



동일양봉장에서 생산한 벌꿀의 생산시기별 영양성분 비교

최홍민, 우순옥, 김세건, 김효영, 김성국, 김선미, 문시원, 한상미*

농촌진흥청 국립농업과학원 농업생물부

Comparison of the Nutritional Composition of Honey Produced at Same Apiary during Different Harvesting Periods

Hong Min Choi, Soon Ok Woo, Se-Gun Kim, Hyo Young Kim, Sung Kuk Kim, Seon Mi Kim, Si Won Moon and Sang Mi Han*

Department of Agricultural Biology, National Institute of Agricultural Science, Rural Development Administration, Wanju 55365, Republic of Korea

Abstract

This study aimed to compare and analyze the nutritional components of honey produced at different harvesting periods in the Wanju region, South Korea, in 2023. Honey samples were collected monthly from April to September from *Apis mellifera* hives, with the exception of August, when collection was hindered by rainy season. The analyzed nutritional components included moisture, crude protein, crude fat, carbohydrates, ash, minerals, and sugar. The results showed that all honey samples met the Korean honey moisture standard, remaining below 20%. Crude protein content was highest in honey produced in June, likely due to the dominance of chestnut blossoms during this period, which are known for their high protein and mineral content. The analysis of minerals revealed that potassium (K) was the most abundant mineral, with the highest concentration in June's honey. Additionally, the mineral content of honey was found to be significantly influenced by the type of floral source and environmental conditions, with honey produced during periods of abundant nectar sources showing higher mineral levels. Sugar composition varied by month, with the fructose/glucose ratio indicating that crystallization could occur more readily in honey produced in July, as its ratio was below 1.3. The study also found that the nutritional composition of honey varied significantly depending on whether the honey was naturally sourced or fed with sugar solutions, with notable differences in crude protein, minerals, and sugar composition. Environmental factors, including the availability of surrounding plants, further influenced the nutritional profile.

Keywords

Honey, Nutritional components, Minerals

서론

벌꿀은 자연적으로 생성된 천연 감미료로, 그 영양적 가치와 건강상 효능 덕분에 오랜 기간 인류에게 중요한 식품으로 사용되어 왔다(Bogdanov *et al.*, 2008). 벌꿀은 꿀벌(*Apis mellifera*)이 꽃의 꿀을 수집하고 효소 작용을 통해 변형하여 만들어지며, 여기에는 당류뿐만 아니라 다양한

무기질, 단백질, 비타민, 항산화 물질 등이 포함되어 있다. 벌꿀의 성분은 밀원식물의 종류, 생산 지역, 환경 조건, 그리고 수확 시기에 따라 크게 달라질 수 있으며, 이러한 요인들은 벌꿀의 영양성분과 품질에 직접적인 영향을 미친다(de Oliveira Resende Ribeiro *et al.*, 2015).

특히 벌꿀의 수분 함량은 그 품질에 있어 중요한 요소 중 하나로, 꿀의 수분 함량은 저장 중 발효 가능성에 영향을 미

치며, 당 조성은 꿀의 감미도와 결정화 특성에 영향을 미친다(Escuredo *et al.*, 2014). 국제적으로도 벌꿀의 수분 함량은 20% 이하로 유지되어야 하며, 수분이 20%를 초과할 경우 발효가 촉진되어 신맛이 발생하고 벌꿀의 특성이 변화될 수 있다(Codex, 2001). 또한, 벌꿀에 포함된 조단백질과 조지방, 탄수화물 등은 벌꿀의 영양적 가치를 결정하는 중요한 성분으로, 이들 성분은 주로 밀원식물의 종류와 채밀 시기에 따라 변동된다. 예를 들어, 특정 시기에 생산된 벌꿀은 단백질 함량이 높고, 다른 시기에는 탄수화물 비율이 높아지는 등의 차이를 나타내기도 한다(Kim *et al.*, 2017).

