

대체식품으로서 식용곤충의 기능성 소재 신기술 개발

Development of New Technology for Functional Materials for Edible Insects as Alternative Food

김태경, 용해인, 이재훈, 차지윤, 강민철, 정사무엘¹, 최윤상*

(Tae-Kyung Kim, Hae In Yong, Jae Hoon Lee, Ji-Yoon Cha, Min-Cheol Kang, Samooel Jung¹, Yun-Sang Choi*)

한국식품연구원 가공공정연구단, ¹충남대학교 동물자원학과

Research Group of Food Processing, Korea Food Research Institute

¹Division of Animal and Dairy Science, Chungnam National University

I. 서론

식품 소비 패턴 및 인구 구조의 급격한 변화에 따른 미래 시장수요를 충족시킬 수 있는 식품산업에 대한 고민이 필요한 시점에 도달하였다. 특히 선진국에서는 동물성 단백질을 대체하려는 사회적 관심을 바탕으로 대체식품 시장이 빠르게 성장하고 있는 추세이다. 대체식품 시장의 빠른 성장세는 세계인구의 급격한 증가, 먹거리 안전성과 건강, 가축 질병의 유래(구제역, 아프리카돼지열병, 조류인플루엔자) 등의 문제점과 자원 · 환경의 지속가능성과 동물복지, 생명윤리 등에 대한 소비자의 관심이 확대된 결과로 보인다. 2025년에는 대체식품의 시장규모가 178억 5,860만 달러에 이를 것으로 전망하고 있으며, 국내에서도 지속적인 성장세가 뚜렷하다. 단백질 대체식품 분야는 미래산업으로 다양한 이슈들이 존재하고, 정부에서도 신산업으로 규정하고 있다. 육성정책으로 연구개발, 투자, 제품생산, 마케팅, 규제완화 문제 등의 이슈들을 선점하여 산업발전을 위한 환경을 구축하기 위하여 준비하고 있다.

대체식품의 정의는 동물성 단백질을 대체한 식품으로 식물성 단백질 기반 제품, 곤충단백질 기반 제품, 배양육 등이 대표적이다. 식물성 단백질 기반 제품들은 식물에서 추출한 단백질을 활용하여 식육제품인 햄버거 패티나 햄, 소시지 제품과 유사한 형태와 맛이 구현되도록 가공한 식품이며, 다른 대체 단백질 식품보다는 소비자의 기피가 덜 하며 산업적으로 진보되어 있다고 볼 수 있다. 곤충 단백질 대체식품은 식용곤충에서 추출한 단백질을 이용한 식품으로, 소비자들의 외형에 대한 기피로 인하여 주로 분말화하여 제품에 부가하고 있다. 배양육은 살아 있는 동물세포에서 세포를

*Corresponding author: Yun-Sang Choi

Research Group of Food Processing, Korea Food Research Institute, 245, Nongsaengmyeong-ro, Wanju 55365, Korea

Tel: +82-63-219-9387

Fax: +82-63-219-9076

Email: kcys0517@kfri.re.kr

취득하고 영양을 공급하여 식용의 고기로 키워내는 기술을 활용하는 것으로, 현재까지 상용화된 기술은 아니며 조금 더 진보가 필요한 기술이라고 할 수 있다. 국내에서도 최근 4차 산업혁명 시대를 맞이하여 미래 먹거리인 대체식품에 대한 관심이 증가하는 추세로 다양한 연구들을 진행하고 있다. 이러한 시대적 트렌드는 축산업이 자원과 환경에 미치는 영향을 고려하여 가축 사육방식에 대한 재고가 필요한 시점에 도달한 것으로 보인다.

식용곤충은 2019년 7월 축산법 시행규칙 “가축으로 정하는 기타 동물”을 개정하여 가축에 범주로 들어왔으며, 축산업의 범위 내에서 지원을 받을 수 있게 되었다(표 1). 산업규모도 국내 곤충산업 시장은 5,373억 원에 이르며, 세계시장규모는 38조 원에 이른다고 보고되었다. 이처럼 곤충은 영양학적으로 우수한 구성성분을 보유하고 있으며, 저비용으로 사육할 수 있다는 측면에서 작은 가축이라 불리면서 새로운 도약을 준비하고 있다. 선진국들은 이미 곤충 생산 공장을 준공하여 곤충의 식용화를 위하여 다양한 준비에 들어갔으며, 그 중심에 단백질 열풍이 불고 있다는 점에서 식용곤충 산업을 블루오션으로 규정하고, 기능성 소재화 산업을 활성화시키는 데 주력하고 있다. 또한 코로나 바이러스 감염증(COVID-19) 등의 상황으로 건강과 면역의 중요성이 인식되고 있어, 식용곤충 단백질의 소재화 기술 개발은 꾸준히 지속될 것으로 판단된다.

그러므로 본문에서는 식용곤충 기능성에 대하여 다양한 토론을 통하여 식용곤충의 기능성 소재화를 위한 다양한 산업에 대한 의견을 제시하고, 신성장 동력으로 전통적인 축산식품과의 공존에 대하여 논의하고자 한다.

