

반려동물 사료에서 곤충 및 해조류 기반 대체 단백질원 활용에 관한 고찰

임채원 · 강하늘 · 박효민 · 배가은 · 전지수 · 김은비 · 추교문*

인제대학교 의생명보건대학 반려동물보건학과

Utilization of insects and seaweeds as alternative protein sources in companion animal diets: a review

Chae Won Lim, Ha Neul Kang, Hyo Min Park, Ga Eun Bae, Ji Su Jeon, Eun Bi Kim, Gyo Moon Chu*

Department of Companion Animal Health, College of Biomedical Science & Health, Inje University, Gimhae 50834, Korea



Received: Nov 18, 2025

Revised: Dec 29, 2025

Accepted: Dec 29, 2025

*Corresponding author

Gyo Moon Chu
Department of Companion Animal Health, College of Biomedical Science & Health, Inje University, Gimhae 50834, Korea
Tel: +82-55-320-3223
E-mail: chu@inje.ac.kr

Copyright © 2025 Korean Society of Animal Science and Technology.
This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ORCID

Chae Won Lim
<https://orcid.org/0009-0003-2528-3481>
Ha Neul Kang
<https://orcid.org/0009-0003-6952-4005>
Hyo Min Park
<https://orcid.org/0009-0002-7934-5935>
Ga Eun Bae
<https://orcid.org/0009-0008-1412-0202>
Ji Su Jeon
<https://orcid.org/0009-0002-4550-220X>

Abstract

The companion animal diet industry in Korea has grown rapidly, driven by the increasing recognition of pets as family members and rising interest in pet wellness. Although meat by-products, fish meals and soy protein are widely used as conventional protein sources in companion animal diets, they present several limitations, including nutritional imbalances, allergenicity, resource depletion and environmental burden. This review evaluates the potential of insects and seaweeds as alternative protein sources for companion animal diets. The crude protein (CP) content of basis black soldier fly larvae (BSFL) and mealworm typically ranges from 40% to 60% on a dry matter (DM) and includes a balanced profile of essential amino acids such as lysine and methionine. Their nutritional value is comparable to that of conventional protein sources, making insects a viable option as a primary protein source for growing companion animals. The BSFL demonstrate excellent digestibility, in some cases exceeding chicken meal for essential amino acids. Additionally, insect production reduces environmental impact, generating substantially lower greenhouse gas emissions than livestock. However, potential concerns remain, including reduced digestibility due to high chitin content in some species and the risk of allergenicity due to cross-reactivity with crustaceans. Seaweeds generally contain 10% to 30% CP on a DM basis and provide various functional compounds, including polyunsaturated fatty acids, fucoidan, and alginate. These bioactive substances offer benefits in immune modulation, skin and coat health and weight management. Seaweeds also provide environmental advantages as they require no arable land and absorbing atmospheric carbon dioxide during cultivation. However, variations among species in nutritional composition and the potential for heavy metal accumulation require careful consideration. In conclusion, insect protein shows strong potential as a primary nutritional source, whereas seaweed protein serves effectively as a functional supplement. The combined use of these alternative ingredients provides a sustainable

Eun Bi Kim
<https://orcid.org/0009-0001-6009-0963>
 Gyo Moon Chu
<https://orcid.org/0000-0001-7688-0217>

Competing interests

No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

Funding sources

Not applicable.

Acknowledgements

This review was produced as an outcome of the Pre-Capstone Design course in the Department of Companion Animal Health at Inje University during the second semester of 2025.

Availability of data and material

Upon reasonable request, the datasets of this study can be available from the corresponding author.

Authors' contributions

Conceptualization: Lim CH.
 Data curation: Bae GE, Jeon JS, Kim EB.
 Investigation: Lim CW, Kang HN, Park HM, Jeon JS.
 Writing - original draft: Lim CW, Kang HN, Park HM.
 Writing - review & editing: Lim CW, Kang HN, Park HM, Bae GE, Jeon JS, Kim EB, Chu GM.

Ethics approval and consent to participate

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

strategy to reduce reliance on meat-based proteins while supporting the overall health and well-being of companion animals.

Keywords: Alternative protein, Companion animal diets, Insects, Seaweeds

서론

현대 사회에서 반려동물은 가족의 구성원으로 인식되며, 이에 따라 반려동물 산업은 빠른 성장을 보이고 있다. 2024년 말 기준, 국내 반려동물 양육 가구는 약 591만 가구로 전체의 26.7%를 차지하며, 이 중 87.2%의 가구가 반려동물을 가족으로 인식하고 있다. 팬데믹 이후 인간 중심의 웰니스(Wellness) 개념이 반려동물 영역으로 확장되면서, 반려동물 영양 관리의 중요성 역시 강조되고 있다[1].