무기물 성분 또한 벌꿀의 품질을 결정하는 또 다른 중요한 요소이다. 꿀에 포함된 무기물은 그 지역의 토양 및 식물의 영양 상태를 반영하며, 꿀의 건강 기능성에 기여할 수 있다(Gündoğdu *et al.*, 2019). 벌꿀에서 무기물 함량은 밀원식물의 종류와 꿀벌의 활동 시기에 따라 다르게 나타나며, 환경적 요인도 무기물 함량에 영향을 줄 수 있다(Solayman *et al.*, 2016). 따라서 벌꿀의 영양평가를 위해서 이러한 무기물에 대한 비교 평가도 필요하다.

완주지역은 현재 국립농업과학원의 양봉장이 위치한 장소로 실제 필요에 따른 밀원식물의 식재가 가능하며, 이곳에서 생산되는 벌꿀은 시기별로 밀원의 변화에 따라 그 성분이 달라질 가능성이 높다. 본 연구는 전북 완주지역에서 2023년 동안 서양종꿀벌(*Apis mellifera*)에 의해 시기별로 생산된 벌꿀의 영양성분을 비교 분석함으로써, 각 생산 시기에 따라 벌꿀의 품질이 어떻게 변화하는지를 규명하고자 하였다. 구체적으로, 벌꿀의 수분, 조단백질, 조지방, 탄수화물, 회분 등의 일반 성분과 무기질 및 당 성분을 분석하여 시기별 벌꿀의 영양학적 차이를 평가하였으며 이를 통해 완주지역에서 생산된 벌꿀이 시기별로 어떤 영양학적 특징을 가지며, 이 지역 벌꿀의 품질 형성에 있어 기초 자료로 활용하고자 한다. 본 연구를 통해 벌꿀 생산에 있어 시기에 따른 차이를 평가하고, 벌꿀의 품질과 영양적 가치를 향상시키기 위한 전략을 제시하는 데 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

재료 및 방법

1. 실험재료

본 실험에 사용된 벌꿀은 2023년 국립농업과학원 시험양봉장(Wanju, Jeollabuk-do, Korea)에서 서양종꿀벌(*Apis*

mellifera)에 의해 시기별(월별)로 생산하여 분석에 사용하였다. 꿀벌이 주로 활동하는 시기인 4~9월까지 계상 벌통을 이용하여 생산된 벌꿀을 채밀하여 분석에 사용하였으며, 동일한 장소에 3개의 봉군을 설치하였다. 채밀기간에는 별도의 설탕 사양없이 꽃꿀만을 채집하였으며, 다양한 영양성분 분석을 위해 시기별 최소 500 g 이상의 벌꿀을 채집하였다.

2. 일반성분 분석

시기별 꿀 시료에 함유된 수분, 조지방, 조단백질, 탄수화물, 회분 등의 분석은 식품공전(2020)에 고시된 분석법에 의거하여 실시하였다. 수분 함량은 상압가열건조법을 이용하였으며, 시기별 생산된 꿀을 드라이오븐(DS-520M, Daewonsci, Korea)에 넣어 100~103°C에서 5시간 동안 건조시킨 다음 데시케이터에서 30분간 방치 후 무게를 측정하였다. 조지방은 에테르 추출법을 통해 실시하였으며, 속슬렛추출장치로 에테르를 순환시켜 꿀 시료에 존재하는 지방을 추출하여 측정하였다. 조단백질 함량은 단백질 분석기(KjelMaster K375, buchi, Swiss)를 이용하여 킬달 분석법에 따라 측정하였으며, 꿀의 질소계수인 6.25를 곱하여 단백질 함량을 계산하였다. 회분 함량은 600°C의 회화로(LF-MS550, Daihan scientific, Korea)에서 3시간 가열하여 백색~회백색 회분이 얻어질 때까지 가열한 후 무게를 측정하였다.

3. 무기질 분석

무기질 함량 분석은 AOAC (Association of official agricultural chemists, 2010)에 제시된 분석법에 의거하여 실시하였다. 시기별 생산된 꿀을 강산과 혼합한 후에 Microwave digestion system을 이용하여 가열분해 후 유도결합플라즈마 분광분석기(Inductively coupled plasma optical emission spectrometer, ICP-OES)로 시료 내 무기질을 측정하였으며, 해당 조건은 Table 1에 나타내었다.