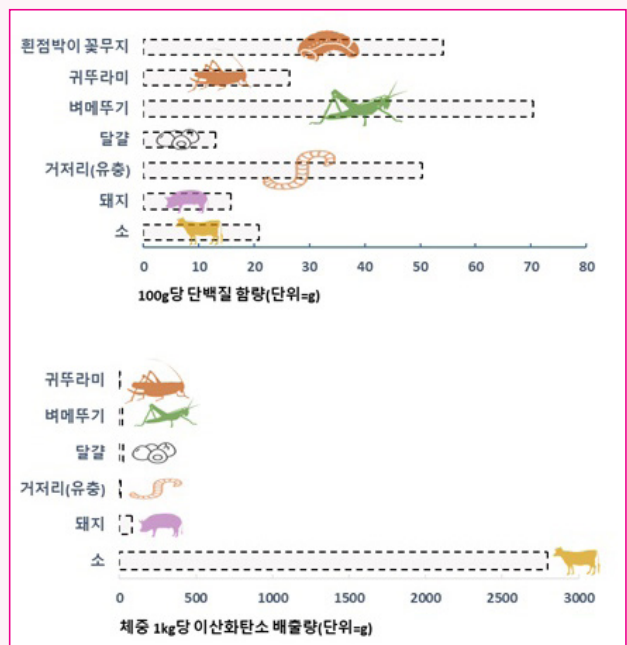
II. 본론

1. 대체식품의 정의와 식용곤충 시장 현황

급격한 인구증가로 인해 식량자원의 수요는 점차 증가하고 있는 추세이다. 2050년 약 90억 명 이상으로 증가할 것으로 예측되며, 이로 인한 식량의 생산량은 2배

이상 증가해야 할 것으로 예측되고 있다. 그러나 기존의 축산물의 생산량을 늘릴 경우, 농업지, 농업용수 등의 한정된 자원과 과도한 메탄, 이산화탄소, 암모니아, 농업폐수 배출 등으로 인한 환경오염으로 인해 안정적인 식량 수급에 문제점이 발생할 수 있다(그림 1 및 2). 따라서 전통적인 축산물의 수요를 대체할 수 있는 새로운 대체식품에 대한 연구 필요성이 증대되고 있다. 대체식품의 일반적인 정의로는 동물성 단백질을 대체한 식품을 의미하며, 이를 대체하기 위하여 식물성 단백질, 식용곤

그림 1. 축산물 100g당 단백질 함량 및 체중 1kg 당 이산화탄소 배출량



(출처 : 농촌진흥청, 농림축산식품부)

그림 2. 성인 표준체중 1일 단백질 권장섭취량 생산을 위한 사료의 양



표 1. 가족으로 정하는 기타 동물 (농림축산식품부고시 제2019-36호, 2019.07.25., 일부 개정)

분류	종	학명	외관
식용	갈색거저리 유충	<i>Tenebrio molitor</i>	
	장수풍뎅이 유충	<i>Allomyrina dichotoma</i>	
	흰점박이꽃무지 유충	<i>Protaetia brevitarsis</i>	
	누에(유충, 번데기)	<i>Bombyx mori</i>	
약용	왕지네	<i>Scolopendra subspinipes mutilans</i>	
사료용	갈색거저리 유충	<i>T. molitor</i>	
	건조귀뚜라미(왕귀뚜라미)	<i>Teleogryllus emma</i>	
학습애완용	장수풍뎅이	<i>A. dichotoma</i>	

학습애완용	애반딧불이	<i>Aquatica lateralis</i>	
	늦반딧불이	<i>Pyrocoelia rufa</i>	
	넓적사슴벌레	<i>Dorcus titanus</i>	
	톱사슴벌레	<i>Prosopocoilus inclinatus</i>	
	여치	<i>Tettigoniidae</i>	
	왕귀뚜라미	<i>Teleogryllus emma</i>	
	방울벌레	<i>Meloimorpha japonica</i>	
화분매개용	호박벌	<i>Bombus ignitus</i>	
	머리빨가위벌	<i>Osmia cornifrons</i>	

사진출처: 국립생물자원관 한반도의 생물다양성

충 단백질, 해조류 단백질, 미생물 단백질, 배양육 등으로 나뉘어 연구되고 있다(박미성 등, 2020). 앞에서 말했듯이 대표적인 대체식품으로는 식물성 단백질, 식용 곤충 단백질, 배양육 등이 있지만, 이 외에도 해조류, 미생물 등에서 추출한 단백질을 활용하여 이용하는 연구도 현재 활발히 진행되고 있는 실정이다(Angell et al., 2016; Kim et al., 2019).