현재 반려동물 사료에서 주로 사용되는 단백질원은 육류 부산물, 가금 부산물, 어분 및 대두 단백질 등이다[2]. 이들 원료는 경제성과 공급 안정성 측면에서는 장점을 지니지만, 영양학적 불균형, 알레르기 유발, 원재료 가격 변동성 및 환경 부담 등 다양한 문제를 동반한다. 육류 부산물은 내장, 뼈 및 지방 등이 포함되어 단백질 품질 변동이 크며, 아미노산 조성의 불균형이 나타난다[3]. 또한 고온 가공 과정에서 단백질 변성과 소화율 저하가 발생하는 것으로 보고되었다[4]. 더불어 쇠고기, 닭 및 돼지고기 등 전통적으로 사용되는 육류 단백질은 반려동물 식이 알레르기의 약 70% 이상을 차지하며[5], 이는 피부 질환 및 소화장애 등 만성 질환으로 이어질 수 있다. 어분은 고품질 단백질원으로 널리 활용되지만, 해양 자원 고갈과 가격 변동성이 큰 구조적 한계를 가진다[6]. 또한 어업 활동에 따른 해양 생태계 파괴, 중금속 축적 및 미세플라스틱 오염 등 환경 문제 역시 점점 더 심각해지고 있다. 대두 단백질은 비용 효율성 측면에서 유리하나, 메티오닌과 라이신 등 필수 아미노산 함량이 부족하고, 이소플라본 등 항영양인자의 존재로 인해 소화흡수율이 저하될 수 있다[7]. 또한 대두는 기후 변화 및 국제 곡물 시장의 영향을 크게 받기 때문에 사료 산업의 원가 불안정성을 가중시키는 요인이 된다.

이처럼 기존 단백질원은 영양적, 환경적 및 경제적 측면에서 다양한 한계를 지니며, 이를 대체할 새로운 단백질 자원에 대한 필요성이 점차 증가하고 있다[8]. 최근 반려인들은 단순히 영양 공급을 넘어, 기능성, 지속가능성 및 윤리성 등을 고려한 사료 선택을 중시하는 경향을 보이고 있으며[9], 이러한 변화 속에서 곤충과 해조류는 높은 지속·가능성과 우수한 영양학적 기능성을 갖춘 대체 단백질원으로 주목받고 있다[10].

곤충은 동일 단백질 생산량 대비 기존 산업동물보다 1/10 이하의 온실가스를 배출하고, 물과 사료 자원 소모 또한 매우 적어 환경적 이점이 크다[2]. 특히 동애등에(black soldier fly larvae, BSFL)와 밀웜(mealworm)은 필수 아미노산 함량이 높고, 소화율 및 단백질 이용률이 우수하여 성장기 반려동물 단백질 공급원으로 활용이 가능하다[4]. 한편 스피루리나(Spirulina), 다시마(kombu) 및 미역(wakame) 등 해조류는 미네랄, 비타민 및 항산화 물질을 풍부하여, 반려동물 사료로 활용할 경우 피부 건강, 면역 기능 및 항산화 작용 등 다양한 생리적 기능 개선을 도울 수 있는 기능성 성분을 제공할 수 있다[5].

그러나 곤충 및 해조류를 실제 반려동물 사료에 적용하기 위해서는 안전성, 기호성, 가공성 및 소비자 반응 등 다양한 측면에서의 과학적 검증이 필요하다. 이에 본 총설은 곤충 및 해조류 기반 단백질원의 반려동물 사료 적용 가능성과 한계를 평가하여, 대체 단백질원으로서의 활용 가능성을 제시하고자 한다.

반려동물 단백질원으로서 곤충의 적용

BSFL, 밀웜 및 귀뚜라미(cricket) 등은 반려동물 사료에서 주요 곤충 단백질원으로 언급되며, 원료별 차이는 있으나 건물(dry matter, DM) 기준 조단백질(crude protein, CP) 함량은 일반적으로 40%~60% 수준을 보인다(Table 1). 곤충 단백질은 라이신, 트레오닌 및 발린 등 필수 아미노산 구성이 비교적 균형적이며, 일부 연구에서는 메티오닌과 라이신 조성이 대두 단백질 및 육류 단백질과 유사한 것으로 보고되었다[11]. 특히 밀웜은 라이신과 메티오닌 함량이 상대적으로 높아 성장기 반려동물의 단백질 공급원으로 활용 가능하지만[12], 귀뚜라미는 메티오닌 함량 낮아 사료 제조 시 보충이 필요하다[13].

곤충의 DM 기준 조지방(ether extract, EE) 함량은 일반적으로 15%~35% 수준이며(Table 1), BSFL의 경우 라우르산 등 중쇄 지방산이 풍부하여 향균 효과와 에너지원으로 활용할 수 있다[14]. 한편, 곤충 외골격의 키틴(chitin)은 식이 섬유질의 역할을 할 수 있으나, 다량 섭취 시 소화율을 감소시키고, 일부 개체에서는 알레르기 반응이 보고된 바 있다[11].

