

식품과학과 산업 Vol. 55, No. 2, pp. 166~175 (2022)

<https://doi.org/10.23093/FSI.2022.55.2.166>

환경친화적 식량생산을 위한 꿀벌의 다원적 가치

Multi-functionality of honey bees for eco-friendly food production

정철익^{1,2*}

Chuleui Jung^{1,2*}

¹안동대학교 식물 의학과, ²안동대학교 농업과학기술연구소

¹Department of Plant Medicinals, Andong National University, ²Agricultural Science and Technology Research Institute, Andong National University

Abstract

Current food system has developed with the agricultural innovation to feed the increasing population of the world, but with high costs such as environmental contamination and inequality with low sustainability. Human has developed long history of mutualistic interaction with honey bee. This manuscript describes the multi-functionality of honey bee for food production. Firstly honey bee produces honey, bee pollen, royal jelly and propolis which are rich in functionality. Second honey bee serves as the main

pollinator for crop production which is worth for 28% of total crop production values in Korea. Lastly honey bee can be an alternative meat production system with lower energy, carbon costs but higher nutritional security.

This manuscript described those parts and discussed the multi-functionality of honey bees for eco-friendly food security pursuing lowered environmental cost and carbon-zero strategies in the climate change era.

Keywords: carbon-zero, security, pollination, honey, brood

*Corresponding author: Chuleui Jung,

Andong National University, 1375 Gyeongdong-ro, Andong-si, Gyeongsangbuk-do, 36729, Korea

E-mail: cjung@andong.ac.kr

Received May 23, 2022; revised May 29, 2022; accepted May 30, 2022



서론

인류는 이미 1만여년부터 꿀벌과 긴밀한 관계를 형성하며 꿀벌이나 꿀벌산물을 이용해 왔다(Ruttner, 1988; Roffet-Salque 등, 2015). 우리나라에도 이미 기원전 고구려 동명성왕 시절에 인도에서 중국을 거쳐 꿀벌이 전해져 왔다는 기록이 전해진다(Jung, 2014). 우리나라에는 동양종꿀벌(*Apis cerana*)과 서양종꿀벌(*Apis mellifera*) 2종이 서식한다. 1900년대 이전까지는 동양종꿀벌만이 존재하였으며 1900년대에 외국인 선교사에 의해서 최초로 서양종꿀벌이 도입되었다(Jung과 Cho, 2015). 지난 30여 년 동안 꿀벌은 기후 변화, 질병 등의 외부적 스트레스로

인한 피해를 받고 있으며, 특히 작년 겨울의 경우 월동꿀벌의 폐사 및 실종이 다수 보고되었다. 꾸준히 증가하는 인구에 따라 전 세계적으로 식량의 소비와 요구도는 꾸준히 증가하고 있지만, 경작 가능한 면적은 오히려 줄어들고 있다. 또한 농업 생산성 증대는 한계가 있으며 과도한 농약 및 비료 등의 투입은 오히려 농업생태계의 지속성을 심각하게 훼손할 뿐 아니라 생산성 증대에도 부정적 영향을 미친다. 또한 식량에 대한 요구 역시 예전에 탄수화물 중심의 에너지원 섭취 요구에서 단백질과 기능성 식품 요구가 높아지는 추세이다(Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO], International Fund for Agricultural Development [IFAD] & World

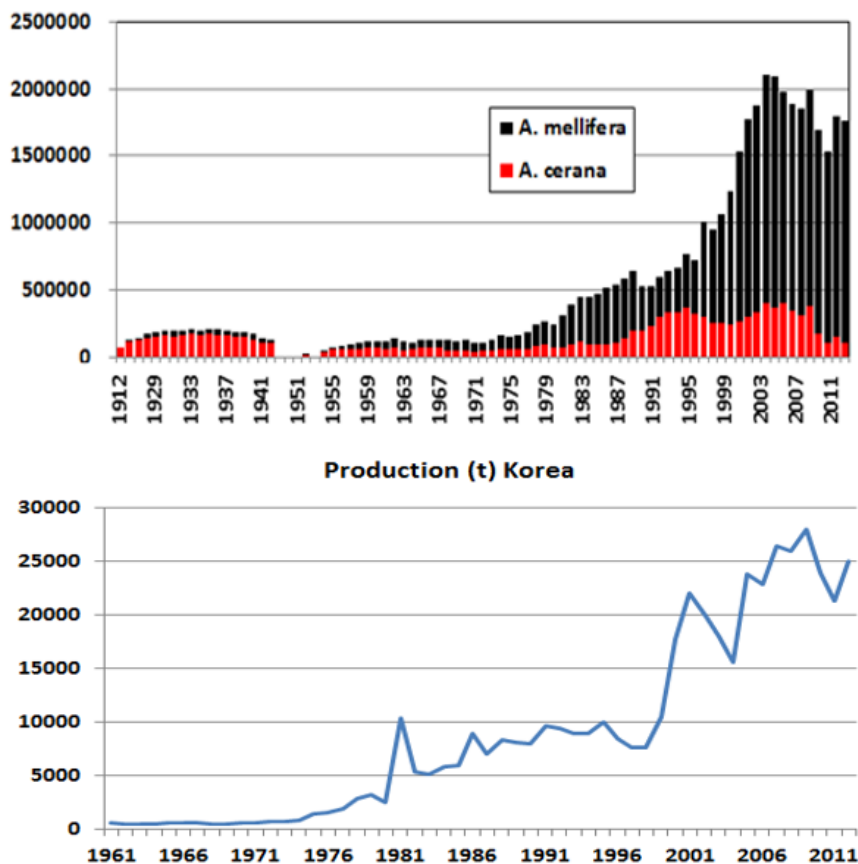


Fig. 1. Change of honey bee hives (*Apis cerana* and *Apis mellifera*) and honey production (tone) for last 100 yers in Korea (adopted from Jung과 Cho, 2015)

