

인류의 생존 위기 대응을 위한 양잠과 곤충 산업의 현황

김아영 · 김기영¹ · 최희정² · 박현우^{3*} · 고영호^{**}한림대학교 일송생명과학연구소, ¹국립농업과학원 곤충양잠산업과, ²서울대학교 농생명과학공동기기원, ³(주)헬스파크

Current Status of Sericulture and Insect Industry to Respond to Human Survival Crisis

A-Young Kim, Kee-Young Kim¹, Hee Jung Choi², Hyun Woo Park^{3*} and Young Ho Koh^{**}

Ilsong Institute of Life Science, Hallym University, Seoul 07247, Korea

¹Department Industrial Insect and Sericulture, National Institute of Agricultural Science, Wanju 55365, Korea²National Instrumentation Center for Environmental Management, Seoul National University, Seoul 08826, Korea³Health Park co., Ltd., Seoul 08826, Korea

ABSTRACT: Two major problems currently threaten human survival on Earth: climate change and the rapid aging of the population in developed countries. Climate change is a result of the increase in greenhouse gas (GHG) concentrations in the atmosphere due to the increase in the use of fossil fuels owing to economic and transportation development. The rapid increase in the age of the population is a result of the rise in life expectancy due to the development of biomedical science and technology and the improvement of personal hygiene in developed countries. To avoid irreversible global climate change, it is necessary to quickly transition from the current fossil fuel-based economy to a zero-carbon renewable energy-based economy that does not emit GHGs. To achieve this goal, the dairy and livestock industry, which generates the most GHGs in the agricultural sector, must transition to using low-carbon emission production methods while simultaneously increasing consumers' preference for low-carbon diets. Although 77% of currently available arable land globally is used to produce livestock feed, only 37% and 18% of the proteins and calories that humans consume come from dairy and livestock farming and industry. Therefore, using edible insects as a protein source represents a good alternative, as it generates less GHG and reduces water consumption and breeding space while ensuring a higher feed conversion rate than that of livestock. Additionally, utilizing the functionality of medicinal insects, such as silkworms, which have been proven to have certain health enhancement effects, it is possible to develop functional foods that can prevent or delay the onset of currently incurable degenerative diseases that occur more frequently in the elderly. Insects are among the first animals to have appeared on Earth, and regardless of whether humans survive, they will continue to adapt, evolve, and thrive. Therefore, the use of various edible and medicinal insects, including silkworms, in industry will provide an important foundation for human survival and prosperity on Earth in the near future by resolving the current two major problems.

Key words: Global climate change, Insect industry, Sericulture, Edible insect, Medicinal insect, Silkworm

초 록: 인류는 기후변화와 인구 구성 비율의 급격한 노령화 라는 두 가지 커다란 생존을 위협하는 문제점에 직면해 있다. 기후변화는 경제 발전과 운송 수단의 발달로 화석 연료 사용 증가에 따른 대기 중 온실가스 농도가 증가한 결과이고, 인구 구성 비율의 노령화는 선진국의 의 생명과학 기술 발전과 개인 위생의 증진으로 기대 수명이 증가한 결과이다. 돌이킬 수 없는 전 지구적인 기후변화를 피하기 위해서는 빠른 기간 내에 온실 가스의 배출이 없는 탄소 제로 경제로 전환을 해야 한다. 이 목표를 달성하기 위해서는 농업 중 온실가스의 발생이 가장 많은 낙농축산업을 저탄소 경영방식으로 전환하고 동시에 소비자들의 저탄소 식품들에 대한 인식의 변화가 필요하다. 현재 지구상 이용 가능 초지 중 77%가 가축용 사료 재배에 활용되지만, 인간이 섭취하는 전체 단백질의 37%와 총 열량의 18%만이 낙농축산업에서 얻어질 뿐이다. 그러므로, 가축보다 온실가스 배출량, 물의 사용량이 적고, 사육 공간이 작아도 되며 사료전환율이 높은 식용 곤충을 단백질원으로 활용해야 할 필요성이 있다. 이와 더불어 건강기능 증진 효과가 있다고 과학적으로 밝혀진 누에와 같은 곤충들의 기능성을 활용하여 현재 치료 방법이나 예방법이 확립되지 않은 퇴행성 질환들을 예방하고 치료를 촉진시킬 수 있는 기능성 식품 개발이 필요하다. 곤충은 동물 중 가장 오래 전에 지구상에 나타났고, 인간의 생존 유무와 상관없이 앞으로 빠르게 진화를 하여 지구의 환경 변화에 적응하고 번성할 것이다. 그러므로, 다양한 식용 곤충과 누에를 포함한 약용 곤충을 이용한 산업은 현재 인류가 직면한 문제를 해결하여 미래에 인간이 지구에서 생존하고 번영할 수 있는 중요한 반침돌이 될 것이다.

검색어: 기후변화, 양잠 산업, 곤충 산업, 식용 곤충, 약용 곤충, 누에

*Corresponding author: hwpark75@snu.ac.kr

**Corresponding author: kohyh@hallym.ac.kr

Received August 5 2022; Revised October 18 2022

Accepted November 9 2022

지구상 인구 증가와 산업 및 교통 수단의 발달로 인한 온실 가스의 증가는 전 지구적인 기후변화를 가져오고 있다. 이러한 기후변화는 빠르게 대응을 하지 않으면, 지구의 환경은 인간이 생존할 수 없게 변화될 것이다. 인간의 다양한 산업 활동과 운송수단의 발달로 인한 대기 중의 온실 가스 농도의 급격한 증가는 평균 기온 상승과 더불어 지역에서의 평균 기온 편차의 증가를 가져온다(EPA, 2021). 기후의 불 안정화는 계절에 따른 기온, 풍속, 일조량과 강수량 등의 변화를 유발하여 농작물의 생육에 맞지 않는 환경을 가져오고 있어서, 식량 위기의 발생 가능성이 매년 증대되고 있다. 이러한 상황에 대처하기 위해서는 온실 가스가 추가로 발생하지 않는 신재생에너지를 사용한 산업으로의 재편이 반드시 필요하다. 다른 산업에 비하여 온실 가스의 발생량이 상대적으로 적은 농업에서도 농축수산물의 생산 방법의 전환과 소비자들의 온실가스 배출량이 적은 식품으로 선호도가 바뀌는 등의 변화가 필요하다(EPA, 2021; Gerber et al., 2013).

농업분야 중에 낙농 축산업은 가축과 가금류의 사육과 제품의 생산과 유통과정 중에 가장 많은 온실가스를 배출하고 대량의 수자원을 사용하고 오염시키는 산업으로, 전세계 온실가스 생산량 중에서 14.5% 이상을 차지하고 있다(Fig. 1)(Gerber et al., 2013). 전체 농업분야는 전세계 온실가스 생산의 35%를 차지하는 데 이 중에서 동물 기반 음식물 생산에서 57%의 온실가스가 배출되고 있다(Xu et al., 2021). 인구 대국인 중국과 인도의 경제발전으로 국민들의 생활수준이 향상 되면서 양질의 고기와 낙농제품에 대한 수요가 매년 증가하고 있다. 현재 가축의 사료를 생산하기 위하여 전체 경작지의 77%가 사용되고 있지만, 축산업은 인류 전체 칼로리 공급의 18%와 단백질 총량의 37%만을 담당하고 있다(Ritchie, 2019). 이러한 환경 파괴와 사

회경제적인 문제점을 동시에 해결하기 위해서는 가축보다 높은 효율과 친환경적으로 양질의 단백질과 열량을 공급할 수 있는 농축산물의 개발이 필요하다. 소형 가축(mini-livestock)이라고도 불리는 곤충은 일반 가축(소나 돼지나 닭 등)과 비교하면 동일 양의 단백질을 생산할 때 발생하는 온실 가스의 양이 1/2,800~1/10로 매우 적고(Ooninx et al., 2011), 사육 공간이 작아도 되고, 사육에 필요한 물의 양과 사료의 양이 매우 적어서 사료전환률은 매우 높으며, 생활사가 짧아서 단 기간 내에 생산을 완료할 수 있다는 다양한 장점들이 있다(van Huis, 2013; van Huis et al., 2013; van Huis and Ooninx, 2017).