반려동물에서 곤충 CP의 소화율은 80% 이상으로 보고되며[4], BSFL은 계란 및 닭고기와 비교 시 필수 아미노산 소화율이 75% 이상으로 나타났고, 아르기닌 소화율은 계란 분말과 유사하였다[15]. 반려묘를 대상으로 한 연구에서도 곤충을 대체 단백질원으로 급여했을 때 CP, EE 및 유기물 소화율이 육류 및 대두 단백질 공급원과 유사한 수준을 보였다[16]. 성장기 동물을 대상으로 한 연구에서도 BSFL 및 밀웜 급여 그룹은 육류 및 대두 단백질 급여 그룹과 비교하여 체중 증가, 근육량 형성 및 골격 발달 등 성장 지표에서 유사한 결과를 나타내었다[17].

다만 일부 연구에서는 귀뚜라미 단백질의 경우, 키틴 함량이 높아 소화율이 감소될 수 있으며, 개체에 따라 소화율이 낮아질 가능성도 있는 것으로 보고되었다[18]. 그럼에도 불구하고 곤충 단백질 급여는 장내 미생물 다양성 개선, 항균 및 항염 효과 등 기능적 측면도 보고되었다[19]. 또한 음식물 쓰레기 업사이클링을 통한 자원 활용, 빠른 성장 속도 및 낮은 사육 자원 소모로 생산 효율이 높으며, 온실가스 배출 감소 등의 환경적 측면에서의 효과도 보고되었다[20].

기호성 측면에서, 곤충 단백질은 반려견에게 대체로 긍정적인 반응을 보였으나, 반려묘에서는 일부 기호성 저하가 보고되었다[17]. BSF를 닭고기 기반 단백질원에 대체하면 CP함량은 증가하고 EE 함량은 감소하는 것으로 나타났으며[21], 총 폴리페놀 함량과 DPPH 라디칼 소거능 등의 항산화 활성 또한 향상되었다[22].

기존 단백질을 BSFL로 대체한 경우, 반려견과 반려묘 모두 소화율, 단백질 대사 및 기호성에서 차이가 없었다[23-25]. 반려견을 대상으로 한 연구에서는 기존 단백질을 BSF로 대체하여 급여했을 때 소화율과 단백질 대사에 차이가 없는 것으로 나타났고[23], 귀뚜라미 및 누에를 급여한 연구에서도 사료섭취량, 소화율 및 혈액 생화학적 지표에서 차이가 보고되지 않았다[24].

Table 1. Nutritional compositions of selected insect species for companion animal diets

| Insect species | Protein (%) | Amino acid | Lipid (%) | Digestibility (%) | References |
|--------------------------|-------------|--|-----------|-------------------|------------|
| Black soldier fly larvae | 42-48 | Rich in lysine and threonine; moderate methionine | 25-35 | 82-90 | [11,17] |
| Mealworm | 50-55 | Balanced lysine and methionine; similar to soybean or meat protein | 15-25 | 80-88 | [8,12] |
| Cricket | 60 | Adequate lysine; relatively low methionine | 15-20 | 76-85 | [4,8] |
| Supernorm | 47-50 | Balanced essential amino acids; slightly low methionine | 18-25 | 78-86 | [12,18] |
| Grasshopper | 55 | Balanced lysine and threonine; moderate methionine | 15-22 | 80-85 | [47] |

또한 반려묘를 대상으로 한 연구에서도 BSFL 급여가 기호성과 소화율에 부정적 영향을 미치지 않았으며[25], 영양학적 안전성 측면에서도 긍정적인 결과가 확인되었다.

따라서, 곤충은 반려동물 사료 원료로서 높은 CP 및 EE 함량, 균형 잡힌 아미노산 구성, 우수한 소화율 및 기능성 잠재력 등 다양한 장점을 지닌다. 또한 유기 폐기물 자원화, 빠른 성장 속도 및 낮은 사육 자원 소모 등을 통해 효율적인 생산이 가능하며, 환경적으로 지속가능성 측면에서도 유리하다[20]. 다만 키틴 함량, 알레르기 가능성, 제한 아미노산 보완 필요성 등은 상용화 과정에서의 고려해야 할 요인이다.

반려동물용 사료첨가제로서 해조류의 적용

반려동물 사료로 활용가능한 해조류로는 녹조류(*green algae*)인 스피루리나와 클로렐라(*chlorella*), 갈조류(*brown algae*)인 다시마, 미역 및 노도섬(*ascophyllum nodosum*), 그리고 홍조류(*red algae*)인 김(*Pyropia*)과 홍조 다당류 등이 있다(Table 2). 스피루리나는 DM 기준 CP 함량이 60%~70%에 달하며, 다가 불포화 지방산(*polyunsaturated fatty acid*, PUFA), 식이 섬유, 엽록소, β -카로틴 및 C-피코시아닌(*C-phycoerythrin*) 함량이 높고, 라이신, 트레오닌 및 발린 등 필수 아미노산 조성도 우수하다[26]. 클로렐라도 50%~60%의 높은 CP 함량을 보이지만[27], 대부분의 해조류는 DM 기준 CP 함량이 10%~30%로 낮고 필수 아미노산 조성이 불균형하여, 반려동물 단백질원으로 활용할 경우 배합 과정에서 아미노산 보완이 필요하다[28].