Table 1. Biological and functional effects of bee products (adopted from Yucel 등, 2017)

	Biological effects	Functional effects
Honey, pollen, royal jelly, propolis	antibacterial, fungicide, antiviral, antioxidative, immunomodulating, immunoactivating, anti-inflammatory, analgesic	inhibition of bacterai, fungi and virus, anti-cancer, stimulate immunity, acting against inflammation
Pollen, royal jelly, propolis	radioprotective, anti-arteriosclerotic, enhance Ca absorption	protect against radiation, artherosclerosis, osteoporosis
Honey	prebiotic (oligosaccharides), probiotic (microflora)	stimulate healthy digestion, promoting intestine bacteria
Royal jelly	antihypertensive, vasodilative, improve reproduction and nerve system	cardioprotective, energizing against stress and fatigues, protecting nerve system
Bee brood	increase broiler weight, egg production, androgenic effects	increase semen count, germ cell densit

Food Programme [WFP], 2015; International Food Policy Research Institute [IFPRI], 2022). 이는 단순 인구 증가 보다는 인구 연령 구성의 변화 및 사회경제적 요구 수준의 상승에 기인한 바 있겠다. 즉 증가하는 인구의 식량 수요와 까다로운 요구를 충족시키기 위한 막대한 책임이 농업에 있다고 볼 수 있다(Aizen 등, 2019). 이를 위해서는 농업 생산성 및 효율성의 증가, 농업 지속가능성이 확보되어야 한다. 이에, 이 논문은 꿀벌의 직접 식량 생산 기능, 꿀벌을 매개로 한 식량생산, 그리고 꿀벌 자체의 식량으로서의 가치에 대하여 기존 연구(Potts 등, 2010; Jung, 2014; IPBES, 2016; Gosh와 Jung, 2016)를 바탕으로 정리하여 향후 연구에 대한 방향성을 제공하고자 한다.

꿀벌이 직접 만들어 내는 식량

꿀벌이 생산하는 식량은 크게 벌꿀, 벌화분, 로열젤리, 프로폴리스 등이다. 한국양봉협회에 의하면 전체 봉산물 중 벌꿀이 70-80% 가장 많은 비율을 차지하며 프로폴리스, 로열젤리 및 화분 등이다. 우리나라의 경우 1900년-1970년대에는 동양종꿀벌이 서양종꿀벌에 비해 우세하였지만, 1970년대 말부터 서양종꿀벌의 사육 봉군수가 비약적으로 증가하여 2000년대 초반부터는 약 200만 봉군을 유지하

고 있다(Jung과 Cho, 2015). 동양종꿀벌은 2009년부터 지금까지 꿀벌 바이러스질병 중 하나인 낭충봉아부패병에 의해서 봉군 수가 크게 감소한 후 최근 다시 회복되고 있는 추세이다(Choi 등, 2010; Jung과 Lee, 2018). 반면 양봉꿀벌은 2000년대에 병해충, 서식처 변화, 밀원감소, 이상기상 등으로 인해 지속적으로 사육 봉군수가 등락하고 있다. 과거 100여년을 보면 벌꿀 생산은 봉군수의 변화에 힘입어 1980-90년대를 기점으로 비약적으로 증가한 모습을 보인다. 그러나 2000년대에 들어서 크게 변화하지 않고 오히려 연도에 따라서는 큰 폭의 감소도 관찰되고 있다. 즉 벌꿀의 생산량과 봉군 수는 비슷한 경향을 보이고 있으며(Fig. 1), 우리나라에서 생산할 수 있는 벌꿀은 약 25,000톤 내외가 되지 않을까 전망한다. 즉, 현재 국내 산림 및 농업생태계에서 안정적으로 생산가능한 벌꿀의 양은 약 2만5천톤 정도로 추산된다. 이 중 약 70%는 아카시아나무(*Robinia pseudoacacia*)에서 나오는 아카시아꿀, 약 10% 내외가 밤꿀(*Castanea crenata*), 약 20%가 잡화꿀이 차지하며, 최근 때죽나무꿀(*Styrax japonicus*)의 생산량이 증가하는 추세이다. 전 세계적으로 약 8천만 봉군의 꿀벌이 약 160만 톤의 벌꿀을 생산한다고 보고되었으며 그 중에서 중국, 인도, 터키와 에티오피아 등 20여 개의 양봉 강국에서 전체 벌꿀 생산량의 약 80%를 생산하고 있다(FAO Stat, 2022). 벌꿀은



인류가 오랫동안 향유해온 대표적인 단미료로서, 과거에는 배탈이나 기력 상승 등을 위한 “약”으로서의 기능이 더 높았지만 최근에는 생산량의 증가와 더불어 좀더 “식품”으로 자리 잡고 있다. 따라서 꿀벌의 기본 규격 역시 국제적으로는 Codex, 또는 국내에는 식품공전에서 정하고 있다. 최근 10여 년간 비약적으로 생산과 소비가 늘어난 양봉산물이 벌화분(bee pollen)이다. 꿀벌이 꽃을 방문하면 꽃꿀이나 꽃가루를 모아오게 되는 데, 일벌은 꽃가루를 모아서 화분과 로열젤리는 단백질 및 일부 지방산이 매우 풍부하며 이를 통해 국민들에게 기능성 먹거리를 공급할 수 있다. 최근 꿀벌 애벌레나 번데기(brood)나 벌떡(bee bread) 등도 새로운 먹거리로 개발되고 있다. 일부 알려진 기능성은 Table 1에 제시하였다.