현재 2,300종 이상의 곤충이 전 세계에서 사람의 음식이나 가축의 사료로 활용되고 있다. 곤충을 음식이나 사료로 사용하는 국가의 대부분은 동남아시아, 아프리카와 중남아메리카의 열대/아열대 지역으로 개발이 많이 진행이 되지 않은 지역에 위치하고 있다(van Huis, 2013; van Huis et al., 2013). 유럽과 북미 대륙의 국가들에서는 곤충을 식용으로 사용하는 경우는 문화적인 차이로 인해서 거의 없거나 매우 한정되어 있다. 가축이나 가금류에서 생산된 고기 제품들이나 양식된 어류들은 대부분의 인간들이 거리낌없이 음식으로 섭취를 하지만, 식용 가능한 곤충을 음식으로 섭취하는 것은 개인의 선호도에 따라 커다란 차이가 있다는 중요한 문제점을 안고 있다(van Huis and Ooninx, 2017). 오랜 기간 동안 곤충을 식용으로 사용하던 국가들도 경제 발전으로 산림이나 초지가 없어져서 곤충을 확보할 수 없게 되거나, 식생활 패턴의 서구화로 식용 곤충 보다는 가축이나 가금류에서 생산된 육류나 낙농 제품을 선호하는 경향으로 바뀌고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 최근에 들어서는 식용 곤충을 가공하여 특이한 외형이나 냄새에 기인하는 혐오감을 없앤 식품 개발을 하여 더 많은 사람들이 섭취할

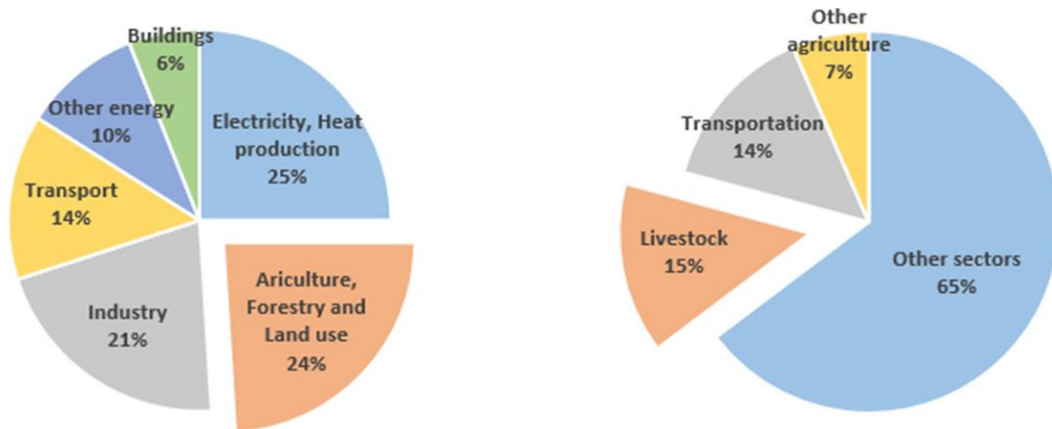


Fig. 1. Status of global greenhouse gas emissions by economic sector and ratio of greenhouse gas emissions from livestock in agriculture (IPCC, 2014; Gerber et al., 2013).

수 있게 하는 연구가 진행이 되고 있다(Hanboonsong et al., 2013). 또한 고전 의학서나 구전으로 내려오는 곤충들의 건강 증진 효과를 바탕으로 인간의 질병을 예방하거나 치료하는데 활용하는 연구가 활발히 이루어지고 있다(Kim et al., 2019a; Kim and Koh, 2022; Koh, 2020; Park et al., 2022). 본 리뷰에서는 식품이나 약물로 이용되는 곤충에 대한 내용을 담고 있다.

인간의 곤충 식용(食虫性: Entomophagy)

동서고금을 막론하고 인간이 곤충이나 부산물을 섭취했다는 기록은 오래 전부터 있었다. 식용 곤충의 섭취는 이미 30,000~7,000년전 이전부터 시작되었을 것이라고 예측하고 있지만(Schabereiter-Gurtner et al., 2002; Tang et al., 2019), 곤충이 이보다 더 오랜 기간 동안 인간에게 중요한 식량 원 중의 하나였을 것으로 추측되는 이유는 정착 생활로 농경을 시작하여 충분한 음식을 확보하기 전 까지 식량의 대부분은 채집이나 수렵에 의존하였기 때문에 상대적으로 거대 동물들 보다 채집하기 쉬운 곤충들이 중요한 단백질과 지방 원으로 사용되었을 것이기 때문이다(Schabereiter-Gurtner et al., 2002). Yen (2015)의 연구에 따르면 전 세계에서 소비되는 식용 곤충의 92%가 야생에서 채집된 곤충들이고, 6%가 소규모 농장에서 사육된 곤충이고 2%가 대형 식용 곤충공장에서 사육된 것이라고 보고했다. 최근에 식용이나 사료용 곤충 생산에 많은 농가들이 참여를 하고 동시에 곤충 사육을 위한 공장식 대량 시설들이 늘어나고 있어서 소규모 농장 또는 대규모 공장에서 생산된 곤충의 비율이 증가되었을 가능성이 크다.

서양에서의 중요한 식용 곤충 관련 기록을 보면 아리스토텔레스의(384~322 BC) 작품인 *Historia Animalium*에 암컷 매미를 식용했다는 기록이 있고, Pliny the Elder(77 AD)는 큰 염소자리 딱정벌레(*Cerambyx cerdo*) 유충이 로마시대에 유행했던 음식 재료라고 그의 작품인 *Naturalis Historiae*에 언급을 하였다(van Huis, 2013; van Huis et al., 2013). 이외에도 곤충을 식용으로 사용했다는 기록은 고대 문서나 종교 서적에도 아주 다양하게 나오고 있다.

전 세계적으로 총 25억명이 2,300여종 이상의 식용 곤충을 섭취하고 있다(Govorushko, 2019; Mitsuhashi, 2016; van Huis, 2013; van Huis et al., 2013). 식용 곤충을 주로 섭취하고 있는 나라들은 아시아에서는 중국, 인도, 태국, 일본, 한국, 미얀마, 베트남, 라오스, 캄보디아, 대만 등이고, 남아메리카에서는 멕시코와 브라질이며, 그리고 아프리카의 여러나라들이 포함된다. 가장 다양한 곤충을 식용으로 하는 나라는 멕시코로 총 549종을 섭취하고 있고, 중국은 324종의 곤충을 섭취하고 있다

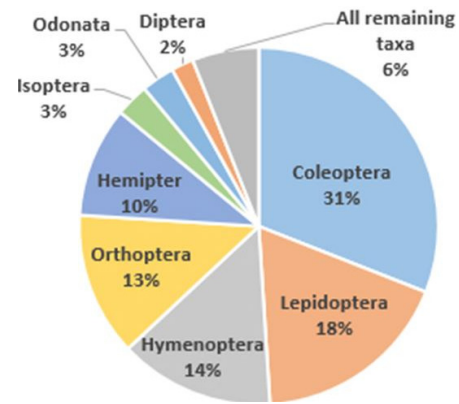


Fig. 2. Distribution of edible insects by insect taxon.