4. 당 성분 분석

시기별 생산된 꿀을 각각 50% 에탄올에 용해시켜 30분간 초음파를 이용하여 추출한 다음 원심분리기(CR-22N, Hitachi, Tokyo, Japan)를 이용하여 2000 rpm에서 20분간 원심분리하였다. 원심분리된 용액의 상층액을 0.2 μm

membrane filter를 이용하여 여과하여 RI 검출기가 장착된 HPLC (Nanospace SI-2, Shiseido, Tokyo, Japan)를 이용하여 분석하였으며, 분석 조건은 Table 2와 같다.

결과 및 고찰

1. 일반성분 분석

식품공전에 고시된 벌꿀의 수분 함량 기준 규격은 20%

Table 1. ICP-OES analytic conditions for the measurement of 10 minerals in honey from same apiary by harvesting period

Classification	Condition
Instrument	ICP-OES (Avio200, Perkin Elmer, USA)
RF power	1250 W
Gas flow rate (Argon)	Plasma flow; 15.0 L/min, Auxiliary flow; 15.0 L/min, Nebulizer flow; 0.85 L/min
Nebulizer	20 psi
Wavelength (nm)	Ca 393.366, P 213.617, Fe 238.204, K 766.490, Na 589.592, Zn 206.200, Mg 208.271, Mn 257.610, Cr 267.716, Cu 327.393

Table 2. Chromatographic analysis conditions for the measurement of 5 sugars in honey from same apiary by harvesting period

Parameters	Condition
Column	SP-2560 (100 m × 0.25 mm × 0.29 μm)
Column temperature	60°C
Mobile phase	ACN : water = 90 : 10
Flow rate	0.4 mL/min
Injection volume	10 μL

Table 3. Moisture, crude protein, crude fat, carbohydrate, and ash contents of honey from same apiary by harvesting period

Component	Content (%)				
	April	May	June	July	September
Moisture	18.40 ± 0.32 ^c	18.9 ± 0.28 ^{bc}	19.82 ± 0.41 ^a	19.39 ± 0.21 ^{ab}	15.42 ± 0.21 ^d
Crude protein	0.23 ± 0.01 ^d	0.50 ± 0.01 ^c	0.99 ± 0.11 ^a	0.75 ± 0.04 ^b	0.41 ± 0.02 ^c
Crude fat	0.54 ± 0.11 ^a	0.50 ± 0.01 ^a	0.56 ± 0.04 ^a	0.58 ± 0.01 ^a	0.49 ± 0.01 ^a
Carbohydrate	80.52 ± 0.33 ^{ab}	79.96 ± 0.46 ^b	77.85 ± 0.63 ^c	77.75 ± 0.38 ^c	82.09 ± 0.81 ^a
Ash	0.31 ± 0.01 ^d	0.14 ± 0.01 ^c	0.78 ± 0.01 ^c	1.53 ± 0.00 ^b	1.59 ± 0.01 ^a

Values represent means ± SD (n = 3); Different letters within a column indicate a significant difference at p ≤ 0.05 by Scheffe's post-hoc test.

이하로 규정되어 있으며, Codex에서도 마찬가지로 20% 이하로 규정하고 있다(CAC, 2001). 벌꿀의 수분 함량은 저장 중 발효를 일으켜 품질 저하의 원인이 될 수 있으므로 품질 관리에 있어 중요한 부분을 차지한다. 수분 함량이 20% 이상이 될 경우 효모에 의한 발효로 신맛을 증가시킬 뿐만 아니라 벌꿀이 갖는 성상에도 영향을 미친다.

시기별로 생산된 벌꿀은 15.42~19.8%로 모두 국내 벌꿀의 기준 규격을 만족하였다.