꿀벌의 식량 생산 증대 역할

꿀벌은 화분매개를 통해 농작물의 식량 생산을 조절한다. 전 세계적으로 약 100여 가지의 작물 중 75% 이상이 꿀벌 화분 매개가 필수적인 작물이며, 이는 ‘화분매개 의존도’를 산출할 수 있다(Klein 등, 2007; Jung, 2008). 예를 들어 콩, 감, 굴과 파파야 등은 화분매개 의존도가 0-10%로 의존도가 낮지만, 유채, 참깨, 딸기 및 해바라기 등의 화분매개 의존도는 10-40%로 화분매개의 의존도가 상대적으로 높다. 사과, 배, 아보카도와 체리 등은 화분매개 의존도가 40-90%로 화분매개 의존도가 매우 높은 작물에 해당되며, 키위, 수박 참외와 호박 등은 꿀벌의 화분매개 의존도가 90-100%로 매우 높아 절대적으로 화분매개가 필수적인 작물이다. 반면, 우리나라 식량에 가장 많은 부분을 차지하는 쌀, 밀, 수수 등은 꿀벌의 화분매개 의존도가 매우 낮다.

전 세계적으로 33개 작물을 대상으로 334개의 포장 실험한 한 연구에서는 나라별 농업 생산량의 격차가 심하며, 이 농업 생산량의 격차의 원인의 약 75%는 농경지, 농약, 기계화 등과 같은 재배적 부분의 차이로 발생하며, 약 25%는 화분매개에 의해 결정된다

고 발표하였다(Garibaldi 등, 2016). 즉, 농업 생산량의 25%는 전적으로 화분매개 곤충의 밀도가 높을수록 농업 생산량이 증가할 수 있다는 것을 의미하며, 따라서 농업 생산량을 결정할 수 있는 가장 중요한 요인 중 하나가 꽃을 방문하는 화분매개자의 밀도라고 보고된 바 있다. 화분매개자는 크게 꿀벌과 야생벌로 나눌 수 있으며, 이들이 기여하는 농업 생산성 효율의 차이에 관한 여러 연구가 나오고 있다. 일부 작물의 경우 꿀벌보다 야생벌의 화분매개가 더 중요하다는 견해(Garibaldi 등, 2013)와 꿀벌과 같은 관리가능한 화분매개자의 활용이 필수적이라는(Martins 등, 2015) 주장은 모두 화분매개의 중요성을 설파한다. 꿀벌과 같은 화분매개자는 인위적인 관리가 가능하고 농업 생산성 향상을 위해 직접적으로 투입이 가능하지만, 야생의 화분매개자들의 밀도는 오로지 주변 서식처의 크기에 의해 결정된다. 즉, 농경지 주변의 자연 서식처가 충분히 확보되어 있지 않을 때는 야생 화분매개자들의 서비스를 받을 수 없으므로 궁극적으로 농업 생산성 증대를 위해서는 이러한 꿀벌과 같이 관리가 가능하며 직접 투입이 가능한 화분매개자의 활용이 매우 중요하다고 강조하고 있다.

화분매개를 통한 농업 생산성의 가치에 대한 연구는 전 세계적으로 이루어지고 있다. Levin(1983)은 미국에서 꿀벌이 화분매개를 통해 농작물 생산에 기여하는 가치는 꿀벌의 봉산물 생산의 가치의 약 143배로 추정했다. IPBES (Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, 2016)는 국제적으로 화분매개 서비스의 가치는 약 250-600조 원이라고 보고하였다. 국내에서는 Jung(2008)이 국내 농작물 생산에 기여하는 꿀벌 화분매개의 가치를 약 5.9조 원이라고 평가하였다. 최근 Jung과 Shin(2022)은 주곡 작물에서 화분매개 서비스에 의한 생산량은 0.2%지만, 과실류의 경우 생산량의 약 42%, 노지 채소류는 약 13.8%, 그리고 시설 채소류는 49.2%가 화분매개에 의존한다고 보고하였다. 또한, 유류 작물을 포함한 특용 작물 생산량의 약 35.9%가 실제로 화분매개에

Table 2. Distribution of pollination dependant (PD) production quantity and its economic value (adopted from Jung과 Shin, 2022)

Category	Production (ton)		Proportion (%)	Economic value (b W)		Proportion (%)
	Total	PD		Total	PD	
Cereal	5,115,627	11,492	0.2	6,320	42 (40-44)	1
Fruits	2,539,016	1,090,489	42.9	6,018	2,431 (2310-2553)	40
Field vegetables	6,091,894	838,219	13.8	7,599	1,920 (1824-2016)	25
Greenhouse vegetables	1,590,271	782,696	49.2	3,821	2,108 (2002-2213)	55
Specialty	50,405	18,107	35.9	724	349 (331-366)	48
Total	15,387,213	2,741,004	17.8	24,481	6,850 (6508-7193)	28

의존한다고 발표했다. 따라서, 전국적으로 모든 농작물을 대상으로 볼 때, 생산량의 17.8%가 화분매개에 의존하고 있으며, 생산액을 기준으로 보면, 24조원의 농작물 생산액 중 28%인 6.8조원 정도가 곤충의 화분매개에 의존한다고 보고하였다.