우리나라에서 식용곤충은 점차 시장의 크기가 증가하고 있는 추세이며, 이에 따라 식용곤충의 종류도 점차 증가하고 있는 추세이다. 현재 메뚜기, 백강잠, 식용누에유충, 번데기, 갈색거저리유충, 쌍별귀뚜라미, 흰점박이꽃무지 유충, 장수풍뎅이 유충, 아메리카왕거저리 유충(탈지 분말), 수벌 번데기 등 총 9종이 식품원료로 사용가능한 식용곤충으로 식약처로부터 인정받았다(표 2). 또한 식용곤충 중금속 통합기준안을 2021년 3월 개설했다. 기존에 중금속 기준이 설정되어 있던 갈색거저리 유충, 흰점박이꽃무지 유충, 쌍별귀뚜라미, 장수풍뎅이 유충 4종을 제외한 나머지 식용곤충 또한 납, 카드뮴 및 무기비소 모두 0.1 mg/kg이라는 기준을 적용받게 되었다. 이는 식품안전관리 강화와 더불어 식용곤충 산업에 안전성을 증진시킬 수 있을 것이라고 사료된다. 메티클러스 리서치에 따르면 2023년 식용곤충 시장은 약 12억 달러 규모로 성장할 것이라고 평가받고 있으며, 사료 및 식품으로서의 활용도가 증대할 것이라고 평가하였다. 농림축산식품부에 따르면 국내 곤충 산업 규모는 2011년 약 1,680억 원에서 2020년 약 7,000억 원으로 증가하였다. 이러한 시장 규모의 상승과 더불어 다양한 제품 개발이 이루어지고 있으며, 단순 환이나 분말 형태가 아닌, 시리얼, 파스타면, 케이크, 빵 등 가공식품에 첨가되는 것은 물론, 원형 그대로를 유지한 채 시장에 판매되고 있다. 식용곤충은 전 세계적으로 약 20억 명 이상이 섭취하고 있으며, 문헌상 1,900여 종 이상의 종이 소비되고 있는 것으로 조사되었다(van Huis et al., 2013). 전통적으로 우리나라에서는 문헌상 소비되고 있는 다양한 식용곤충이 존재하며, 이에 따라 식용곤충으로의 원료로서의 전환이 이루어지기도 한다.

2. 곤충 섭취에 대한 역사적 고증

식용곤충의 이용은 고문헌에서 조사되어 전 세계적으로 소비가 확인되고 있다. 선사시대에는 포유류 등의 사냥보다는 상대적으로 곤충의 채집이 쉬웠기 때문에 주요 단백질원으로서 소비되었다. 그러나 농경시대 이후로 가축 등의 사육으로 인해 식용곤충의 채집활동 또한 줄어들어 이에 대한 소비가 감소하였다. 그러나 현재 전 세계 3분의 1 이상의 인구가 곤충을 식용화 또는 약용화하여 이용하고 있으며, 아시아, 남아메리카, 아프리카 등을 걸쳐 약 1,900여 종 이상의 곤충이 전통적으로 소비되고 있다(van Huis et al., 2013).

2.1. 곤충의 식량 자원

아시아에서 일반적으로 소비되는 식용곤충으로는 메뚜기, 누에 번데기 또는 유충 등을 비롯한 다양한 곤충이 이용되고 있다. 중국의 경우, 약 2,000년 이상 곤충을 섭취하였으며, 대략적으로 324 종의 곤충이 이용되고 있는 것으로 알려져 있다. 인도의 경우도 약 255 종 이상의 곤충이 섭취되고 있으며, 이외에도 말레이시아, 미얀마, 네팔, 파키스탄, 인도네시아, 베트남 등 다양한 나라에 걸쳐 곤충을 식량자원으로서 현재까지 소비하고 있다(Raheem et al., 2019). 아프리카의 경우, 현재까지 수렵 및 채집을 통한 식량자원의 확보가 이루어지고 있으며, 대략적으로 1,500여 종 이상의 곤충이 소비되고 있다. 국가 및 지역별로 식용곤충의 문화가 다양하게 존재하고 있으며, 영양학적으로 중요한 자원으로서 식용곤충을 이용하고 있다(Kim et al., 2019). 남아메리카에서도 일부 아마존 부족에서 곤충을 섭취하고 있으나, 정복전쟁으로 인해 서구문화의 영향을 크게 받아 식용곤충의 이용이 크게 저하되었다(Kim et al., 2019). 유럽권에서는 전통적으로 식용곤충의 이용은 이루어지지 않은 것으로 알려져 있으며, 최근 들어 대체단백질 자원의 필요성이 증대됨에 따라 소비가 이루어지고 있다(Kim et al., 2019). 전통적으로 가열을 통해 곤충을 가공하

표 2. 국내 식품원료로 허용된 식용곤충

연번	품목명	품목명	학명	비고
1	메뚜기		<i>Oxya japonica</i> Thunberg	
2	백강잠		누에(<i>Bombyx mori</i> L.)의 유충이 백강병균 (<i>Beauveria bassiana</i> Bals.) Vuill.의 감염에 의한 백강병으로 경직사한 몸체	전래적 식용근거로 원료 인정
3	식용 누에 유충, 번데기		<i>B. mori</i> L.	
4	갈색거저리 유충		<i>T. molitor</i> L.	
5	쌍별 귀뚜라미		<i>Gryllus bimaculatus</i>	한시인정원료 → 일반원료로 전환('16.03)
6	흰점박이꽃무지 유충		<i>P. brevitaris</i>	
7	장수풍뎅이 유충		<i>A. dichotoma</i>	한시인정원료 → 일반원료로 전환('16.12)
8	아메리카왕거저리 유충		<i>Zophobas atratus</i>	한시인정원료('20.1.16)
9	수벌번데기		<i>Apis mellifera</i> L.	한시인정원료('20.7.9)

여 섭취하고 있다. 가열방법으로는 데치기, 삶기, 찌기, 튀기기, 굽기, 훈연 등을 이용하여 식용곤충을 섭취하고 있으며, 염지 등을 통한 가공방법도 식용곤충을 이용하기 위한 하나의 방법으로 소비되었다(Melgar-Lalanne et al., 2019).