(Govorushko, 2019; Mitsuhashi, 2016). 그리고, 다양한 종류의 곤충이 열대 또는 아열대 지역의 아프리카와 남동아시아와 중남미아메리카 등의 나라에서 소비되고 있다. 현재 소비되는 식용 곤충들을 목에 따라서 나누어 보면, 딱정벌레목 곤충이 31.2%이고 그 다음이 나비목 곤충으로 17.1%와 벌목 곤충은 15.2%에 달한다. 그리고 메뚜기목과 로린재목이 각각 13.2%와 11.2%에 달한다(Fig. 2).

현재 소비되는 식용 곤충의 대부분은 야생에서 채집된 곤충으로 대부분의 경우 열대나 아열대 지역의 산림이나 목초지에서 채집을 한 후 간단히 말리거나, 굵거나, 튀긴 후 유통되고 있다. 총 194종의 식용 곤충을 섭취하는 태국의 경우를 보면 매년 7,500톤의 식용 곤충이 소비되는데, 이들은 자국만이 아니라 미얀마나 라오스나 캄보디아에서 채집되거나 사육된 곤충들도 포함된다(Hanboonsong et al., 2013; Sirimungkararat et al., 2010).

중국에서는 총 324종의 식용 곤충을 오랜 기간 소비해왔는데, 식용 곤충의 모양과 크기와 상태에 따라서 다양한 종류의 조리법이 개발되어 있다. 예를 들자면 개미는 중국의 여러 지역에서 소비되는 인기 식용 곤충으로, 헤이룽장성에서는 두부와 같이 요리하는 방식이 유행하고 있고, 광시성에서는 호박에 개미를 볶아서 넣어준 요리가 유행한다. 특히 윈난성에서 개미 요리는 귀빈 접대용 요리다. 그리고 길림성에서는 누에를 이용한 요리가 유행하고 있고, 강서성과 청해성은 동충하초를 이용한 요리가 많이 소비되고 있다. 그리고 중국에서는 오래전부터 식용 곤충만이 아니라 흙바퀴, 꽃매미, 동충하초, 백강잠 등의 약용 곤충에 대한 관심이 높아져 연구가 많이 이루어지고 있다(Feng et al., 2018; Choi, 2013).

일본에서는 메뚜기를 포함해서 117종 이상의 곤충을 오래 전부터 식용으로 사용하여 왔지만(Sun-Waterhouse et al., 2016), 현재는 식용 곤충에 대한 연구와 산업화는 활발하지 않다. 식용 곤충 관련 행사도 일부 매니아 층을 중심으로 활성화되어 있는

상태이다. 가잠 누에(*Bombyx mori*)의 경우도 실크를 생산하는 목적 외에는 활용되지 않고 있다.

중남미아메리카는 종 다양성이 뛰어난 열대우림지역을 가지고 있어서 다양한 종류의 곤충이 존재 하고 있고, 당연히 많은 곤충 종들이 식용으로 사용되고 있다. 총 549종의 곤충을 식용으로 사용하는 멕시코에서는 ahuatle (water-fly eggs), chichatanas (giant winged ants), chpulines (grasshoppers), cuchamas (green caterpillars), escarabajos (beetles), escamoles (ant larvae), gusanos (maguey worms), jumiles (stink bugs), libelulas (dragonflies) 등이 선호되는 식용곤충들이다(Tang, 2014). 브라질의 경우 오래전부터 곤충을 식용으로 사용하여 왔다. 브라질은 광범위한 아마존 열대 우림 지역에 풍부한 종 다양성을 가지고 있어서 영양분이 풍부한 beetles, bees, wasps, ants, butterflies, moths, and termites 등을 식용곤충으로 이용하여 왔다(Tunes, 2020).

그리고 아프리카의 경우 전세계 어느 지역보다 곤충을 식용하는 것이 일반적이다. 다양한 종류의 나비 유충류, 흰개미류, 풀무치류, 메뚜기류, 귀뚜라미류, 개미류, 벌류, 풍뎅이 유충류와 매미류가 카메룬, 중앙아프리카 콩고공화국, 콩고, 나이지리아, 남아프리카, 우간다, 잠비아와 짐바브웨에서 곤충 식품으로 소비되고 있다. 아프리카에서 소비되는 식용 곤충은 야생에서 채집이 된 것들이 대부분이다(Niassay and Ekesi, 2021). 최근에 들어서 곤충 사육이 아프리카에서 광범위하게 시도되고 있다. 그리고 짐바브웨에서 유행하는 식용 곤충은 야생에서 채집한 아프리카 황제 나방 유충(mopane worms, *Gonimbrasia belina*)과 흰개미종(*Macrotermes natalensis*) 그리고 귀뚜라미류이다. 최근에 들어서 귀뚜라미종들(*Acheta domestica*, *Gryllus bumaculatus*)에 대한 사육이 시도되고 있지만, 사육된 귀뚜라미가 상업적으로 판매되기 위해서는 시간이 필요하다(Ketchell, 2019). 그리고, 가축 사료용으로 사육 되는 아메리카 동애등에(black soldier fly; *Hermetia illucens*)가 농부 개인들이 소규모로 키우는 방식은 물론 대규모 공장식으로 사육이 되고 있다(Filou, 2021).

인도의 북동부지역인 아삼 주에서는 곤충을 식용으로 오랜 기간 사용하여 왔다(Poshadri et al., 2018). 아삼 주의 봄 축제인 Bohag Bihu 동안에 붉은 개미 유충(*Armroli poruar tup*)을 토착민들이 대량으로 소비를 한다. 강에서 채집되는 수서곤충들도 중요한 곤충 식품으로 대형 물 벌레들(giant water bugs, a.k.a. jebangkori, *Lethocercus indicus*)이 대량으로 소비된다. 이외에도 다양한 종류의 가잠 및 야생 누에 번데기류, 귀뚜라미류, 풍뎅이 유충류, 말벌류를 포함 벌류, 메뚜기류, 풀무치류, 흰개미류와 잠자리류가 주로 인도에서 소비되는 곤충이다(Akhtar, 2020; Poshadri et al., 2018). 이외에도 많은 나라들이 다양한

종류의 식용 곤충을 소비하고 있다.

한국에서는 오래전부터 매미, 메뚜기, 딱정벌레 유충, 물방개 등 일부 곤충을 식량이 모자랐던 1970년대까지 식용으로 섭취하여 왔다. 최근에는 벼메뚜기와 누에의 번데기를 간식으로 사용하고 있다(Kim et al., 2014). 비록, 생활 수준의 향상으로 곤충 식품에 대한 수요가 많지 않은 상황이지만, 최근에 들어서 식용 곤충을 사육하는 농가의 수가 2,500여 농가로 증가했고, 식용 곤충 관련 제품 개발도 150 건이 넘고 있다. 특히, 식용 곤충 보다는 건강 증진 효과가 있다고 밝혀진 약용 곤충을 이용하여 개발된 제품에 대한 수요가 더 증대되고 있다(Kim et al., 2019a; Kim and Koh, 2022; Koh, 2020).

식용 곤충은 미래의 고단백질 음식과 사료 공급원임

전 세계 식용 곤충 시장의 규모는 2018년도에 이미 4억 6백 32만 US\$에 도달했고, 매년 23.8%의 고성장을 하여 2023년도에는 11억 8천 1백 6십만 US\$에 도달할 것이라고 예측되고 있다(Fig. 3)(Shahbandeh, 2018). 현재보다 더 심각한 기후변화가 예상되는 미래에는 식용 곤충에 대한 수요가 증가할 것으로 예측되고 있다. 전세계적으로 사육되는 식용 곤충들의 대부분이 야외에서 채집된 곤충들이라 지속적인 식용 곤충 산업의 성장을 위해서는 효율적으로 식용 곤충을 사육하는 방법과 곤충 식품을 혐오감없이 소비자들이 소비할 수 있게 하는 제조법의 개발이 필요하다.