이렇듯 6.8조원에 달하는 화분매개 서비스는 꿀벌과 기타 야생화분매개곤충에 의해 이루어진다. 꿀벌과 야생화분매개곤충의 효율이 같다고 가정한다면, 결국 방화 밀도에 의해 두 집단의 화분매개 서비스 비중이 결정된다. 다양한 농생태계에서 꿀벌의 방화 비율이 70% 정도에 이른다는 점에 기반하면, 6.8조원의 70%인 4.75조원이 꿀벌에 의한 화분매개 서비스로 평가할 수 있다. 그리고 이러한 화분매개 가치는 꿀벌이나 야생벌들이 단독적으로 수행하지 않고 상호협력적 상승작용을 통해 이루어진다고 알려져 있다. 즉 꿀벌이 가지고 있는 약 4.75조원의 화분매개 가치 중 30%인 약 1.9조원은 꿀벌이 야생벌과 협력하여 만들어지는 가치라고 추정된다(Jung과 Shin, 2022).

우리나라는 농경지 면적에 대한 꿀벌 밀도가 전 세계에서 가장 높으므로 꿀벌의 화분매개 서비스는 화분매개 의존도가 높거나 절대적인 작물의 생산성에 긍정적인 영향을 줄 수 있다(Jung과 Cho, 2015). 화분매개 의존도에 기반한 작물의 생산성을 지난 60년간 농업의 생산량 및 꿀벌 밀도의 변화에 대한 회귀 분석을 실시했을 때, 우리나라의 경우 특히 화분매개의 의존도가 절대적인 농작물의 생산성 증대가 빠르

게 나타났다(Ghosh와 Jung, 2016). 이러한 현상은 유럽과 호주 뉴질랜드 등에서도 유사하게 보고되었으며 이는 우리나라의 농업체제가 화분매개의 의존도가 높은 농작물 중심으로 개편되고 있다는 것을 간접적으로 시사하고 있다. 따라서 농업 생태계 관리에 있어 화분매개자 중심의 화분매개-병해충 종합관리 전략을 제안하게 되었다(Egan 등, 2020; Jung, 2021). 추가적으로 화분매개에 의한 농업 생산물들은 비타민 A, 철분 및 엽산 등 다양한 비타민과 미네랄을 제공하여 국민 건강에 기여하고 있다. 우리나라 국민들이 소비하는 비타민 중 34%의 비타민 A, 11%의 비타민 C, 25%의 비타민 E 등이 화분매개에 의존해서 생산되는 작물을 통해 공급되고 있으며, 칼륨, 칼슘, 철분 역시 10% 이상이 화분매개 농작물에 의해 공급되고 있다(Eliers 등, 2011; Ghosh와 Jung, 2018).

육류 공급원으로서의 꿀벌

대동물 축산의 경우 사료 생산에 투입되는 에너지 및 환경적 부담이 증가하고 있다. 경제부문 세계 온실가스 배출 현황을 보면 농업과 삼림을 통해 24%가 배출되고 있는데, 농업분야 온실가스 배출의 85% 이상이 축산을 통해 이루어지고 있다(Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2014). 증가하는 육류 소비 수요를 감당하기 위해서는 비용 효율적이며 환경 부담이 적은 육류 생산 시스템이 요구되고 있다. 1kg 육우를 생산하는 데



2.8톤의 CO₂가 발생하는 데 반하여, 같은 양의 곤충을 생산하는 데는 1000배의 이산화탄소 효율성이 보고된 바 있다(Food and Agricultural Organization of the United Nations [FAO], 2015). 그런데 꿀벌은 6일 동안의 섭식 과정을 통해 약 2000배 정도의 성장이 이루어진다. 꿀벌 알은 0.1mg인데, 알이 부화하여 6일동안 섭식하여 마지막 단계 유충이 번데기가 되기 직전에 몸무게는 약 200mg으로 성장한다. 따라서 꿀벌 애벌레는 매우 효율적인 육류 생산 시스템이 될 수 있다. 꿀벌 유충, 번데기 및 성충을 가루화하여 영양학적 분석을 실시하였다(Ghosh 등 2016, 2020, 2021). 통상적으로 꿀벌 중량의 65–80% 정도가 수분으로 이루어져 있으며 건조중량의 약 35–50%가 단백질로 구성된다. 유충에서 성충으로 갈수록 건조중량의 단백질 비중은 높아지지만, 지방은 약 15%에서 7% 정도로 낮아진다. 탄수화물의 경우 유충에서는 46%로 매우 높으나 성충에서는 약 30%로 감소한다. 반면 회분의 경우 성충이 되면서

딱딱한 표피층이 증가하여 함량은 높아지게 되며, 총 에너지 함량은 건조 중량 100mg에서 약 380–470kcal이다(Table 3). 단백질 함량을 비교했을 때 전통적인 식량인 콩, 돼지고기 및 쇠고기 등에 비해 꿀벌은 높은 단백질 함량을 가지며 반대로 지방의 함량은 매우 낮게 나타나므로 매우 훌륭한 식량원이 될 수 있다(Fig. 2).

