the structural changes and functional properties of edible insect proteins from *Protaetia brevitarsis* larvae. Food Chem 434:137463.

Li S, Zheng Y, Xu P, Zhu X, Zhou C. 2018. L-Lysine and L-arginine inhibit myosin aggregation and interact with acidic amino acid residues of myosin: the role in increasing myosin solubility. Food Chem 242:22-28.

Makkar HPS, Tran G, Heuzé V, Ankers P. 2014. State-of-the-art on use of insects as animal feed. Anim Feed Sci Technol 197:1-33.

Müller A, Wolf D, Gutzeit HO. 2017. The black soldier fly, *Hermetia illucens*: a promising source for sustainable production of proteins, lipids and bioactive substances. Z Naturforsch C 72:351-363.

Queiroz LS, Regnard M, Jessen F, Mohammadifar MA, Sloth JJ, Petersen HO, Ajalloueian F, Brouzes CMC, Fraihi W, Fallquist H, de Carvalho AF, Casanova F. 2021. Physico-chemical and colloidal properties of protein extracted from black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae. Int J Biol Macromol 186:714-723.

Ramos-Elorduy J, González EA, Hernández AR, Pino JM. 2002. Use of *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae) to recycle organic wastes and as feed for broiler chickens. J Econ Entomol 95:214-220.

Renna M, Schiavone A, Gai F, Dabbou S, Lussiana C, Malfatto V, Prearo M, Capucchio MT, Biasato I, Biasibetti E, De Marco M, Brugiapaglia A, Zoccarato I, Gasco L. 2017. Evaluation of the suitability of a partially defatted black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) larvae meal as ingredient for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum) diets. J Anim Sci Biotechnol 8:57.

Schiavone A, De Marco M, Martínez S, Dabbou S, Renna M, Madrid J, Hernandez F, Rotolo L, Costa P, Gai F, Gasco L. 2017. Nutritional value of a partially defatted and a highly defatted black soldier fly larvae (*Hermetia illucens* L.) meal for broiler chickens: apparent nutrient digestibility, apparent metabolizable energy and apparent ileal amino acid digestibility. J Anim Sci Biotechnol 8:1-9.

Tan ES, Ngoh YY, Gan CY. 2014. A comparative study of physicochemical characteristics and functionalities of pinto bean protein isolate (PBPI) against the soybean protein isolate (SPI) after the extraction optimisation. Food Chem 152:447-455.

Ushakova NA, Dontsov AE, Sakina NL, Ratnikova IA, Gavrilova NN, Garmash NY, Bastrakov AI, Kozlova AA. 2018. Melanin and melanogenesis at different life stages in *Hermetia illucens*. Biol Bull 45:47-50.

Zayas JF. 2012. Functionality of proteins in food. Springer Science & Business Media, Berlin, Heidelberg.

ⓒ Copyright. Korean Society for Food Science of Animal Resources.

Date Received Feb. 26, 2024
Date Revised Apr. 1, 2024
Date Accepted Apr. 5, 2024