해조류의 DM 기준 EE 함량은 1%~7%로 낮은 편이나, PUFA 함량이 높으며 특히 γ -리놀렌산(*gamma-linolenic acid*, GLA) 등 기능성 지방산은 면역 조절 및 항염 효과를 가진다. 또한 알긴산(*alginate*) 및 후코이단(*fucoidan*)과 같은 기능성 다당류와 페놀류, 카로티노이드 및 폴리페놀 등 항산화·항염 화합물이 풍부하여 면역 기능 향상 및 요오드, 칼슘 및 철 등 무기질 함량 또한 높다[29].

반려견 사료에서 해조류를 첨가하여 급여하면 소화율 저하 없이 장내 미생물 다양성 개선과 배설물 지표의 긍정적 변화가 보고된 바 있다[29,30]. 또한 반려견에 스피루리나를 급여했을 때 체중 변화 없이 체지방이 유지되었으며, PUFA와 항산화 성분의 영향으로 면역 조절 및 피부모질 개선 효과가 보고되었다[29]. 기호성 측면에서는 스피루리나, 클로렐라 및 다시마 첨가 사료에서 양호한 기호성이 보고되었으나, 노도섬은 다른 해조류 대비 기호성이 낮고, 첨가량 증가 시 기호성이 감소하는 경향이 있었다[30].

따라서, 해조류는 탄소, 물 및 토지 효율 측면에서 환경적 지속가능성을 가진 해양 자원으로 평가된다. 반려동물 단백질원으로 활용은 제한적이나, 항산화, 면역 강화, 장내 미생물 개선, 피부·모질·치아 건강 향상 및 체중 관리 등 다양한 기능성을 제공하므로, 주 단백질원보다는 기능성 첨가제로서 활용 가치가 높다.

Table 2. Nutritional compositions and Functional components of selected seaweed species for companion animal diets

| Seaweed species | Protein (%) | Lipid (%) | Amino acids | Functional components | References |
|-----------------|-------------|-----------|---|--|------------|
| Spirulina | 60-70 | 5-7 | Balanced essential amino acids | Chlorophyll, β -carotene, C-phycoerythrin, polyphenols | [5,8] |
| Chlorella | 55-66 | 5-7 | Balanced lysine, threonine, valine; slightly low methionine | Chlorophyll, vitamin B12, iron, polyphenols | [5,27] |
| Nodosum | 7-10 | 1-2 | Low essential amino acids | Alginate, fucoidan, iodine | [45] |
| Kelp | 1.8-5.0 | 1-3 | Low essential amino acids | Alginate, fucoidan, iodine | [28] |
| Sea mustard | 3-5 | 1-2 | Low essential amino acids | Alginate, fucoidan, iodine | [28] |

반려동물 사료원 적용을 위한 평가

곤충과 해조류는 반려동물 사료에서 기존 단백질원을 대체할 수 있는 자원으로 주목받고 있으나, 실제 적용을 위해서는 안전성, 소화율, 기호성 및 알레르기 유발성 등 다양한 요소에 대한 과학적인 검토가 필요하다.

곤충 단백질은 반려동물에서 흔히 발생하는 식이 알레르기 문제 완화할 수 있는 새로운 단백질원으로 기대되지만, 동시에 잠재적인 알레르기 위험성도 존재한다. 식이 알레르기를 보인 반려견에게 BSFL 단백질이 포함된 건사료를 급여한 연구에서는 임상 증상이 개선된 사례가 보고되었으며[31], 이는 곤충 단백질이 기존 동물성 단백질을 대체한 저 알레르기 사료로 활용될 수 있다. 그러나 곤충은 갑각류와 유사한 알레르겐 구조를 가지고 있어, 실제 알레르기 위험이 존재하며[32], 반려견을 대상으로 한 연구에서도 곤충 단백질 급여 시 알레르기 가능성에 대한 추가적인 검토가 필요하다는 점이 강조되었다[24]. 이러한 잠재적 위험성은 곤충 단백질의 정제 과정, 사육 환경 및 교차 오염 가능성 등 다양한 요인에 의해 영향을 받을 수 있으므로, 알레르겐 관리와 품질 표준화가 중요하다. 곤충 단백질은 식이 알레르기 예방 및 저알레르기 사료 개발 측면에서 높은 활용 가치가 있는 동시에[33], 이러한 위험성을 완전히 배제할 수는 없다.

곤충과 해조류는 기존 동물성 단백질원에 비해 토지와 물의 요구량이 낮아 환경적 지속가능성을 향상시키는 자원으로 평가된다[34,35]. 특히 BSFL은 전통적인 산업동물 생산 시스템과 비교했을 때 온실가스 배출량, 물 및 토지 사용량 등이 낮아 지속가능한 단백질 공급원으로서 높은 잠재력을 지닌다[2]. 또한, BSFL을 포함한 곤충류는 음식물 쓰레기 등 유기성 폐기물을 사료로 활용하여 고품질 단백질로 전환할 수 있어, 순환 경제(circular economy) 모델의 대표적인 사례로 평가된다[36]. 이러한 순환 자원 특성은 사료 생산 과정에서 발생하는 탄소 배출을 줄일 수 있으며[33], 운송 및 유통 단계에서도 상대적으로 낮은 탄소 배출량을 보여 추가적인 환경적 장점을 제공한다[37].