단백질을 구성하는 아미노산은 총 20여 종의 아미노산이 존재하며 이중 필수 아미노산 10종류가 있다. 꿀벌의 경우 꿀벌의 종과 상관없이 성충 및 번데기에서 필수 아미노산이 충분하며 비필수 아미노산 역시 충분히 포함하고 있다. 필수 아미노산 함량은 약 40–46%, 비필수 아미노산이 약 55–60%로 구성되어 있으며(Table 4), 필수 아미노산 중에서는 라이신, 류신, 발린 등의 함량이 높게 나타났다. FAO를 통한 WHO에서 제시한 인간이 건강을 유지할 수 있는 아미노산의 함량에 비해 꿀벌 자체의 아미노산 함량이 상대적으로 높은 것으로 보고되었다(Food and

Table 3. Approximate nutrients composition of worker larvae, pupae and adults of *Apis mellifera ligustica* (adopted from Ghosh 등, 2021)

	Moisture % as is	Protein % of DM	Fat % of DM	Carbohydrate % of DM	Ash % of DM	Energy Kcal/100g DM
Larvae	74.4±0.33	35.3±2.09	14.5±0.15	46.1±1.73	4.1±0.16	455.8
Pupae	79.3±0.19	45.9±0.63	16.0±0.24	34.3±0.24	3.8±0.06	465
Adults	65.6±0.94	51.0±0.01	6.9±0.25	30.6±0.38	11.5±0.14	388.4

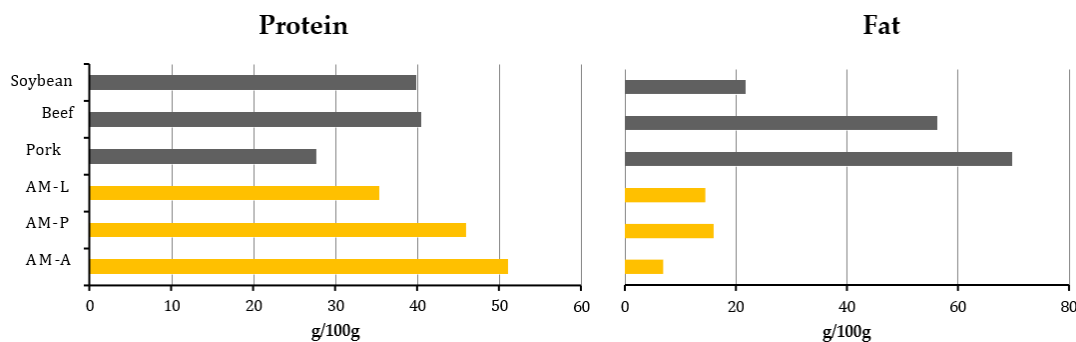


Fig. 2. Comparison protein and fat contents of soybean, beef, pork, *Apis mellifera* larvae, pupae, adults (Honey bee data from Ghosh 등, 2016; 2020a,b; 2021a,b, and others from United States Department of Agriculture [USDA])

Table 4. Amino acid composition (g/100g DM) of different stages of *Apis cerana* and *A. mellifera* (Ghosh 등, 2016; 2020a,b; 2021a, b)

	<i>Apis cerana</i> AM		<i>Apis mellifera</i>	
	Pupae	Adult	Pupae	Adult
Val	3.1	3.7	2.4	2.7
Ile	2.4	3.2	2.3	2.2
Leu	4.4	5.2	3.2	3.8
Lys	3.0	4.2	3.0	2.6
Thr	2.2	2.4	1.9	2.1
His	1.3	1.1	1.1	1.0
SAA	2.4	4.3	0.4	0.7
AAA	4.0	4.2	2.2	2.2
Arg	2.5	3.1	2.3	2.3
Asp	6.3	2.1	3.5	3.2
Ser	2.4	3.0	2.0	2.3
Glu	5.3	8.5	8.4	6.0
Gly	3.9	4.3	2.5	3.0
Ala	4.9	6.0	2.9	3.8
Pro	3.4	3.8	-	-
Others	-	-	2.8	1.5
Total	51.3	59.0	40.9	39.4

* SAA: sulfur-containing amino acid, AAA: aromatic amino acid

Agricultural Organization of the United Nations [FAO], 2013; Ghosh 등, 2021). 지방산의 경우 필수 지방산 및 비필수 지방산, 포화 지방산 및 불포화 지방산으로 나눌 수 있다. 꿀벌의 경우는 포화 지방산 함량은 약 45-50%, 불포화 지방산 함량은 약 48-52%를 나타내고 있어 불포화 지방산 함량이 상대적으로 높다는 것을 알 수 있다(Table 5). 다가 불포화 지방산은 주로 서양종꿀벌 및 동양종꿀벌의 성충에서 약 0.8-1% 함유하고 있다. 꿀벌의 성충과 번데기를 비교했을 때 대부분의 미네랄들은 성충에서 조금 더 높게 나타나는 것을 볼 수 있다(Fig. 3). 칼슘의 경우 성충이 약 두 배 정도 높으며 전반적으로 칼륨의 함량이 가장 높았으며, 그 다음으로 인, 마그네슘, 그리고 칼슘 순으로 높게 나타났다. 또한, 아연, 철, 구리 등의 함량 역시 높게 나타나 우리 인간의 생리적 기능에 도움을 줄 수 있다고 판단되며 통상적으

로 사람들이 걱정하는 나트륨의 경우는 상대적으로 함량이 낮은 것을 볼 수 있다. 닭, 돼지고기, 소고기와 비교했을 때 대부분의 미네랄은 꿀벌이 높게 나타났으므로 꿀벌의 번데기 및 성충은 그 자체로 인간이 이용가능한 식량원이 될 수 있다는 것을 보여준다.