2.2. 곤충의 약용자원

식용곤충은 약용으로서 효용이 크기 때문에 전통적으로 의약 목적으로 이용되고 있다. 대부분의 약용곤충은 약용식물과의 혼합을 통하여 이용되었으며, 빵거나, 환을 만드는 등 다양한 가공방법을 통하여 이용되었다. 인도의 차티스가르에서는 자트로파 잎에 사는 애벌레를 이용하여 수유를 촉진시키는 데 사용하였으며, 발열, 동물에게 물린 상처, 괴저 등을 치료하기 위하여 사용하였다. 또한 아프리카 등지에서 불개미를 호흡기 관련 질환의 치료 또는 출산에 도움을 주는 목적으로 사용하였다. 이외에도 메뚜기, 흰개미, 일벌, 바퀴벌레, 사마귀 등을 이용하여 마취, 음, 간질, 출혈 등을 치료하기 위하여 사

용하고 있다(Srivastava et al., 2009). 중국에서 약용 곤충의 이용은 2,000년 이상 이어진 것으로 알려져 있다. 곤충의 약용으로서의 이용으로는 ‘주기(周記)’, ‘산해경(山海經)’, ‘신농본초경(神農本草經)’, ‘명의별록(名醫別錄)’, ‘본초(本草經集注)’, ‘본초강목(本草綱目)’ 등에 의해 확인되고 있으며, 현재까지 문헌기록상 약 300 종 이상의 곤충이 이용되고 있는 것으로 알려져 있다(유대유 등, 2003). 일본의 ‘약용곤충목록(藥用昆蟲目錄)’, ‘곤충본초’ 등 또한 약용으로 이용할 수 있는 곤충을 설명하고 있다. 우리나라에서는 ‘동의보감’에 의해 약 95 종의 곤충이 약용으로 쓰일 수 있다고 서술되어 있으며, 일부 문헌에서 발췌된 기록을 통해 역사적 고증을 거쳐 식용 및 약용곤충의 선정에 활용하고 있다.

3. 식용곤충의 소재화 신기술 개발 현황

식용곤충의 소재화 관련 기술은 현재 꾸준히 연구 중에 있으며, 다양한 종에 관련하여 진행되고 있는 실정이다(표 3). 식용곤충의 맛은 종에 따라 다르게 나타나며,

표 3. 식용곤충 소재화 신기술 현황

식용곤충 종류	신기술	소재 활용(제품)	참고문헌
흰점박이 꽃무지 유충 (<i>P. brevitarsis</i>)	탈지기술	곤충 단백질	Kim et al., 2021
갈색거저리 성충 (<i>T. molitor</i>)	분말화	빵	Roncolini et al., 2019
	분말화	시리얼	Azzollini et al., 2016
	분말화	소시지	Choi et al., 2017
	오일 추출	곤충 오일	Alves et al., 2019
멕시코 메뚜기 (<i>Shenarium purpurascens</i>)	분말화	과자	Cuj-Laines et al., 2019
집귀뚜라미 (<i>Acheta domesticus</i>)	분말화	파스타	Duda et al., 2019
	분말화	빵	Osimani et al., 2018
바퀴벌레 (<i>Nauphoeta cinerea</i>)	분말화	빵	de Oliveira et al., 2017
Coconut borer (<i>Pachymerus nucleorum</i>)	오일추출	곤충 오일	Alves et al., 2019
메뚜기 (<i>Ruspolia differens</i>)	건조기술	건조 곤충	Fombong et al., 2017
메뚜기 (<i>Locusta migratoria</i>)	효소가수분해	곤충 단백질	Purschke et al., 2018
아메리카동애등에 (<i>Hermetia illucens</i>)	키틴 추출	키틴 중합체	Brigode et al., 2020

크게 원재료를 가공하는 것과 단백질과 지방(오일)류, 다당류, 키틴과 같은 당단백 물질 등을 구분하여 가공하는 것으로 나눌 수 있다. 방법론적으로 선별과정, 데치기, 건조, 추출, 저장 등의 과정을 거쳐 이용될 수 있다. 일부 식용곤충에 대한 혐오감을 느끼는 문화권을 중심으로 이러한 가공기술이 발달되고 있으며, 대체식품으로서의 가치를 향상시키기 위한 방안으로 각광받고 있다 (Kim et al., 2019).

3.1. 원재료를 활용한 소재화 기술

곤충은 변태과정에 따라 구성성분의 변화가 일어나며, 이에 따라 신체에 미치는 영향이 달라지기 때문에 원재료의 적합한 선별이 중요하다. 따라서 안전한 식용곤충의 이용을 위해서는 사용되는 곤충의 변태 단계를 구분하여 이용해야 할 것이다(Rumpold and Schluter, 2013). 원재료 자체로 가공하기 위해서는 건조 과정을 거친 후 분말화하여 사용하거나, 음료, 쿠키, 식빵, 소시지, 토르티야, 파스타, 초콜릿, 시리얼, 양갱 등 다양한 식품에 적용되어 이용되고 있다. 특히 우리나라에서 고소애를 활용한 어묵, 돈까스, 탕수육 등의 제품으로 학교 급식으로 납품되는 등 원재료의 활용 및 식품 접목을 통한 활용도 증대에 대한 방안이 활발히 진행되고 있다. 또한 양주시와 한국외식과학고등학교는 식용곤충요리대회를 지속적으로 개최하여 활용성을 증진시키기 위한 방안을 설계하는 등 지자체, 학교, 기업 등이 협력하여 식용곤충의 보편화를 위하여 지속적으로 노력하고 있다. Melgar-Lalanne et al.(2019)에 따르면 전세계적으로 대부분의 기업이 식용곤충을 별다른 가공공정 없이 건조된 상태로 판매하고 있다고 조사하였으며, 주요 가공 상품으로는 스낵바, 에너지바, 분말 등을 귀뚜라미, 메뚜기, 갈색거저리 등을 이용하여 가공하고 있다고 발표하였다.