해조류 역시 토지와 물 자원을 거의 필요로 하지 않은 친화적 생산이 가능하며[35], 일부 종은 DM 기준 최대 70%에 달하는 높은 CP 함량으로 우수한 단백질 공급원이다[8]. 이처럼 곤충 및 해조류 단백질을 포함한 다양한 대체 단백질원에 대한 연구 및 제품 개발이 증가하는 추세는 반려동물 사료 산업이 지속가능한 미래를 향해 전환하고 있음을 보여주는 지표이다[38].

곤충 및 해조류를 현재 가장 널리 활용되는 육류 및 식물성 단백질원과 비교했을 때, 고유한 기능적·환경적 가치를 지닌 대체 단백질원으로 평가된다[39]. 곤충은 라우르산과 같은 중쇄 지방산을 함유하고 있어 유해 세균 증식을 억제하고 장내 미생물 균형을 개선하는 등 항균 및 항염 효과를 나타내는 것으로 보고되고 있다[40]. 다만 일부 곤충 종에서 고함량으로 존재하는 키틴은 단백질 소화율을 저하시킬 수 있으며, 드물게 알레르기 반응을 유발할 가능성이 있어 안전성 측면에서의 고려가 필요하다[41]. 그럼에도 불구하고 이러한 특성을 종합적으로 고려할 때 곤충 및 해조류는 육류 및 식물성 단백질과 비교했을 때 뚜렷한 영양학적, 기능적 및 환경적 강점을 지닌다[42].

영양학적 측면에서 육류 단백질은 기호성과 소화율이 우수한 장점을 지니지만, 반려동물 식이 알레르기의 약 70% 이상을 유발하는 주요 원인으로 보고되고 있다[5]. 이에 반해 곤충 단백질은 육류와 유사한 필수 아미노산 조성을 유지하면서도[11,39], 알레르기 발생 위험을 현저히 낮출 수 있는 저알레르기성 단백질원 공급원으로 활용할 수 있다[4,30]. 또한 대두 등의 식물성 단백질은 메티오닌과 라이신 함량이 상대적으로 낮아 아미노산 불균형을 초래할 수 있는 반면[7], 곤충 단백질은 이러한 한계를 보완할 수 있는 고품질의 완전 단백질원으로서 성장기 반려동물의 영양 요구를 충족시키는 경쟁력을 지닌다[15,39].

기능적 측면에서 해조류의 CP 함량은 종류에 따라 약 10%-30% 수준으로, 육류나 대두에 비해 상대적으로 낮아 주 단백질원으로 활용하기에는 한계가 있다[28]. 그러나 해조류는 기존 원료에서 결핍되기 쉬운 PUFA, 폴리페놀 및 후코이단 등을 풍부하게 함유하고 있어[29,43], 면역 기능 강화 및 장내 환경 개선을 지원하는 기능성 사료첨가제로서 차별화된 가치를 지닌다[42,44].

환경적 측면에서 전통적인 축산물 생산은 광범위한 토지와 수자원을 필요로 하며, 전체 온실가스 배출량의 상당 부분을 차지한다[2,34]. 이에 비해 곤충과 해조류는 사육 및 재배 과정에서 자원 소모량을 기존 대비 1/10 이하로 감소시킬 수 있는 자원이다[13,35]. 특히 곤충은 유기성 폐기물을 고품질 단백질로 전환할 수 있는 순환경제적 가치를 지니며[10], 해조류는 생육 과정에서 이산화탄소를 능동적으로 흡수하여 기후변화에 대응한다는 점에서 기존 단백질 공급 체계의 환경적 한계를 극복할 수 있는 최적의 대안으로 평가된다[45].

대체 단백질원의 경제성은 초기 투자 부담과 기술적 한계를 극복할 경우 높은 성장 잠재력을 가진다. 특히 곤충 사육은 유기성 폐기물을 사료로 활용하는 순환경제 기반 생산 방식으로, 환경적 장점과 경제적 효율성을 동시에 확보하여 생산 비용을 절감을 통한 경제성을 높인다[37]. 이러한 특성은 곤충이 단순히 단백질 공급원을 넘어, 반려동물 사료에서의 활용 가치를 한층 높이는 요인으로 작용한다[36].

한국 반려동물 사료 시장은 지속적인 성장세를 보이고 있으며[1], 특히 반려묘 사료 생산 비중은 2016년 22.2%에서 2022년 45.2%로 두 배 이상 증가하는 등 시장 구조가 빠르게 변화하고 있다[39]. 이러한 산업 구조의 재편과 지속가능성을 중시하는 시장 흐름은 대체 단백질원에 대한 수요 확대를 더욱 촉진하고 있다[8]. 그러나, 대체 단백질의 상용화를 위해서는 반려동물을 대상으로 한 곤충 및 해조류의 단백질의 안전성 및 기능성 연구가 더욱 촉진되어야 하며, 이를 기반으로 대량 생산에 적합한 비용 효율적인 기술 개발이 필수적이다.