최근 식량으로서의 꿀벌의 수벌번데기가 연구되고 있다. 성충의 경우 번데기 기간을 거쳐 상대적으로 시간이 오래 소요되고 날개가 있는 등 실제로 식량으로서 활용하기 어려우므로 아주 어린 성충 또는 마지막 유충 단계에서의 수확을 기본으로 하고 있다. 또한 수벌은 일벌에 비해 중량이 높아 실질적으로 수벌 생산이 훨씬 유리하다고 판단된다. 이는 수벌생산 전용 소비를 봉군에 투입하여 인위적으로 수벌을 생산하고 수확하는 방식으로 진행된다. 따라서 지구온난화, 재생에너지, 토양 면적 이용률 등을 고려하였을 때 수벌 번



Table 5. Fatty acids composition (mg/100g DM) of different stages of *Apis cerana* and *A. mellifera* (adopted from Ghosh 등, 2016; 2020a,b; 2021a, b)

	<i>Apis cerana</i> AM		<i>Apis mellifera</i>	
	Pupae	Adult	Pupae	Adult
Saturated fatty acids				
C12:0	30	20	24.6	4.5
C13:0	10	10	-	-
C14:0	190	80	157.5	9.8
C16:0	1990	770	1942.2	250.8
C18:0	670	510	696.8	162.4
C20:0	40	40	-	-
Subtotal	2930	1430	2821.1	437.9
Monounsaturated fatty acids				
C16:1	30	50	31.1	44.7
C18:1	3160	2440	2632.1	785.5
C20:1	150	190	41.6	333.4
Subtotal	3340	2680	2704.8	1163.6
Polyunsaturated fatty acids				
C18:2	60	110	-	135.5
C18:3	10	10	-	-
Subtotal	70	120	-	135.5
Total	6340	4230	5525.9	1737

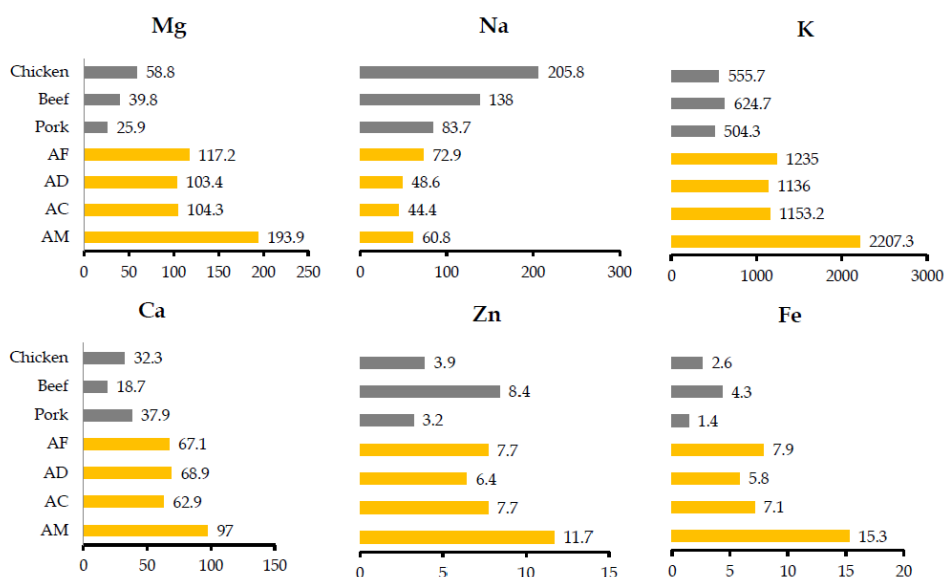


Fig. 3. Comparative account of minerals content (mg/100g DM) among honey bee, *Apis mellifera* worker pupae and conventional meats (Honey bee data from Ghosh 등, 2016; 2020a,b; 2021a,b, others from United States Department of Agriculture [USDA])

데기를 생산하는 것이 기존에 대동물을 생산해서 단백질
질을 제공받는 것보다 환경친화적일 것으로 판단된다.