3.2. 단백질 소재화 기술

현재 대부분의 식용곤충 단백질 소재화 기술은 식용곤

충 단백질의 추출을 통하여 소재화하는 것이 대부분이다(Melgar-Lalanne et al., 2019). 영양학적 품질특성을 향상시키고 있으며, 외형적 변화가 매우 크게 일어나기 때문에 소비자의 혐오도를 급격히 낮출 수 있을 것으로 보고되었다. 또한 식용곤충 단백질의 농도가 증가함에 따라 가공학적 특성이 향상하고, 이에 따라 식용곤충 단백질의 겔화, 유화, 거품형성능력 등을 향상시키고 있다(Kim et al., 2019). 또한 단백질의 기능성을 향상시키기 위하여 펩타이드의 분리 분해를 통해 항산화, 항균, 항고혈압, 면역, 항암, 항염 등 다양한 기능성 소재로서의 효과를 보이고 있다. 단백질의 가공소재화를 위하여 대부분의 곤충은 데치기, 건조 및 탈지과정을 거치며, 단백질의 추출을 위하여 pH, 이온강도, 추출 온도 등을 변화시켜 추출하게 된다. 또한 높은 활성의 펩타이드를 추출하기 위하여 효소를 이용하여 생리활성을 증대시키고 있으며, 이를 통한 가공학적 기능성도 향상시키는 연구 또한 진행되고 있다(Melgar-Lalanne et al., 2019). 높은 활성의 식용곤충 단백질 생리활성 때문에 미래 식품으로서의 가치가 향상되고 있으며, 이에 따라 식용곤충에 대한 관심과 선호도는 점차 증가하고 있는 추세이다.

4. 기능성 소재로서의 식용곤충의 이용

식용곤충의 대표적인 구성성분으로는 단백질과 지방, 그리고 키틴 등이 잘 알려져 있다. 이러한 구성성분을 식용곤충으로부터 분리해 내고, 이들의 다양한 생리활성을 확인하여 기능성 소재로서 식용곤충을 활용하고자 하는 연구가 활발하게 진행되어져 오고 있다. 식용곤충의 대표적인 생리활성으로 항산화 활성, 항균 활성, 항고혈압 활성 등이 연구되어 왔으며, 최근 들어, 항암, 항비만, 항당뇨, 면역 조절능과 같은 다양한 생리활성에 대한 연구들이 보고되고 있다.

4.1. 항산화 활성

활성 산소는 호흡하는 동안 생성되는 산물로 적정량

의 활성 산소는 신체 내에 영향을 미치지 않지만 스트레스, 과도한 운동, 흡연, 과식 등으로 과다하게 생성된 활성 산소는 불안정한 분자인 자유 라디칼(free radical)로 압, 동맥 경화, 뇌졸중, 비만, 당뇨병 등의 질환을 유발할 수 있다고 보고되었다. 따라서 활성 산소를 소거해주는 오렌지 추출물, 녹차 추출물, 감태 추출물 등의 다수의 천연 항산화 소재의 연구가 보고되어지고 있으며, 식용곤충의 추출물로부터 이러한 항산화 활성 효능을 연구한 연구 논문들이 다수 보고되고 있다. 국내에서도 식품원료로도 사용이 가능한 누에나방의 유충(*Bombyx mori*)은 다수의 연구에서 항산화 활성을 보유하고 있으며, 성충과 유충에서 분리한 단백질로부터 효소 가수분해를 실시하여 얻은 가수분해물이 자유 라디칼을 효과적으로 소거하는 것으로 보고되었다(Wu et al., 2011; Liu et al., 2017). 위의 항산화 활성이 우수한 가수분해물들은 체내 소화 모델을 적용한 뒤에도 항산화 활성이 유지되는 것을 확인하여 항산화 활성이 소화과정에서도 안정적인 식용 곤충 항산화 소재로서 활용성이 높을 것으로 사료된다.