현재 사육이 되고 있는 주요 식용 또는 사료용 곤충은 누에류, 꿀벌류, 귀뚜라미류, 굼벵이류와 파리류다. 빵잎을 먹는 가잠 누에는 60개국에서 사육되고 있으며, 실크 섬유를 방직한 후에 남은 번데기를 식용으로 사용하고 있다(Kim and Koh, 2022; Koh, 2020). 인도와 중국에서는 가잠 누에 이외에도 야생 누에 종인 산누에나방(*Antheraea pernyi*)과 참산누에나방(*Antheraea*

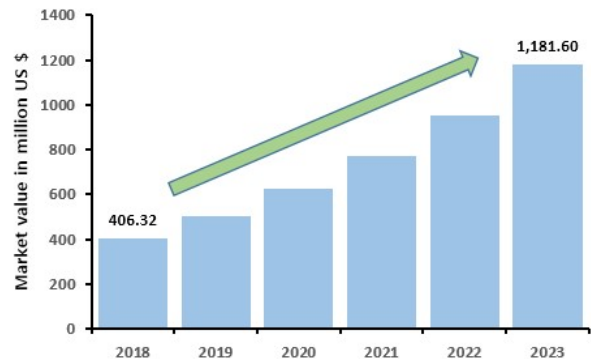


Fig. 3. Global edible insect market value forecast from 2018 to 2023 (Shahbandeh, 2018).

yamamai)과 밤나무산누에 나방(*Caligula japonica*) 등이 실크 섬유의 제조에 사용되고 남은 번데기를 식용으로 활용하고 있다(Das et al., 2020; Kim and Koh, 2022; Sharma and Kapoor, 2020). 현재 야생 누에들에 대한 실내 사육이 가능한 가축화가 진행이 되고 있다.

아시아와 유럽과 북미 대륙에서는 농장 사육 귀뚜라미를 식품의 원료로 변환시켜서 에너지바 또는 파스타면이나 과자와 같은 포장 식품을 제조하는데 사용하고 있다(Reverberi, 2020). 현재는 귀뚜라미를 키워서 원물 형태로 수요처에 공급을 하는 소규모 농장 사육 방법이 태국에서 많이 시행되고 있다(Hanboonsong et al., 2013). 그리고 공장식 사육 방법은 귀뚜라미를 대량으로 사육을 한 후에 가공을 하여 분말화 시킨 후, 수요처에 공급을 하는 공장식 식용 곤충 사육 방법으로 네덜란드나 캐나다에서 주로 활용되고 있다. 공장식 사육 방법으로 생산된 귀뚜라미들은 어류들의 양어에 사용되는 사료의 대체 단백질원으로도 사용되고 있다(Mohd Taufek et al., 2018).

갈색거저리(mealworms, *Tenebrio molitor*)는 경제적으로 중요한 식용 곤충의 하나로서 소규모 농장식 사육이나 대규모 공장식 사육이 진행되고 있다. 현재 전 세계의 여러 나라에서 생산되고 있는 갈색거저리 유충은 애완동물과 양식 물고기의 사료와 사람용 식품의 단백질 원으로 사용하고 있다(Grau et al., 2017; Ribeiro et al., 2018). 갈색거저리 유충 섭취 가능 부분의 영양 성분을 보면 조단백질의 함량이 13.68~22.32%이고 조지방의 함량은 8.9~19.94%이다. 그리고 갈색거저리 유충의 지방에는 불포화 지방산의 비율이 매우 높고, 다양한 희귀 미네랄 성분들이 아연과 마그네슘 등이 풍부하다(Nowak et al., 2016). 앞으로 귀뚜라미나 갈색거저리 유충이 식용 곤충으로 더 광범위하게 이용되기 위해 해결해야 할 사항은 이들을 사육하는데 이용되는 사료가 농산물인 경우 작물보호제, 축산물의 경우는 인축 공통 감염병 원인 균이나 바이러스에 오염되지 않은 안전성을 확보하고 실증하는 것이다(Grau et al., 2017).

현재 광범위하게 사육이 되고 있는 또 다른 곤충은 아메리카 동애등에로 가축이나 가금류의 분뇨를 유용한 생물자원(biomass)으로 전환시켜 주는 목적으로 사용되고 있다. 최근의 아메리카 동애등에의 대량 사육에 관련된 연구에 따르면 게인스빌 사료(50% 밀기울, 30% 알팔파와 20% 옥수수)로 사육된 대조군 동애등에 유충군과 가금류의 배설물이나 돼지의 분뇨나 소의 분뇨로 각각 사육된 동애등에 유충의 체중이 커다란 차이가 없다고 보고하였다(Miranda et al., 2020). 이 결과는 환경 오염 문제 때문에 처리 비용이 많이 들어가는 가축과 가금류의 분뇨를 동애등에의 먹이로 사용하여 유용한 생물자원으로 전환시켜서 가축이나 양식 어류의 사료로 활용할 수 있음을 보여주

고 있다(Wang and Shelomi, 2017). 아메리카동애등에는 분뇨를 사료로 활용할 수 있어서 뛰어난 경제성을 가지고 있어서 아프리카의 여러 나라를 포함하여 전 세계적으로 많은 나라들에서 농가 수준의 소규모에서 공장 수준의 대규모 사육이 진행되고 있다. 예를 들자면 케냐에서는 일 년에 대략 3천톤의 아메리카동애등에가 생산되어 가축과 양식 어류의 사료로 활용되고 있어서, 어족자원의 보호에도 도움을 주고 있다. 그리고 사육 과정 중 나오는 아메리카동애등에의 배설물들은 뛰어난 비료로서 또 다른 소득원이 될 수 있다(Filou, 2021).

약용 곤충(Entomotherapy): 퇴행성 질환 치료를 위한 새로운 대안

영양분의 부족과 질병과의 연관성에 대해서 가장 잘 설명하는 문장은 “음식이 약이고 약이 음식이다”라는 문장이다. 이 문장을 누가 최초로 언급 했는지에 대한 논란은 있지만, 중요한 것은 많은 질환들이 섭취하는 영양분의 불균형에서 기인함을 기원 전부터 이해하고 있었다는 것이다(Cardenas, 2013). 작물 보호제와 화학 비료 등의 농업 기술이 발달하기 전, 음식물이 부족한 시기에도 곤충은 구황 식품 만이 아니라 질병의 치유에 오래 전부터 활용되어 왔다(Table 1)(Kim et al., 2019b; Tang et al., 2019).