결론

증가하는 인류에 대한 식량 공급은 지구생명부양
체의 절대절명의 과제이며 이 과정은 생태계 부담이
적은 방향으로 진행되어야 지속가능한 인류의 생존
이 가능하게 된다. 이에 생산 효율성이 높고 단백질
함량과 고급 지방산을 함유한 곤충은 새로운 식량 자
원의 대안으로 떠오르고 있다. 꿀벌은 우리 인류와
가장 오래된 공생관계를 형성해 오면서 화분매개를
통한 농작물 생산을 지원할 뿐 아니라 벌꿀, 로열젤
리, 화분, 프로폴리스 등의 보조 식량을 생산하며 화
분매개라는 과정을 통해 식량 생산이 가능케 보조해
준다. 또한 꿀벌 자체가 새로운 단백질과 지방 등 영
양분 공급원으로 기능이 가능하게 되었다. 전 지구적
으로 인구 증가, 경제 및 생활 수준의 변화와 함께 식
량 요구는 특히 축산물에 대한 단백질 소비 수요가
증가하였다. 높은 토지와 물 요구도, 대기과 수질 환
경 부담 및 온실가스 배출의 문제 등은 대동물 축산
의 지속 가능성은 회의적이다. 환경 부하가 적어 탄
소 중립적이며 공익적 기능이 높은 꿀벌을 활용한 식
량 생산과 영양분의 안정 공급은 미래 식량 안보의
전략이 될 수 있으며, 다원적 가치 창출이 가능할 것
으로 판단된다. 더욱이 6일 동안 먹이 섭식을 통해
약 2천 배 성장하는 꿀벌은 다량의 육류 생산 모델이
될 뿐 아니라, 인류의 새로운 식량 자원으로써 충분
한 가치가 있다고 판단된다.

감사의 글

이 논문은 한국연구재단 이공계대학중점연구소사
업 3P 화분매개네트워크 연구(NRF-2018R1A6A1A
03024862)과제와 농촌진흥청 아젠다과제: 화분매
개 경제적 가치 및 취약성 평가 (PJ01574604)의 지
원을 통해 작성 되었습니다.

References

- Aizen MA, Aguiar S, Biesmeijer JC, Garibaldi LA, Inouye DW, Jung C, Martins DJ, Medel R, Morales CL, Ngo H. Global agricultural productivity is threatened by increasing pollinator dependence without a parallel increase in crop diversification. *Global Change Biol.* 25: 3516-3527 (2019)
- Choi YS, Lee MY, Hong IP, Kim NS, Kim HK, Lee KG, Lee ML. Occurrence of Sacbrood virus in Korean apiaries from *Apis cerana* (Hymenoptera: Apidae). *J Apic* 25: 187-191 (2010)
- Egan PA, Dicks LV, Hokkanen HM, Stenberg JA. Delivering integrated pest and pollinator management (IPPM). *Trends Plant Sci.* 25: 577-589 (2020)
- Eilers EJ, Kremen C, Greenleaf SS, Garber AK, Klein A-M. Contribution of pollinator-mediated crops to nutrients in the human food supply. *PLoS One.* 6: e21363 (2011)
- FAOSTAT. Available from: <http://faostat3.fao.org/>. Accessed on March. 15, 2022.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. Dietary Protein Quality Evaluation in Human Nutrition. Rome, Italy. (2013)
- Food and Agricultural Organization of the United Nations. The state of food insecurity in the world. Meeting the 2015, International Hunger Targets: Taking Stock of Uneven Progress. FAO UN, International Fund for Agricultural Development and World Food Programme. (2015)
- Food and Agriculture Organization of the United Nations, International Fund for Agricultural Development, & World Food Programme. The state of food insecurity in the world 2015. Meeting the 2015 international hunger targets: Taking stock of uneven progress. Rome, FAO (2015)
- Garibaldi LA, Steffan-Dewenter I, Winfree R, Aizen MA, Bommarco R, Cunningham SA, Kremen C, Carvalheiro LG, Harder LD, Afik O, Bartomeus I, Benjamin F, Boreux V, Cariveau D, Chacoff NP, Dudenhöffer JH, Freitas BM, Ghazoul J, Greenleaf S, Hipólito J, Holzschuh A, Howlett B, Isaacs R, Javorek SK, Kennedy CM, Krewenka KM, Krishnan S, Mandelik Y, Mayfield MM, Motzke I, Munyuli T, Nault BA, Otieno M, Petersen J, Pisanty G, Potts SG, Rader R, Ricketts TH, Rundlöf M, Seymour CL, Schüepp C, Szentgyörgyi H, Taki H, Tscharntke T, Vergara CH, Viana BF, Wanger TC, Westphal C, Williams N, Klein AM. Wild Pollinators Enhance Fruit Set of Crops Regardless of Honey Bee Abundance. *Sci.* 339: 1608-1611 (2013)
- Garibaldi LA, Carvalheiro LG, Vaissiere BE, GemmilHerren B, Hipolito, J, Freitas BM, Ngo HT, Azzu N, Saez A, Astrom J, An J, Blochtein B, Buchori D, Garcia FJC, da Silva FO, Devkota K, Rebeiro MF, Freitas L, Gaglianone MC, Goss M, Irshad M, Kasina M. Filho AJSP, Kiill LHP, Kwapong P, Parra GN, Pires C,