4.2. 항균 활성

식용곤충의 대표적인 항균 활성을 나타내는 성분으로는 항균 펩타이드(anti-microbial peptide, AMP)가 있다. 이러한 항균 펩타이드는 곤충에게 특정 균을 면역하여 곤충 내에 생성된 항균 펩타이드를 분리/정제하여 얻을 수 있다. 이렇게 생성된 다양한 항균 펩타이드들은 그람 양성 및 음성균에 대해 항균 활성이 있음이 보고되고 있다. 대표적으로 국내 식용곤충으로 판매되고 있는 흰점박이 꽃무지 유충의 항균 펩타이드 연구가 있다(Lee et al., 2016). *Escherichia coli* 균을 유충에 접종하여 항균 펩타이드인 Psdefensin을 분리하였고, 이 항균 펩타이드의 항균 활성을 그람 양성균(*Bacillus subtilis*), 그람 음성균(*E. coli*)을 통해 확인하여 기능성 소재로서의 활용 가능성을 보고하였다. 이 외에도 국내 식용곤충 중의 하나인 장수풍뎅이 유충에서 얻은 항균 펩타이드

Allomyrinasin의 *E. coli*, *Staphylococcus aureus*에 대한 항균활성 연구 결과도 보고된 바 있다(Lee et al., 2019).

4.3. 항고혈압 활성

항고혈압 활성은 심혈관계 질환을 예방할 수 있는 중요한 기능성이다. 우리나라는 서구화된 식습관, 운동 부족, 과도한 스트레스 등 다양한 생활 요인으로 인해 심혈관계 질환 발병율이 높아지고 있는 실정이다. 식용곤충으로부터 얻어진 다양한 펩타이드들은 우리 인체 내에서 혈압을 조절하는 데 주요한 시스템인 레닌-안지오텐신(renin-angiotensin) 시스템의 주요 효소인 안지오텐신전환 효소(angiotensin-converting enzyme)를 효과적으로 억제하여 혈압이 높아지는 것을 예방하는 것으로 다양한 연구들에서 보고되고 있다. 우리나라에서 밀워로 잘 알려져 있는 갈색거저리 유충으로부터 얻어진 펩타이드의 항고혈압 활성이 보고된 바 있다. Dai et al.(2013)에 따르면 안지오텐신전환 효소를 효과적으로 억제하는 트리펩타이드(Tyr-Ala-Asn)를 갈색거저리 유충 가수분해물로부터 분리/정제하였으며, 해당 효과를 자발성 고혈압흰쥐(Spontaneously hypertensive rat) 동물 모델에서도 확인하여 기능성 소재로서 식·의약 산업에서 해당 펩타이드의 활용 가능성을 제시하였다. 이 외에도 누에의 유충 및 성충으로부터 얻은 단백질 가수분해물들의 항고혈압 활성도 보고되었다(Wu et al., 2011; Wang et al., 2011).

4.4. 기타 생리 활성

최근 들어, 식용곤충으로부터 기존에 보고되었던 항산화, 항균, 항고혈압 활성 이외에도 다양한 생리활성들이 보고되고 있다(표 4). 누에 유충 추출물이 인체 유래 간암 세포인 HepG2 세포의 성장을 효과적으로 억제한다고 밝혀졌으며(Cho et al., 2019), 갈색거저리 유충의 에탄올 추출물이 지방전구세포인 3T3-L1 세포의 지방세포로의

표 4. 식용곤충 유래 생리활성 성분

식용곤충 종류	생리활성	생리활성을 보이는 성분	참고문헌
누에 유충 (<i>B. mori</i>)	항산화 활성	단백질 가수분해물	Wu et al., 2011
누에 성충 (<i>B. mori</i>)	항산화 활성	단백질 가수분해물	Liu et al., 2017
흰점박이 꽃무지 유충 (<i>P. brevitarsis</i>)	항균 활성	펩타이드(Psdefensin)	Liu et al., 2017
장수풍뎅이 유충 (<i>A. dichotoma</i>)	항균 활성	펩타이드(Allomyrinasin)	Lee et al., 2019
장수풍뎅이 유충 (<i>A. dichotoma</i>)	항고혈압 활성	펩타이드(Tyr-Ala-Asn)	Dai et al., 2013
누에 유충 (<i>B. mori</i>)	항고혈압 활성	단백질 가수분해물	Wu et al., 2011
누에 번데기 (<i>B. mori</i>)	항고혈압 활성	펩타이드(Ala-Ser-Leu)	Wang et al., 2011
누에 유충 (<i>B. mori</i>)	항암 활성	에탄올 추출물	Cho et al., 2019
갈색거저리 유충 (<i>T. molitor</i>)	항비만 활성	에탄올 추출물	Seo et al., 2017
집파리 유충 (<i>Musca domestica</i>)	항당뇨 활성	물 추출물	Li et al., 2017
꽃매미 성충 (<i>Lycorma delicatula</i>)	항염증 활성	물 추출물	Baek et al., 2018

분화를 유의적으로 억제한다는 연구 결과가 보고되어 항비만 소재로서의 활용 가능성을 제시하였다(Seo et al., 2017). 또한, 아직까지 국내에서 식용으로서 허가가 되지 않았지만, 집파리 유충, 꽃매미 성충으로부터 얻은 추출물의 항당뇨(Li et al., 2017), 항염증 활성(Baek et al., 2018) 등이 보고되어 식용곤충이 단백질을 대체하는 식품으로서의 역할뿐 아니라, 기능성 소재로서 다양한 산업에서 활용될 수 있음을 보여주고 있다.