결론

본 총설에서는 반려동물의 대체 단백질원으로서 곤충과 해조류의 활용 가능성을 검토하였다. 두 단백질원은 기존 육류·곡류 기반 반려동물 사료의 한계를 일부 보완함과 동시에 영양적 요구와 환경적 지속가능성을 충족시킬 수 있는 잠재력 대안으로 평가된다. 곤충은 DM 기준 40%-60%의 높은 CP 함량과 균형 잡힌 필수 아미노산 구성을 갖추어 반려동물의 성장기 CP 요구량을 충분히 충족시킬 수 있으며[15], 라우르산과 같은 중쇄 지방산은 항균·항염 효과가 있으며[40], 장내 미생물 균형 개선 등이 보고되었다[4].

해조류는 풍부한 미네랄과 항산화 성분을 풍부하게 함유하여 면역 조절, 피부와 모질 개선 및 체중 관리 등 다양한 기능적 효과가 있고[42], PUFA 및 GLA는 염증 완화 및 항산화 작용을 나타내며[43], 알긴산과 후코이단 등 해조류 유래 다당류는 장내 미생물 환경을 개선하는 것으로 보고된다[44]. 하지만, 해조류는 종 및 생육환경에 따라 영양 성분 편차가 크고, 중금속 축적 가능성 등 안전성 문제가 존재하므로[1], 반려동물 사료 원료로 적용하기 위해서는 추가적인 안전성 검증이 필요하다[46].

고찰

본 총설에서는 곤충과 해조류는 특성을 기반으로 반려동물 사료에서의 단백질 대체원으로 활용·가능성을 평가하였다. 두 자원은 영양적 가치와 환경적 지속가능성 측면에서 기존 동물성

단백질이 가진 한계를 보완할 수 있는 후보군으로 판단된다. 곤충 단백질은 높은 CP 함량과 균형 잡힌 필수 아미노산 구성을 갖추어 주된 단백질 공급원으로서 기능을 수행할 수 있으며, 특히 BSFL과 밀웜은 성장기 반려동물의 필수 아미노산 요구를 충분히 충족시킬 수 있다. 반면, 해조류는 항산화 물질, 다당류 및 미네랄 등 다양한 기능성 성분을 함유하고 있어 반려동물용 사료첨가제 형태로 활용될 경우 곤충 단백질과의 병행 적용을 통해 단백질 공급과 면역력 향상, 피부·모질 건강 개선 및 장내 미생물 균형 등 기능적 효과를 동시에 강화할 수 있다. 따라서, 곤충과 해조류의 병행 활용은 반려동물의 단백질 공급과 기능성 보강을 동시에 충족시켜 향후 반려동물 사료 개발에 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

REFERENCES

1. KB Financial Group Research Institute. 2025 Korean pet report [Internet]. KB Financial Group. 2025 [cited 2025 Sep 15]. <https://www.kbfg.com/kbresearch/report/reportView.do?reportId=2000531>
2. van Huis A, Oonincx DGAB. The environmental sustainability of insects as food and feed. A review. *Agron Sustain Dev*. 2017;37:43. <https://doi.org/10.1007/s13593-017-0452-8>
3. Volpato JA, Ribeiro LB, Torezan GB, da Silva IC, Martins IO, Genova JL, et al. Characterization of the variations in the industrial processing and nutritional variables of poultry by-product meal. *Poult Sci*. 2022;101:101926. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2022.101926>
4. Valdés F, Villanueva V, Durán E, Campos F, Avendaño C, Sánchez M, et al. Insects as feed for companion and exotic pets: a current trend. *Animals*. 2022;12:1450. <https://doi.org/10.3390/ani12111450>
5. Stefanutti D, Tonin G, Morelli G, Zampieri RM, La Rocca N, Ricci R. Oral palatability and owners' perception of the effect of increasing amounts of spirulina (*Arthrospira platensis*) in the diet of a cohort of healthy dogs and cats. *Animals*. 2023;13:1275. <https://doi.org/10.3390/ani13081275>
6. Shannon L, Waller L. A cursory look at the fishmeal/oil industry from an ecosystem perspective. *Front Ecol Evol*. 2021;9:645023. <https://doi.org/10.3389/fevo.2021.645023>
7. Qin P, Wang T, Luo Y. A review on plant-based proteins from soybean: health benefits and soy product development. *J Agric Food Res*. 2022;7:100265. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2021.100265>
8. Klinmalai P, Kamonpatana P, Thongpech A, Sodsai J, Promhuad K, Srisa A, et al. Comprehensive review of alternative proteins in pet food: research publications, patents, and product trends in plant, aquatic, insect, and cell-based sources. *Foods*. 2025;14:2640. <https://doi.org/10.3390/foods14152640>
9. Siddiqui SA, Bahmid NA, Mahmud CMM, Boukid F, Lamri M, Gagaoua M. Consumer acceptability of plant-, seaweed-, and insect-based foods as alternatives to meat: a critical compilation of a decade of research. *Crit Rev Food Sci Nutr*. 2023;63:6630-51. <https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2036096>
10. Oonincx DGAB, de Boer IJM. Environmental impact of the production of mealworms as a protein source for humans: a life cycle assessment. *PLOS ONE*. 2012;7:e51145. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0051145>
11. Bosch G, Zhang S, Oonincx DGAB, Hendriks WH. Protein quality of insects as potential ingredients for dog and cat foods. *J Nutr Sci*. 2014;3:e29. <https://doi.org/10.1017/jns.2014.23>