중국에서는 대략 300종 이상의 곤충이 1,700여개의 고전 중국 의학 처방에 활용되어 왔다(Feng et al., 2009). 인도의 나갈랜드 주에서는 오래 전부터 50종 이상의 곤충이 인간의 감기, 소화불량, 관절염, 복통과 피부 질환 등에 치료에 활용되어 왔다. 그 중에서도 알락가리 곤충들은 피부질환 치료에서 매우 높은 효능을 보이는 것으로 보고 되고 있다(Mozhui et al., 2021). 앞선 식용 곤충 부분에서 언급된 Pliny the Elder의 작품인 *Naturalis Historiae*에는 곤충을 약용으로 활용한 언급이 되어있다. 딱정벌레목, 벌목, 메뚜기목과 매미목 곤충들을 피부병, 소화불량, 호흡기 질환, 생식기 질환, 순환계 질환, 신경계 질환, 근육 계통 질환과 면역 계통 질환에 활용하였다고 한다(Chantawannakul, 2020). 그리고 Pedanius Dioscorides는 그의 저서인 *Materia medica*와 *On Poisonous Animals*에서 곤충을 이용한 질병의 치료에 관하여 언급을 했다. 예를 들자면, 빈대는 사일 열의 치료에, 기름에 튀긴 바퀴벌레는 귀의 통증에, 튀긴 매미는 요통에, 메뚜기와 풀무치는 여성의 무뇨증 치료에 사용된다고 언급을 하였다. 브라질 북쪽 Bahia지역에서는 42종 이상의 곤충이 민간 요법으로 두통, 어지러움증, 천식, 감기, 관절염, 눈병, 뱀에 물린 후 질환의 치료에 활용되고 있다고 한다(Costaneto, 2002). 멕시코에서는 210종 이상의 곤충이 민간요법으

Table 1. Insects used to treat diseases

Common Name	Scientific Name	Disease Treated	Reference
May Beetle	<i>Melolontha vulgaris</i>	Scratches, Anemia, Rheumatism	Mozhui et al., 2021
House Fly	<i>Musca domestica</i>	Eye cysts, Baldness	Alves and Alves, 2011
Cicada	<i>Huechys sanguinea</i>	Migraine headache, Ear infection	Eraldo, 2005
Red velvet mite	<i>Trombidium grandissimum</i>	Malaria, Urogenital disorders, Paralysis, Aphrodisiac	Eraldo, 2005
Cattle tick	<i>Boophilus microplus</i>	Chickenpox	Eraldo, 2005
Ground beetle	<i>Scarites spp.</i>	Suture wounds	Eraldo, 2005
Ghost moth	<i>Hepialus obliquifurcus</i>	Fortifier	Eraldo, 2005
Giant skipper	<i>Aegiale hesperiaris</i>	Rheumatism, Aphrodisiac	Eraldo, 2005
Palm beetle	<i>Pachymerus nucleorum</i>	Earache	Alves and Alves, 2011
Mud wasps	<i>Synagris spp. Sceliphron spp.</i>	Provide calcium to the fetus	Eraldo, 2005
Stingless bee	<i>Trigona spinipes</i>	Cough, Acne	Ferreira et al., 2009

로 사용되고 있다. 가장 많이 사용되는 곤충은 딱정벌레목, 벌목, 메뚜기목과 노린재목에 속하는 곤충이다. 개미들을 관절염, 수두 등의 치료에 사용을 하였고, 귀뚜라미는 비뇨기계 질환 치료에 활용을 하였다(Costa-Neto, 2005; Ramos-Blorduy et al., 1988).

아프리카에서는 곤충이 질환의 치료를 위한 민간 요법에 광범위하게 사용되고 있다(Costa-Neto, 2005). 예를 들자면 나이지리아에서는 귀뚜라미의 내장 추출물을 피부 상처의 치료에 활용을 하고, 아프리카 전역에서 감기 치료에 벌꿀을 이용한다. 소말리아에서는 창상의 치료에 흰개미를 이용하고, 말벌이나 흰개미를 그들의 집과 같이 갈아서 임신부가 섭취를 하기도 한다. 자이레에서는 메뚜기를 갈아서 두통의 치료에 사용하고 잠비아에서는 메뚜기를 고혈압 치료에 사용하기도 한다. 남아프리카공화국에서는 메뚜기를 어린이들의 영양 불균형 해소와 약용 치료에 사용하기도 한다.

우리나라에서는 오래전부터 곤충이 질병을 치유하기 위한 민간요법으로 사용되었다(Kim et al., 2019a, 2014; Kim and Koh, 2022; Koh, 2020; Park et al., 2022). 곤충을 이용한 민간요법은 동의보감 탕액편 층부에 소개되어 있는데 95종의 약물 중에서 25개가 곤충에서 유래된 것으로 이들을 이용한 질병 치유와 건강 유지 방법이 나와있다(Kim and Koh, 2022; KIOM, 2021). 그 중에는 벌과 관련된 약물로 백밀(흰꿀)은 오장을 편하게 하고 기를 살린다고 하고, 봉자(벌의 새끼)는 볶아 먹으면 대소변을 원활하게 하고 대하를 치료한다고 한다. 밀랍은 창상의 치료에, 백랍은 골절이나 근육 손상에, 나나니벌은 난청의 치료에, 노봉방(말벌집)은 피부병과 치통의 치료에 사용한다고 나와있다. 누에와 관련된 약물은 백강잠의 경우 기미와 창의 흉터를 없애고 피부병의 치료에 사용되고, 잠용자(누에 번데

기)는 환자의 원기 회복에 사용되고, 원잠아(누에수컷성충)는 성기능 개선에, 잠사(말린 누에 똥)는 마비를 치료하는데, 잠포지(누에 알 껍질이 붙어있는 종이)는 여성용 약으로 사용되고, 신면(햇명주솜)은 오치와 하혈에 주로 사용한다고 언급되어 있다. 그리고 굼벵이의 경우 상처부위가 붓거나 꺾였을 때나 골절이 되었을 때 사용을 한다고 명시되어 있다.

최근에 들어서 식용으로의 곤충 만이 아니라, 곤충이 보유한 뛰어난 건강 개선 효과를 활용하여 건강기능식품이나 특수 의료용도 식품으로의 제작 연구가 활발히 이루어지고 있다(Kim et al., 2019a; 2014). 특히 앞서 언급된 약용 곤충들의 건강 증진 효과에 대한 연구가 활발히 진행이 되고 있다. 굼벵이의 경우는 간암과 간경화 등의 간질환에 효과가 있다고 구전으로 내려오는데 최근의 동물 실험 결과에 따르면 흰점박이 꽃무지와 장수풍뎡이의 추출물을 동시에 처리를 하면 간세포를 보호한다고 한다(Chon et al., 2012). 그리고 흰점박이 꽃무지의 유충(꽃뽕이)의 경우는 혈전 용해 효과도 있음이 동물실험으로 입증되었다(Choi et al., 2019). 가장 건강 증진 효과가 과학적으로 규명된 곤충은 누에이다. 누에는 발달 단계별로 다양한 기능이 규명된 상태이다(Kim et al., 2019a; Koh, 2020; Kim and Koh, 2022). 우선 5령3일 누에 유충을 동결 건조한 분말의 경우는 혈당 강하 효과가 있고(Ryu et al., 2002), 백강균에 감염된 누에 유충인 백강잠의 열수 추출물의 경우는 MPTP유도 파킨슨병 쥐 모델에서 도파민세포의 생존을 도와주는 것이 최근에 밝혀졌다(Lim et al., 2019). 그리고 용화되기 바로 전 단계의 노령 유충인 숙잠의 경우는, 수증기로 찌고 동결건조 하면 쉽게 유충 전체를 섭취할 수 있게 되고 다양한 기능이 있음이 동물 실험으로 밝혀졌다(Ji et al., 2016a, 2016b, 2015; Mai et al, 2022; Nguyen et al., 2016). 흉잠이라고 명명이 된, 익힌숙잠을 섭취

한 동물의 경우 다양한 기억력 개선 효과가 있었고(Nguyen et al., 2020; 2021), 파킨슨병 발병 억제 효과가 있으며(Ji et al., 2016c; Nguyen et al., 2016; Mai et al., 2022), 간기능 개선 및 간암 예방 효과(Cho et al., 2016)와 위장관 보호 효과가 있음이 구명됐다(Lee et al., 2017; Yun et al., 2017). 이러한 효과는 다양한 신호 전달 기전의 활성화와 더불어 미토콘드리아의 활성을 증진시켜서 세포의 생존력을 높여 주는 결과로 보고되었다(Kim et al., 2019a; Koh, 2020; Mai et al., 2022).