벌꿀에 대하여 조단백질이나 조지방에 대한 함량 기준은 별도로 고시되어 있지 않지만 영양적인 측면에서 조단백질이나 조지방의 함량은 의미가 있다. 시기별 생산된 벌꿀에서 조단백질 함량을 비교해 본 결과, 월별로 함량의 차이를 보였다(Table 3). 4월에 생산된 벌꿀의 조단백질 함량은 0.23%로 5~7월에 생산된 벌꿀의 조단백질 함량(0.50~0.99%)에 비해 그 함량이 적었다. 이는 3~4월에는 꿀벌의 먹이가 되는 밀원이 거의 없기 때문에 설탕물을 급이하는 사양을 할 수밖에 없다. 설탕물을 사양한 꿀에서는 단백질 함량이 낮다는 논문이 보고된 바 있으며(Guler *et al.*, 2014), 4월경 생산된 꿀에는 이러한 이유로 조단백질 함량이 낮은 것으로 생각된다. 5~7월경 생산된 꿀은 조단백질 함량이 상대적으로 높는데 이때는 양봉장 주변에 아까시꽃, 밤꽃, 애기뽕풀, 쥐뽕나무, 족제비싸리 등 다양한 밀원들이 분포해 있었다. 그중에서 특히 6월경 생산된 꿀의 조단백질 함량이 가장 높았는데, 이 시기에는 밤꿀이 채밀되는 시기로 밤꿀은 높은 단백질 및 미네랄 함량이 높은 것으로 알려져 있다(Escuredo *et al.*, 2013). 장마가 끝난 9월경에 생산된 벌꿀의 경우에도 상대적으로 조단백질 함량이 0.41% 정도로 낮게 나타났는데, 이 시기의 경우 월동 전 무밀기로 양봉장 주변에 마땅한 밀원식물이 없어 꿀벌의 세력 유지를 위해 설탕물 사양이 주로 이뤄졌다.

조지방의 경우에는 시기별로 큰 유의미한 차이를 보이

지 않았는데, 이는 조지방은 밀원에 크게 영향을 받지 않음을 시사한다(Lim *et al.*, 2019). 일반적으로 탄수화물 함량도 사양꿀에서 상대적으로 높은 함량으로 존재하는데(Kim *et al.*, 2017; Kanelis *et al.*, 2022), 밀원식물이 없는 4월, 9월의 탄수화물 함량이 가장 높게 나타났다(Table 3).

2. 무기물 분석

일반적으로 무기물은 체내에서 합성되지는 않아 대부분 식품을 통해 섭취해야 하며, 체내의 다양한 기능을 유지하기 위해 필수적인 물질로 골격 구조 형성이나, 성장이나 발육 등 신체의 다양한 대사 활동을 위해 적당량을 섭취해야만 한다(Blumfield *et al.*, 2013). 본 연구에서는 시기별로 생산된 벌꿀의 무기물 함량과 그 차이를 비교 분석하여 그 결과를 Table 4와 같이 나타내었다. 시기별로 생산된 벌꿀에서 가장 높은 함량으로 존재하는 무기물은 칼륨(K) 함량이 가장 높았으며, 칼륨(K)은 체내 삼투압을 유지하고 세포막에서 전압 차이를 일으켜 신호를 전달하는 물질이다(Leigh, 2001). 6월경에 생산된 꿀에서 100 g 당 407.32 ± 2.11 mg으로 가장 많은 함량으로 존재하였다. 이 시기에 생산된 벌꿀에는 밤꿀이 포함되어 있으며 밤꿀의 경우 무기물 함량이 다른 주요 밀원 벌꿀에 비해 높은 것으로 알려져 있다(Ertop *et al.*, 2023). 전체적으로 시기별 생산되는 벌꿀에서는 무기물의 함량은 생산시기에 따라 다양하게 나타났다(Table 4). 설탕물을 사양한 4월과 9월에는 상대적으로 무기물의 함량이 낮게 나타났으며, 화분원이나 밀원이 풍부한 5~7월에는 무기물의 함량이 높