12. Smola MA, Oba PM, Utterback PL, Sánchez-Sánchez L, Parsons CM, Swanson KS. Amino acid digestibility and protein quality of mealworm-based ingredients using the precision-fed cecectomized rooster assay. *J Anim Sci.* 2023;101:skad012. <https://doi.org/10.1093/jas/skad012>
13. Kępińska-Pacelik J, Biel W. Insects in pet food industry—hope or threat? *Animals.* 2022;12:1515. <https://doi.org/10.3390/ani12121515>
14. Schneider L, Kisinga B, Stöhr N, Stiem T, Cord-Landwehr S, Schulte-Geldermann E, et al. Performance and nutrient composition of black soldier fly larvae fed diets with various protein concentrations throughout the life cycle. *Animal.* 2025;19:101637. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2025.101637>
15. Miotto JC, Utterback PL, Parsons CM, Madison SD, Adolphe JL, de Godoy MRC. Evaluation of nutritional values of defatted black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal using the precision-fed cecectomized rooster assay. *J Anim Sci.* 2025;103:skaf082. <https://doi.org/10.1093/jas/skaf082>
16. Reilly LM, Hu Y, von Schaumburg PC, de Oliveira MRD, He F, Rodriguez-Zas SL, et al. Chemical composition of selected insect meals and their effect on apparent total tract digestibility, fecal metabolites, and microbiota of adult cats fed insect-based retorted diets. *J Anim Sci.* 2022;100:skac024. <https://doi.org/10.1093/jas/skac024>
17. Bosch G, Swanson KS. Effect of using insects as feed on animals: pet dogs and cats. *J Insects Food Feed.* 2021;7:795-805. <https://doi.org/10.3920/JIFF2020.0084>
18. Bosch G, Vervoort JJM, Hendriks WH. In vitro digestibility and fermentability of selected insects for dog foods. *Anim Feed Sci Technol.* 2016;221:174-84. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2016.08.018>
19. Stull VJ, Finer E, Bergmans RS, Febvre HP, Longhurst C, Manter DK, et al. Impact of edible cricket consumption on gut microbiota in healthy adults. *Sci Rep.* 2018;8:10762. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-29032-2>
20. Lisboa HM, Nascimento A, Arruda A, Sarinho A, Lima J, Batista L, et al. Unlocking the potential of insect-based proteins: sustainable solutions for global food security and nutrition. *Foods.* 2024;13:1846. <https://doi.org/10.3390/foods13121846>
21. Lim Y, Kim C, Jang S, An Y, Park Y, Lee S, et al. Physicochemical characteristics of processed chicken products containing black soldier fly larvae powder for pet dogs. *Korean J Poult Sci.* 2024;51:39-45. <https://doi.org/10.5536/KJPS.2024.51.2.39>
22. Kang HS, Boo JH, Nam JH, Hyun JY, Chun JY. Physicochemical properties and antioxidant activity of emulsified chicken breast sausages containing powdered larvae of the snails. *Food Eng Prog.* 2022;26:156-67. <https://doi.org/10.13050/foodengprog.2022.26.3.156>
23. Jian S, Zhang L, Ding N, Yang K, Xin Z, Hu M, et al. Effects of black soldier fly larvae as protein or fat sources on apparent nutrient digestibility, fecal microbiota, and metabolic profiles in beagle dogs. *Front Microbiol.* 2022;13:1044986. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.1044986>
24. Areerat S, Chundang P, Lekcharoensuk C, Kovitvadhi A. Possibility of using house cricket (*Acheta domesticus*) or mulberry silkworm (*Bombyx mori*) pupae meal to replace poultry meal in canine diets based on health and nutrient digestibility. *Animals.* 2021;11:2680. <https://doi.org/10.3390/ani11092680>
25. Do S, Koutsos EA, McComb A, Phungviwatnikul T, de Godoy MRC, Swanson KS. Palatability and apparent total tract macronutrient digestibility of retorted black soldier fly larvae-containing diets and their effects on the fecal characteristics of cats consuming them.