- Pires V, Rawal RS, Rizali, A, Saraiva AM, Veldtman R, Viana BF, Witter S, Zhang H. Mutually beneficial pollinator diversity and crop yield outcomes in small and large farms. *Sci.* 351: 388–391 (2016)
- Ghosh S, Jung C. Global honeybee colony trend is positively related to crop yields of medium pollination dependence. *Kor. J. Apic.* 31, 85–95. (2016a)
- Ghosh S, Jung C, Meyer–Rochow VB. Nutritional value and chemical composition of larvae, pupae, and adults of worker honey bee, *Apis mellifera ligustica* as a sustainable food source. *J Asia–Pac Entomol.* 19: 487–495 (2016b)
- Ghosh S, Jung C. Contribution of insect pollination to nutritional security of minerals and vitamins in Korea. *J. Asia–Pac. Entomol.* 21: 598–602 (2018)
- Ghosh S, Chuttong B, Burgett M, Meyer–Rochow VB, Jung C. Nutritional value of brood and adult worker of the Asia honeybee species *Apis cerana* and *Apis dorsata*. pp. 265–273. In: African edible insects as alternative source of food, oil, protein and bioactive components. Adam MA (eds). Springer Cham. (2020a)
- Ghosh S, Sohn H–Y, Pyo S–J, Jensen AB, Meyer–Rochow VB, Jung C. Nutritional composition of *Apis mellifera* drones from Korea and Denmark as a potential sustainable alternative food source: comparison between developmental stages. *Foods.* 9: 389 (2020b)
- Ghosh S, Herren P, Meyer–Rochow VB, Jung C. Nutritional composition of honey bee drones of two subspecies relative to their pupal developmental stages. *Insects.* 12: 759 (2021a)
- Ghosh S, Meyer–Rochow VB, Jung C. Honey bees and their brood: a potentially valuable resource of food, worthy of greater appreciation and scientific attention. *J Ecol Environ.* 45: 31 (2021b)
- Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change 2014: Synthesis Report. pp. 151. In: Proceedings of the Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Pachauri RK, Meyer LA (eds). Core Writing Team, Geneva, Switzerland (2014)
- Intergovernmental Science–Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. The assessment report of the Intergovernmental Science–Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services on pollinators, pollination and food production. Bonn, Germany (2016)
- International Food Policy Research Institute. Available from: <https://www.ifpri.org/newsrelease/two-billion-people-suffering-hidden-hunger-according-2014-global-hungerindex-even>. Accessed Jan. 20, 2022.
- Jung C. Economic Value of honeybee pollination on major fruit and vegetable crop in Korea. *Kor. J. Apic.* 23: 147–152 (2008)
- Jung C. A note on the early publication of beekeeping of western honeybee, *Apis mellifera* in Korea: Yangbong Yoji (Abriss Bienenzucht) by P. Canisius Kugelgen. *Kor. J. Apic.* 29(1): 73–77 (2014)
- Jung C, Cho S–K. Relationship between honeybee population and honey production in Korea: A historical trend analysis. *J. Apic.* 30: 7–12 (2015)
- Jung C, Lee MR. 2018. Beekeeping in Korea: Past, Present, and Future challenges. pp. 175–197. In: Asian beekeeping in the 21st century. Chantawannakul P, Williams G, Neumann P (eds). Springer, Singapore (2018)
- Jung C. Integrated pollinator–pest management (IPPM) strategy as future apple IPM. *Korean J. Appl. Entomol.* 60: 145–154 (2021)
- Jung C, Shin JH. Evaluation of Crop Production Increase through Insect Pollination Service in Korean Agriculture. *Kor. J. Appl. Entomol.* 61: 229–238 (2022)
- Klein AM, Vaissiere BE, Cane JH, Steffan–Dewenter I, Cunningham SA, Kremen C, Tscharntke T. Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proc. Royal Soc. B: Biol. Sci.* 274: 303–313 (2007)
- Levin MD. Value of bee pollination to U.S. Agriculture. *Bull. Ent. Soc. Am.* 29: 50–51 (1983)
- Martins KT, Gonzalez A, Lechowicz MJ. Pollination services are mediated by bee functional diversity and landscape context. *Agri. Ecosys. Environ.* 200: 12–20 (2015)
- Potts SG, Biesmeijer JC, Kremen C, Neumann P, Schweiger O, Kunin WE. Global pollinator declines: trends, impacts and drivers. *Trends Ecol. Evol.* 25: 345–353 (2010)
- Roffet–Salque M, Regert M, Evershed RP, Outram AK, Cramp LJE, Decavallas O, Dunne J, Gerbault P, Mileto S, Mirabaud S, Pääkkönen M, Smyth J, Šoberl L, Whelton HL, Alday–Ruiz A, Asplund H, Bartkowiak M, Bayer–Niemeier E, Belhouchet L, Bernardini F, Budja M, Cooney G, Cubas M, Danaher EM, Diniz M, Domboróczki L, Fabbri C, González–Urquijo JE, Guilaine J, Hachi S, Hartwell BN, Hofmann D, Hohle I, Ibáñez JJ, Karul N, Kherbouche F, Kiely J, Kotsakis K, Lueth F, Mallory JP, Manen C, Marciniak A, Maurice–Chabard B, McGonigle MA, Mulazzani S, Özdoğan M, Perić OS, Perić SR, Petrasch J, Pétrequin M, Pétrequin P, Poensgen U, Pollard CJ, Poplin F, Radi G, Stadler P, Stäuble H, Tesić N, Urem–Kotsou D, Vuković JB, Walsh F, Whittle A, Wolfram S, Zapata–Peña L, Zoughlami J. Widespread exploitation of the honeybee by early Neolithic farmers. *Nature.* 527: 226–230 (2015)
- Ruttner F. Biogeography and Taxonomy of honeybees. Springer–Verlag, Berlin, Germany. pp. 284 (1988)
- United States Department of Agriculture. Database on Nutrient Content of Food. Available from: <http://www.data.nal.usda.gov>. Accessed April. 2, 2021.
- Yücel B, Topal E, Kosoglu M. Bee Products as Functional Food. pp. 16–33. In *Superfood and Functional Food—An Overview of Their Processing and Utilization*. Waisundara V, Shiomi N (Eds). InTech, London, UK (2017)