누에는 현재 약용으로 사용되는 딱정벌레목 곤충에 비하여 여러가지 장점을 가지고 있다. 우선 누에 유충의 표피는 매우 얇고 부드러워 동결건조 시키면 쉽게 인간이나 동물이 섭취할 수 있는 장점이 있다(Ji et al., 2019, 2017; Kim and Koh, 2022). 그리고 누에는 뽕잎 만을 먹고 작물보호제나 화학물질에 굉장히 민감하여 오염된 사료를 사용하면 사육이 불가능하기에 생산된 제품의 안전성이 보장된다. 하지만, 사료용 뽕나무 잎을 생산하는 밭과 누에를 키울 잡실을 필요로 하고, 단기간에 많은 노동력이 투입되어야 해서, 생산 단가가 높다는 단점이 있다(Ji et al., 2015; Kim and Koh, 2022; Koh, 2020). 그러므로, 풍뎅이류나 귀뚜라미류를 생산하는 곤충 사육 농가와 누에를 생산하는 양잠 농가 간에는 제품을 차별화 시켜서 곤충 사육 농가는 저탄소 단백질 원료로서 공급을 하고, 양잠 농가는 생산량은 적지만 높은 부가 가치를 가지는 건강기능식품이나 생약의 원료로 특화시켜 나갈 필요가 있다. 하지만, 현재 누에 산물 중에서 한약(생약) 원료로 한약(생약)공전에 등록된 것은 누에의 분변인 잠사와 백장잠 뿐이라서(NHMI, 2021), 현재 기능성이 전 임상과 임상시험으로 확인 된 누에 유충 산물에 대한 생약 등록 연구가 필요하다.

기후변화와 고령화 문제 해결을 위한 양잠과 곤충 산업

기후변화로 태풍(지역에 따라서는 사이클론 또는 허리케인으로 불리움)과 폭염과 폭우 같은 재난이 더 자주 발생할 가능성이 커지고 있다(EPA, 2021). 기후 재난 발생 지역은 식량 생산 기반이 파괴되기 때문에 단기간 내에 단백질의 공급을 위해서는 사육 기간이 짧고 작은 공간과 사료전환률이 높은 식용 곤충이 중요한 역할을 할 수 있다(van Huis and Oonincx, 2017). 특히 다양한 먹이로 사육이 가능한 곤충 중의 경우는 인간이 식용으로 사용할 수는 없는 피해를 입은 농작물들을 활용하여 사육이 가능하므로, 재난 대응 시에 중요한 역할을 할 수 있을 것으로 예측된다.

선진국들이 직면한 또 다른 문제는 의생명과학의 발달과 개인 위생 수준 향상으로 기대수명이 급격히 늘어나서 노인 인구

가 급증 하고 있다는 것이다(Kontis et al., 2017). 노인들은 한 가지 이상의 퇴행성 질환으로 고통을 받고 있어서, 국가와 개인이 지불하는 보건 의료 비용이 급증하고 있다(OECD, 2019). 최근에 누에 산물 중 익힌숙잠의 건강 증진 효과에 대한 연구에서 실험 동물의 기대 수명 증진과 더불어 질병 없이 생존하는 건강 수명의 증대 효과가 있음이 보고되었다(Kim et al., 2019a; Koh, 2020; Mai et al., 2022). 앞서 언급하였듯이 익힌숙잠은 다양한 기능성을 가지고 있어서 “홍잠”이라고 명명이 되었다. 홍잠의 건강 수명 증대 효과는 미토콘드리아의 기능 증진이 중요한 기전 중 하나라고 밝혀졌다(Kim et al., 2019a; Koh, 2020; Mai et al., 2022). 현재 건강 수명을 증진시켜 줄 수 있는 유일한 방법은 소식(Calorie restriction)으로 하루에 섭취하는 열량을 줄이고 규칙적인 운동으로 신체와 정신을 건강하게 유지하는 것이다(Testa et al., 2014). 소식의 분자 세포 생물학적인 특징은 미토콘드리아의 기능 향상이라고 알려져 있어서, 최근 약물학의 중요한 목표 중의 하나는 소식과 규칙적인 운동에 따른 칼로리 제한 효과를 모방할 수 있는 약물(Calorie restriction mimetic, CRM)을 개발하는 것이다. CRM이 가져야 할 중요한 조건 중의 하나는 미토콘드리아의 기능을 활성화 시켜 주는 것이다(Madreiter-Sokolowski et al., 2018; Testa et al., 2014; Theurey and Pizzo, 2018; Willmes, 2020). 익힌숙잠은 CRM이 갖춰야 할 가장 중요한 조건을 갖춘 기능성 식품이다(Kim et al., 2019a).

종합하자면, 양잠과 식용 곤충 산업은 향후 인간의 생존을 위해서 해결해야 할 가장 심각한 두 가지 문제점을 해결하는데 중요한 역할을 할 것으로 사료된다. 곤충은 지구 상에 가장 오래 전에 나타나서 가장 번성한 동물로서 인간의 생존과 무관하게 앞으로도 지구에 살아 갈 것이다. 이러한 곤충이 가지는 다양한 장점을 활용하면 인류는 지구와 인간의 공존이라는 새로운 방식을 찾아 낼 수 있을 것이다.

사 사

본 연구는 농촌진흥청이 지원하는 연구비(PJ0170242022, 홍잠의 기능성분 구명 및 ICT 기반 안정생산 체계 구축)에 의하여 수행되었다.

저자 직책 & 역할

김아영: 한림대학교 일송생명과학연구소, 연구원, 논문기획, 문헌 조사 및 분석, 논문 작성
김기영: 국립농업과학원 농업 생물부, 농업연구관, 문헌 조

사 및 분석, 논문 작성
 최희정: 서울대학교 농생명과학공동기기원, 문헌 조사 및 분석, 논문 작성
 박현우: (주)헬스파크, 대표 이사, 문헌 조사 및 분석, 논문 작성
 고영호: 한림대학교 일생생명과학연구소, 교수, 논문 기획, 문헌 조사 및 분석, 논문 작성, 논문 투고