- J Anim Sci. 2022;100:1-8. <https://doi.org/10.1093/jas/skac068>
26. Stefanutti D, Tonin G, Morelli G, Margherita Zampieri R, La Rocca N, Ricci R. Oral palatability and owners' perception of the effect of increasing amounts of *Spirulina* (*Arthrospira platensis*) in the diet of a cohort of healthy dogs and cats. *Animals*. 2023;13:1275. <https://doi.org/10.3390/ani13081275>
 27. Bito T, Okumura E, Fujishima M, Watanabe F. Potential of *Chlorella* as a dietary supplement to promote human health. *Nutrients*. 2020;12:2524. <https://doi.org/10.3390/nu12092524>
 28. MaliaFrey MA. Wakame nutrition facts and health benefits [Internet]. Verywellfit. 2021 [cited 2025 Sep 15]. <https://www.verywellfit.com/wakame-nutrition-facts-calories-carbs-and-health-benefits-4772400>
 29. Mota CSC, Cabrita ARJ, Yergaliyev T, Camarinha-Silva A, Almeida A, Abreu H, et al. Macroalgae and microalga blend in dogs' food: effects on palatability, digestibility, and fecal metabolites and microbiota. *Algal Res*. 2024;84:103775. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2024.103775>
 30. Isidori M, Rueca F, Trabalza-Marinucci M. Palatability of extruded dog diets supplemented with *Ascophyllum nodosum* L. *J Appl Phycol*. 2019;31:3275-81. <https://doi.org/10.1007/s10811-019-01799-5>
 31. Cesar CGL, Marchi PH, Amaral AR, Príncipe LA, do Carmo AA, Zafalon RVA, et al. An assessment of the impact of insect meal in dry food on a dog with a food allergy: a case report. *Animals*. 2024;14:2859. <https://doi.org/10.3390/ani14192859>
 32. de Gier S, Verhoeckx K. Insect (food) allergy and allergens. *Mol Immun*. 2018;100:82-106. <https://doi.org/10.1016/j.molimm.2018.03.015>
 33. Park K. Insect, potential source of animal feed. *Food Sci Ind*. 2022;55:176-87.
 34. Kongi Mosibo O, Ferrentino G, Udenigwe CC. Microalgae proteins as sustainable ingredients in novel foods: recent developments and challenges. *Foods*. 2024;13:733. <https://doi.org/10.3390/foods13050733>
 35. Wu S, Menut P, Miao S, Turchiuli C. Algae protein creates sustainable alternatives for various food matrices: from function to nutrition. *Compr Rev Food Sci Food Saf*. 2025;24:e70264. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.70264>
 36. Jucker C, Lupi D, Douglas Moore C, Giovanna Leonardi M, Savoldelli S. Nutrient recapture from insect farm waste: bioconversion with *Hermetia illucens* (L.) (Diptera: Stratiomyidae). *Sustainability*. 2020;12:362. <https://doi.org/10.3390/su12010362>
 37. Mosibo OK, Ferrentino G, Udenigwe CC. Microalgae proteins as sustainable ingredients in novel foods. *Foods*. 2024;13:733. <https://doi.org/10.3390/foods13050733>
 38. Korea Consumer Agency. Survey on the distribution and labeling of pet food [Internet]. Korea Consumer Agency. 2021 [cited 2025 Sep 15]. <https://share.google/Eyub4d9Blps3crHwL>
 39. van Huis A, Van Itterbeeck J, Klunder H, Mertens E, Halloran A, Muir G, et al. Edible insects: future prospects for food and feed security [Internet]. FAO. 2021 [cited 2025 Sep 15]. <https://share.google/Aura0uodbAtaHwPW0>
 40. Borrelli L, Varriale L, Dipineto L, Pace A, Menna LF, Fioretti A. Insect derived lauric acid as promising alternative strategy to antibiotics in the antimicrobial resistance scenario. *Front Microbiol*. 2021;12:620798. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.620798>
 41. Becker W. Microalgae in human and animal nutrition. In: Richmond A, editor. *Handbook of microalgal culture: biotechnology and applied phycology*. Oxford; Blackwell;2003. p. 312-51.

42. Wells ML, Potin P, Craigie JS, Raven JA, Merchant SS, Helliwell KE, et al. Algae as nutritional and functional food sources: revisiting our understanding. *J Appl Phycol.* 2017;29:949-82. <https://doi.org/10.1007/s10811-016-0974-5>
43. Kim DH, Yoo TH, Lee SH, Kang HY, Nam BY, Kwak SJ, et al. Gamma linolenic acid exerts anti-inflammatory and anti-fibrotic effects in diabetic nephropathy. *Yonsei Med J.* 2012;53:1165-75. <https://doi.org/10.3349/ymj.2012.53.6.1165>
44. Shannon E, Conlon M, Hayes M. Seaweed components as potential modulators of the gut microbiota. *Mar Drugs.* 2021;19:358. <https://doi.org/10.3390/md19070358>
45. Ross FWR, Boyd PW, Filbee-Dexter K, Watanabe K, Ortega A, Krause-Jensen D, et al. Potential role of seaweeds in climate change mitigation. *Sci Total Environ.* 2023;885:163699. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163699>
46. Clarkson C, Miroso M, Birch J. Potential of extracted *Locusta migratoria* protein fractions as value-added ingredients. *Insects.* 2018;9:20. <https://doi.org/10.3390/insects9010020>