5. 식용곤충 산업의 미래

세계 곤충시장은 2019년 기준 약 1조 원(8억 8,200만 달러)에서 2024년 약 2.4조 원(21억 640만 달러)에 이를 것으로 전망되며, 유럽·북미 등을 중심으로 사료용 곤충 관련 기업에 대한 투자가 증가하는 추세이다. 국내에서는 곤충산업 참여 농가·업체가 2015년 908개소 대비 2019년 2,535개소로 280% 확대되었으며, 곤충 판매액은 2015년 162억 원 대비 2019년 405억 원으로 250% 증가하였다. 정부는 곤충 분야를 첨단 생명소

재 산업으로 육성하여 산업규모를 2025년까지 1,400억 원, 고용규모를 9,000명까지 확대한다는 목표를 세웠다. 이러한 목표를 달성하기 위해 농림축산식품부에서는 부가가치 제고, 인프라 구축 및 지원기반 강화를 중합계획 목표로 추진하고자 하고 있다. 부가가치 제고의 추진전략은 식용곤충 소재 및 기술 등 연구개발 확대와 수요처 발굴 및 수출 확대를 진행할 예정이다. 인프라 구축은 조직화된 곤충 산업화 단계별 주제 육성, 생산방식의 스마트화를 진행하며, 지원 기반 강화 분야는 식용곤충 관련 제도 및 규제 개선, 곤충산업 인식 개선을 세부 추진과제를 마련해 추진할 예정이다. 그러므로 곤충 분야를 첨단 생명소재 산업으로 육성하여 농촌경제 활성화, 친환경 소재 개발 등 다방면으로 성과를 창출할 수 있을 것으로 기대된다.

III. 결론

식용곤충은 환이나 분말형태의 건강식 위주의 제품을 넘어 시리얼, 쿠키, 초콜릿 등 다양한 일상 식품으로

도 개발되고 있다. 또한, 기능성 환자식 식품, 반려동물 간식, 의료용 소재 등으로 시장을 확대하고 있다. 식용 곤충 산업의 미래는 곤충 유래 대체 단백질 소재 등 고부가가치 소재 개발, 고령자 맞춤형 기능성 소재로서 치매 예방과 같은 인지 개선 및 근감소증 예방 소재를 활용한 기능성 소재 개발을 진행할 예정이다. 그러므로 식용곤충은 기능성 식품 수요 확대에 대응하여 곤충의 기능성, 유효성분을 발굴, 건강기능식품에 대한 개발들이 주류를 이룰 것으로 보인다. 최근 학교 급식으로 갈색저지리에서 자란 동충하초 버섯을 활용한 어묵이 제공되었으며, 학생들은 큰 거부감이 없었으나, 일부 학부모들은 부정적인 의견을 나타내었다. 소비자들은 식용곤충을 일상에서 접할 수 있는 식품이 아니라, 건강이나 환경을

위해서 먹을 때 찾을 수 있는 식품으로 생각하고 있다 (김수희, 2017). 그러므로 식용곤충에 대한 소비자들의 부정적인 인식을 개선하는 것이 가장 큰 쟁점이다. 따라서 식용곤충에 대한 부정적인 인식을 개선하기 위해서는 다양한 기능성 소재로 활용할 수 있는 소재 기술이 개발되어야 할 것으로 사료된다.

감사의 글

본 원고는 2021년 과학기술정보통신부 재원으로 한국식품연구원 주요 사업(E0211200-01)의 지원에 의해 이루어진 것으로 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Alves AV, Freitas De Lima F, Granzotti Da Silva T, Oliveira VS, Kassuya CaL, Sanjinez-Argandona EJ. 2019. Safety evaluation of the oils extracted from edible insects (*Tenebrio molitor* and *Pachymerus nucleorum*) as novel food for humans. *Regulatory Toxicology Pharmacology* 102:90-94.
2. Angell AR, Angell SF, Nys R, Paul NA. 2016. Seaweed as a protein sources for mono-gastric livestock. *Trends in Food Science and Technology* 54:74-84.
3. Azzollini D, Derossi A, Fogliano V, Lakemond CMM, Severini C. 2018. Effects of formulation and process conditions on microstructure, texture and digestibility of extruded insect-riched snacks. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 45:344-353.
4. Baek SH, Joung O, Lee HY, Shin JC, Choi WS, Lee TH, Hwang JS, Nam SH, Son HU, Lee SH. 2018. Antioxidative fraction of *Lycorma delicatula* alleviates inflammatory indicators. *Natural Product Communications* 13:1934578X1801300413.
5. Brigode C, Hobbi P, Jafari H, Verwilghen F, Baeten E, Shavandi A. 2020. Isolation and physicochemical properties of chitin polymer from insect farm side stream as a new source of renewable biopolymer. *Journal of Cleaner Production* 275:122924.
6. Cho HD, Min HJ, Won YS, Ahn HY, Cho YS, Seo KI. 2019. Solid state fermentation process with *Aspergillus kawachii* enhances the cancer-suppressive potential of silkworm larva in hepatocellular carcinoma cells. *BMC Complementary and Alternative Medicine* 19:1-15.