Literature Cited

- Akhtar, M., 2020. In India's Northeast, a rich tradition of insect foods. *Science The WIRE*. <https://science.thewire.in/environment/assam-entomophagy-silkworms-proteins-silk/> (accessed on 29 July, 2022).
- Alves, R.R., Alves, H.N., 2011. The faunal drugstore: animal-based remedies used in traditional medicines in Latin America. *J Ethnobiology Ethnomedicine* 7, 9.
- Cardenas, D., 2013. Let not thy food be confused with thy medicine: the Hippocratic misquotation. *ESPEN J* 8, e260-e262.
- Chantawannakul, P., 2020. From entomophagy to entomotherapy. *Front Biosci* 25, 179-200.
- Cho, J.-M., Kim, K.-Y., Ji, S.-D., Kim, E.-H., 2016. Protective effect of boiled and freeze-dried mature silkworm larval powder against diethylnitrosamine-induced hepatotoxicity in mice. *J. Cancer Prev* 21, 173-181.
- Choi, Y.C., 2013. The trend in China's insect industry. *World Agriculture* 159, 1-19.
- Choi, I.-H., Yu, R., Lim, Y.-J., Choi, G.-S., Choi, S.-U., Hwang, J.-I., Son, J.-S., Chung, T.-H., 2019. Antithrombotic efficacy of *Protaetia brevitarsis* extract. *J. Environ. Sci. Int* 28, 639-643.
- Chon, J.-W., Kweon, H., Jo, Y.-Y., Yeo, J., Lee, H.S., 2012. Protective effects of extracts of *Protaetia brevitarsis* on carbon tetrachloride-induced hepatotoxicity in the mice. *J. Seric. Entomol. Sci* 50, 93-100.
- Costa-Neto, E.M., 2002. The Use of insects in folk medicine in the state of Bahia, Northeastern Brazil, with notes on insects reported elsewhere in Brazilian folk medicine. *Hum. Ecol* 30, 245-263.
- Costa-Neto, E.M., 2005. Entomotherapy, or the medicinal use of insects. *J. Ethnobiol* 25, 93-114.
- Das, S., Kumar, B., Singh, D., 2020. Host plant diversity of non-mulberry silkworms: A review. *J. Pharmacogn. Phytochem* 3, 109-113.
- EPA, 2021. Climate change indicators: greenhouse gases. United States Environmental Protection Agency. <https://www.epa.gov/climate-indicators/greenhouse-gases> (accessed on 29 July, 2022).
- Feng, Y., Chen, X.M., Zhao, M., He, Z., Sun, L., Wang, C.Y., Ding, W.F., 2018. Edible insects in China: utilization and prospects. *Insect Sci* 25, 184-198.
- Feng, Y., Zhao, M., He, Z., Chen, Z., Sun, L., 2009. Research and utilization of medicinal insects in China. *Entomol. Res* 39, 313-316.
- Ferreira, F.S., Brito, S.V., Ribeiro, S.C., Almeida, W.O., Alves, R.R., 2009. Zootherapeutics utilized by residents of the community Poço Dantas, Crato-CE, Brazil. *J. Ethnobiol* 5, 21.
- Filou, E., 2021. Africa: all the buzz about edible insects, the africa report, Canada. <https://www.theafricareport.com/79262/insects-are-big-business-as-food-for-animals-and-people/> (accessed on 29 July, 2022).
- Gerber, P.J., Steinfeld, H., Henderson, B., Mottet, A., Opio, C., Dijkman, J., Falcucci, A., Tempio, G., 2013. Tackling climate change through livestock - a global assessment of emissions and mitigation opportunities. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome.
- Govorushko, S., 2019. Global status of insects as food and feed source: a review. *Trends Food Sci. Technol* 91, 436-445.
- Grau, T., Vilcinskas, A., Joop, G., 2017. Sustainable farming of the mealworm *Tenebrio molitor* for the production of food and feed. *Z. Naturforsch., C, J. Biosci* 72, 339-349.
- Hanboonsong, Y., Jamjanya, T., Durst, P.B., 2013. Six-legged livestock: edible insect farming, collection and marketing in Thailand. RAP Publication 3, FAO Rgional office for Asia and the Pacific, Bangkok.
- Ji, S.D., Kim, N.S., Kweon, H., Choi, B.H., Kim, K.Y., Koh, Y.H., 2016a. Nutrition composition differences among steamed freeze-dried mature silkworm larval powders made from 3 *Bombyx mori* varieties weaving different colored cocoons. *Int. J. Indust. Entomol* 33, 6-14.
- Ji, S.D., Kim, N.S., Kweon, H., Choi, B.H., Yoon, S.M., Kim, K.Y., Koh, Y.H., 2016b. Nutrient compositions of *Bombyx mori* mature silkworm larval powders suggest their possible health improvement effects in humans. *J. Asia-Pacific Entomol* 19, 1027-1033.
- Ji, S.D., Kim, N.S., Lee, J.Y., Kim, M.J., Kweon, H., Sung, G., Kang, P.D., Kim, K.Y., 2015. Development of processing technology for edible mature silkworm. *J. Seric. Entomol. Sci* 53, 38-43.
- Ji, S.-D., Kim, S.-B., Kim, K.-Y., Kim, N.-S., Kim, S.-W., Jo, Y.-Y., Kim, J.-G., Kim, Y.-K., Seok, Y.-S., Lim, J.R., Koo, H.-Y., Lee, H.-T., 2019. Contents of nutrients in ultra-fine powders of steamed and lyophilized mature silkworms generated by four silkworm varieties. *J. Asia-Pacific Entomol* 22, 969-974.
- Ji, S.D., Son, J.G., Kim, S., Kim, N.S., Kim, K.Y., Kweon, H., Sung, G.K., Koh, Y.H., 2017. Production techniques to improve the quality of steamed and freeze-dried mature silkworm larval powder. *Int. J. Indust. Entomol* 34, 1-11.
- Ji, S.D., Son, J.G., Koh, Y.H., 2016c. Some skeletons in the mature silkworm larvae: not only spinning silk threads but also preventing Parkinson's disease. *J. Alzheimers Dis. Parkinsonism* 6, 7.
- Ketchell, M., 2019. Why we're involved in a project in Africa to

- promote edible insects. The Conversation. <https://theconversation.com/why-were-involved-in-a-project-in-africa-to-promote-edible-insects-125828> (accessed on 29 July, 2022).
- Kim, K.-Y., Koh, Y.H. 2022. The past, present and future of silkworm as a natural health food. *Food Sci. Ind.* 55, 154-165.
- Kim, K.-Y., Osabutey, A.F., Nguyen, P., Kim, S.B., Jo, Y.-Y., Kweon, H.Y., Lee, H.-T., Ji, S.-D., Koh, Y.H., 2019a. The experimental evidences of steamed and freeze-dried mature silkworm powder as the calorie restriction mimetics. *Int. J. Indust. Entomol.* 39, 1-8.
- Kim, M.A., Hwang, J.S., Yun, E.Y., Kang, P.D., 2014. Edible & medicinal insects, RDA Interrogang. Rural Development Administration, Suwon, Republic of Korea.
- Kim, T.-K., Yong, H.I., Kim, Y.-B., Kim, H.-W., Choi, Y.-S., 2019b. Edible insects as a protein source: a review of public perception, processing technology, and research trends. *Food Sci. Anim. Resour.* 39, 521-540.
- KIOM, 2021. Oriental Medicine Classic DB. Korea Institute of Oriental Medicine, Daejeon. <https://medicclassics.kr/books/8/volume/21> (accessed on 29 July, 2022).
- Koh, Y.H., 2020. The memory enhancement and healthspan extension effects of HongJam. The Policy Report of National Institute for Korean Medicine Development 5, 22-33.
- Kontis, V., Bennett, J.E., Mathers, C.D., Li, G., Foreman, K., Ezzati, M., 2017. Future life expectancy in 35 industrialised countries: projections with a Bayesian model ensemble. *Lancet* 389, 1323-1335.
- Lee, D.Y., Cho, J.M., Yun, S.M., Hong, K.S., Ji, S.D., Son, J.G., Kim, E.H., 2017. Comparative effect of silkworm powder from 3 *Bombyx mori* varieties on ethanol-induced gastric injury in rat model. *Int. J. Indust. Entomol.* 35, 14-21.
- Lim, H.S., Kim, J.S., Moon, B.C., Ryu, S.M., Lee, J., Park, G., 2019. *Batryticatus Bombyx* protects dopaminergic neurons against MPTP-Induced neurotoxicity by inhibiting oxidative damage. *Antioxidants* 8, 574.
- Madreiter-Sokolowski, C.T., Sokolowski, A.A., Waldeck-Weiermair, M., Malli, R., Graier, W.F., 2018. Targeting mitochondria to counteract age-related cellular dysfunction. *Genes* 9, 165.
- Mai, L.X., Kang, S.-K., Jo, Y.-Y., Nguyn, P., Kim, A.-Y., Kim, K.-Y., Kim, N.S., Koh, Y.H., 2022. an alkaline protease-digestion of silkworm powder enhances its effects over healthspan, autophagy, and mitochondria function in a Rotenone-induced *Drosophila* model. *Front. Nutr.* 9, 808295.
- Miranda, C.D., Cammack, J.A., Tomberlin, J.K., 2020. Mass production of the black soldier fly, *Hermetia illucens* (L.), (Diptera: Stratiomyidae) reared on three manure types. *Animals* 10, 1243.
- Mitsuhashi, J., 2016. Edible insects of the world. CRC press, Boca Raton, FL.
- Mohd Taufek, N., Simarani, K., Muin, H., Aspani, F., Raji, A., Alias, Z., Abdul Razak, S., 2018. Inclusion of cricket (*Gryllus bimaculatus*) meal in African catfish (*Clarias gariepinus*) feed influences disease resistance. *J. Fish.* 6.
- Mozhui, L., Kakati, L.N., Meyer-Rochow, V.B., 2021. Entomotherapy: a study of medicinal insects of seven ethnic groups in Nagaland, North-East India. *J. Ethnobiol.* 17, 17.
- Nguyen, P., Kim, K.-Y., Kim, A.Y., Choi, B.-H., Osabutey, A.F., Park, Y.H., Lee, H.-T., Ji, S.D., Koh, Y.H., 2020. Mature silkworm powders ameliorated scopolamine-induced amnesia by enhancing mitochondrial functions in the brains of mice. *J. Funct. Foods* 67, 103886.
- Nguyen, P., Kim, K.-Y., Kim, A.Y., Kang, S., Osabutey, A.F., Jin, H., Guo, Y., Park, H., Suh, J.-W., Koh, Y.H., 2021. The additive memory and healthspan enhancement effects by the combined treatment of mature silkworm powders and Korean angelica extracts. *J. Ethnopharmacol.* 281, 114520.
- Nguyen, P., Kim, K.Y., Kim, A.Y., Kim, N.S., Kweon, H., Ji, S.D., Koh, Y.H., 2016. Increased healthspan and resistance to Parkinson's disease in *Drosophila* by boiled and freeze-dried mature silk worm larval powder. *J. Asia-Pacific Entomol.* 19, 551-561.
- NHMI, 2021. National Herbal Medicine Information (NHMI), Cheongju, Korea.
- Niassay, S., Ekesi, S., 2021. Eating insects has long made sense in Africa. The world must catch up. in: Ketchell, M (Ed.), The Conservation Media Group Ltd., Camden, ME.
- Nowak, V., Persijn, D., Rittenschober, D., Charrondiere, U.R., 2016. Review of food composition data for edible insects. *Food Chem.* 193, 39-46.
- OECD, 2019. Health at a galnce 2019. OECD Publishing, Paris.
- Oonincx, D.G.A.B., van Itterbeeck, J., Heetkamp, M.J.W., van den Brand, H., van Loon, J.J.A., van Huis, A., 2011. An exploration on greenhouse gas and ammonia production by insect species suitable for animal or human consumption. *PLOS ONE* 5, e14445.
- Park, S.J., Kim, K.Y., Baik, M.Y., Koh, Y.H., 2022. Sericulture and the edible-insect industry can help humanity survive: insects are more than just bugs, food, or feed. *Food Sci. Biotechnol.* 31, 657-668.
- Poshadri, A., Palthiya, R., Shiva Charan, G., Butti, P., 2018. Insects as an alternate source for food to conventional food animals. *Int. J. Pure App. Biosci.* 6.
- Ramos-Blorduy, J., En, M., Moreno, C., 1988. The utilization of insects in the empirical medicine of ancient Mexicans. *J. Ethnobiol.* 8, 195-202.
- Reverberi, M., 2020. Edible insects: cricket farming and processing as an emerging market. *J. Insects Food Feed* 6, 211-220.
- Ribeiro, N., Abelho, M., Costa, R., 2018. A review of the scientific literature for optimal conditions for mass rearing *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae). *J. Entomol. Sci.* 53, 434-454.
- Ritchie, H., 2019. Half of the world's habitable land is used for agriculture, Our World in Data. Oxford Martin School. <https://ourworldindata.org/global-land-for-agriculture> (accessed on 29

- July, 2022).
- Ryu, K.S., Lee, H.S., Kim, I.S., 2002. Effects and mechanisms of silkworm powder as a blood glucose-lowering agent. *Int. J. Indust. Entomol.* 4, 93-100.
- Schabereiter-Gurtner, C., Saiz-Jimenez, C., Piñar, G., Lubitz, W., Rölleke, S., 2002. Altamira cave Paleolithic paintings harbor partly unknown bacterial communities. *FEMS Microbiol. Lett.* 211, 7-11.
- Shahbandeh, M., 2018. Forecast market value of edible insects worldwide from 2018 to 2023. Stastita, Hamburg, Germany. <https://www.statista.com/statistics/882577/global-number-edible-insect-species/> (accessed on 29 July, 2022).
- Sharma, K., Kapoor, B., 2020. Sericulture as a profit-based industry - a review. *Ind. J. Pure App. Biosci.* 8, 550-562.
- Sirimungkararat, S., Saksirirat, W., Nopparat, T., Natongkham, A., 2010. Edible products from eri and mulberry silkworms in Thailand, forest insects as food: humans bite back. FAO UN Regional office for Asia and the Pacific, Bangkok, Thailand, pp. 189-200.
- Sun-Waterhouse, D., Waterhouse, G.I., You, L., Zhang, J., Liu, Y., Ma, L., Gao, J., Dong, Y., 2016. Transforming insect biomass into consumer wellness foods: a review. *Food Res. Int.* 89, 129-151.
- Tang, C., Yang, D., Liao, H., Sun, H., Liu, C., Wei, L., Li, F., 2019. Edible insects as a food source: a review. *Food Sci. Nutr.* 1, 8.
- Tang, P., 2014. The 10 tastiest insects and bugs in Mexico. *Lonely Planer*. <https://www.lonelyplanet.com/articles/the-10-tastiest-insects-and-bugs-in-mexico> (accessed on 29 July, 2022).
- Testa, G., Fiorella, B., Giuseppe, P., Elena, C., 2014. Calorie restriction and dietary restriction mimetics: A strategy for improving healthy aging and longevity. *Cur. Pharm. Des.* 20, 2950-2977.
- Theurey, P., Pizzo, P., 2018. The aging mitochondria. *Genes* 9, 22.
- Tunes, S., 2020. Entomophagy: edible insects. *Pesquisa Fapesp Magazine*. <https://revistapesquisa.fapesp.br/en/edible-insects/> (accessed on 29 July, 2022).
- van Huis, A., 2013. Potential of insects as food and feed in assuring food security. *Ann. Rev. Entomol.* 58, 563-583.
- van Huis, A., Itterbeek, J.V., 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, Rome.
- van Huis, A., Oonincx, D.G.A.B., 2017. The environmental sustainability of insects as food and feed. a review. *Agron. for Sustain. Dev.* 37, 43.
- Wang, Y.-S., Shelomi, M., 2017. Review of black soldier fly (*Hermetia illucens*) as animal feed and human food. *Foods* 6, 91.
- Willmes, C., 2020. Mitochondria - a powerful therapeutic target. *Trends Mol. Med.* 26, 1-2.
- Xu, X., Sharma, P., Shu, S., Lin, T.-S., Ciais, P., Tubiello, F.N., Smith, P., Campbell, N., Jain, A.K., 2021. Global greenhouse gas emissions from animal - based foods are twice those of plant - based foods. *Nat. Food* 2, 724-732.
- Yen, A., 2015. Insects as food and feed in the Asia Pacific region: current perspectives and future directions. *J. Insects Food Feed* 1, 33-55.
- Yun, S.-M., Cho, J.-M., Hong, K.-S., Lee, D.-Y., Ji, S.-D., Son, J.-G., Kim, E.-H., 2017. Gastroprotective effect of mature silkworm, *Bombyx mori* against ethanol-induced gastric mucosal injuries in rats. *J. Funct. Foods* 39, 279-286.