7. 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. Korean Journal of Food Science for Animal Resources 37:617-625.
8. Cuj-Laines R, Hernández-Santos B, Reyes-Jaquez D, Delgado-Licon E, Juárez-Barrientos JM, Rodríguez-Miranda J. 2018. Physicochemical properties of ready-to-eat extruded nixtamalized maize-based snacks enriched with grasshopper. International Journal of Food Science & Technology 53:1889-1895.
9. Dai CH, Ma HL, Luo L, Yin XL. 2013. Angiotensin I-converting enzyme (ACE) inhibitory peptide derived from *Tenebrio molitor* (L.) larva protein hydrolysate. European Food Research and Technology 236:681-689.
10. De Oliveira LM, Da Silva Lucas AJ, Cadaval CL, Mellado MS. 2017. Bread enriched with flour from cinereous cockroach (*Nauphoeta cinerea*). Innovative Food Science & Emerging Technologies 44:30-35.
11. Duda A, Adamczak J, Chelminska P, Juszkiewicz J, Kowalczewski P. 2019. Quality and nutritional/textural properties of durum wheat pasta enriched with cricket powder. Foods 8:46.
12. Fombong FT, Van Der Borght M, Vanden Broeck J. 2017. Influence of freeze-drying and oven-drying post blanching on the nutrient composition of the edible insect *Ruspolia differens*. Insects 8:102.
13. 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.
14. Lee J, Bang K, Hwang S, Cho S. 2016. cDNA cloning and molecular characterization of a defensin-like antimicrobial peptide from larvae of *Protaetia brevitarsis seulensis* (Kolbe). Molecular Biology Reports 43:371-379.
15. Lee J, Seo M, Lee HJ, Baek M, Kim IW, Kim SY, Kim MA, Kim SH, Hwang JS. 2019. Anti-inflammatory activity of antimicrobial peptide Allomyrinasin derived from the dynastid beetle, *Allomyrina dichotoma*. Journal of Microbiology and Biotechnology 29:687-695.
16. Li H, Inoue A, 2017. Taniguchi S, Yukutake T, Suyama K, Nose T, Maeda I. Multifunctional biological activities of water extract of housefly larvae (*Musca domestica*). PharmaNutrition 5:119-126.
17. Liu Y, Wan S, Liu J, Zou Y, Liao S. 2017. Antioxidant activity and stability study of peptides from enzymatically hydrolyzed male silkworm. Journal of Food Processing and Preservation 41: e13081.
18. Melgar-Lalanne G, Hernández-Avarez AJ, Salinas-Castro A. 2019. Edible insects processing: Traditional and innovative technologies. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety 18:1166-1191.
19. Osimani A, Milanovic V, Cardinali F, Roncolini A, Garofalo C, Clementi F, Pasquini M, Mozzon M, Foligni R, Raffaelli N, Zamporlini F, Aquilanti L. 2018. Bread enriched with cricket powder (*Acheta domesticus*): A technological, microbiological and nutritional evaluation. Innovative Food Science & Emerging Technologies 48:150-163.
20. Purschke B, Meinschmidt P, Horn C, Rieder O, Jäger H. 2018. Improvement of techno-functional properties of edible insect protein from migratory locust by enzymatic hydrolysis. European Food Research and Technology 244:999-1013.
21. Raheem D, Carrascosa C, Oluwole OB, Nieuwland M, Saraiva A, Millan R, Raposo A. 2019. Traditional consumption of and rearing edible insects in Africa, Asia and Europe. Critical Reviews in Food Science and Nutrition 59:2169-2188.

22. Roncolini A, Milanović V, Cardinali F, Osimani A, Garofalo C, Sabbatini R, Clementi F, Pasquini M, Mozzon M, Foligni R. 2019. Protein fortification with mealworm (*Tenebrio molitor* L.) powder: Effect on textural, microbiological, nutritional and sensory features of bread. PLOS ONE 14:e0211747.
23. Rumpold BA, Schlüter OK. 2013. Nutritional composition and safety aspects of edible insects. Molecular Nutrition & Food Research 57:802-823.
24. Seo M, Goo TW, Chung MY, Baek M, Hwang JS, Kim M, Yun EY. 2017. *Tenebrio molitor* larvae inhibit adipogenesis through AMPK and MAPKs signaling in 3T3-L1 adipocytes and obesity in high-fat diet-induced obese mice. International Journal of Molecular Sciences 18: 518.
25. Srivastava SK, Babu N, Pandey H. 2009. Traditional insect bioprospecting—as human food and medicine. Indian Journal of Traditional Knowledge 8:485-494.
26. Van Huis A, Van Itterbeeck J, Klunder H, Mertens E, Halloran A, Muir G, Vantomme P. 2013. Edible insects: Future prospects for food and feed security. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
27. Wang W, Wang N, Zhou Y, Zhang Y, Xu L, Xu J, Feng F, He G. 2011. Isolation of a novel peptide from silkworm pupae protein components and interaction characteristics to angiotensin I-converting enzyme. European Food Research and Technology 232: 29-38.
28. Wu QY, Jia JQ, Tan GX, Xu JL, Gui ZZ. 2011. Physicochemical properties of silkworm larvae protein isolate and gastrointestinal hydrolysate bioactivities. African Journal of Biotechnology 10: 6145-6153.
29. 김수희. 2013. 식용곤충산업의 현황과 전망. 세계농업 제 207호.
30. 박미성, 박시현, 이용선. 2020. 대체식품 현황과 대응과제. 한국농촌경제연구원. 190:1-17.
31. 유대유, 왕서민, 이진충, 관수평, 서염, 김건상. 2003. 중국 약용곤충자원의 이용개발 및 보호. 생물학전문연구 정보센터 BioWave 5:1-5.