게 나타났다(Table 4). 그중에서 특히 6월에서 생산되는 벌꿀에서의 무기물 함량이 높게 나타남을 확인할 수 있었다. 벌꿀에 함유된 무기물은 여러 가지 요인에 의해 차이를 나타내게 되는데 대표적으로 꿀이 생산되는 지리적 특징이나 식물학적 기원과 관련이 있기도 하며(Sajtos *et al.*, 2019), 환경오염과 같은 환경적인 요인에 따라 달라지기도 한다(Solayman *et al.*, 2016). 동일한 사양을 진행했던 9월이나 다른 시기에 생산된 벌꿀에 비해 특이적으로 4월에 생산된 벌꿀에는 나트륨(Na)의 함량이 높았는데, 이는 아마 양봉장 주변에서 환경적인 요인이 개입이 된 것으로 생각되어진다.

3. 당 성분 분석

벌꿀의 생산이나 유통 등에 있어 당의 조성은 매우 중요한 요인이다. 벌꿀의 주요 성분인 과당, 포도당, 자당의 조성 및 비율은 밀원식물의 종류에 따라 달라지며, 이는 벌꿀의 발효 및 저장 특성에 영향을 미친다(White, 1957). 벌꿀의 당은 과당이나 포도당과 같은 전화당이 60% 이상을 차지하고 있으며, 식품공전에서는 전화당 60% 이상, 자당 7% 이하를 품질평가의 기준으로 적용하고 있다. 본 연구에서는 시기별로 생산되는 벌꿀의 당 성분에 대한 분석을 통해 시기별 꿀의 품질이나 성상 등에 대한 특성을 비교 분석하고자 하였다. 설탕물 사양이 주로 이루어지는 4월이나 9월의 경우에는 벌꿀에서 일부 자당이 발견됨을 확인할 수 있었고, 특이하게 7월경에 생산된 벌꿀에도 자당의 함량이 높게 나타났다(Table 5). 꿀벌의 세력이 강하고

Table 4. Mineral content of honey from same apiary by harvesting period

Minerals	Content (mg/100g)				
	April	May	June	July	September
Ca	4.29 ± 0.04^e	8.84 ± 0.06^d	13.69 ± 0.14^c	8.5 ± 0.08^b	3.1 ± 0.03^a
P	5.02 ± 0.12^d	6.43 ± 0.11^c	10.45 ± 0.32^b	13.19 ± 0.22^a	5.38 ± 0.17^d
Fe	0.16 ± 0.01^e	0.12 ± 0.00^d	0.45 ± 0.00^c	0.24 ± 0.01^b	0.2 ± 0.00^a
K	35.73 ± 0.83^e	85.89 ± 1.42^d	407.32 ± 3.11^c	242.08 ± 1.28^b	44.87 ± 0.67^a
Na	30.09 ± 0.92^a	3.66 ± 0.13^b	2.33 ± 0.23^{bc}	2.12 ± 0.13^c	1.84 ± 0.04^c
Zn	0.03 ± 0.00^e	0.34 ± 0.00^d	1.4 ± 0.02^c	0.87 ± 0.02^b	0.68 ± 0.02^a
Mg	1.41 ± 0.01^c	1.15 ± 0.01^c	11.61 ± 0.16^a	5.32 ± 0.33^b	1.29 ± 0.01^c
Mn	0.48 ± 0.01^c	0.73 ± 0.01^c	22.3 ± 0.84^a	10.7 ± 0.25^b	0.67 ± 0.04^c
Cu	ND	ND	0.01 ± 0.00^b	ND	0.02 ± 0.00^a
Total	77.21	107.16	469.56	283.04	58.05

Values represent means \pm SD (n = 3); Different letters within a column indicate a significant difference at $p \leq 0.05$ by Scheffe's post-hoc test.

Table 5. Sugar (fructose, glucose, sucrose, and maltose) content of honey from same apiary by harvesting period

Sugar	Content (mg/100g)				
	April	May	June	July	September
Fructose	33.09±0.53 ^b	35.48±0.62 ^a	31.59±0.42 ^{bc}	30.89±0.74 ^c	27.89±0.93 ^d
Glucose	19.83±0.45 ^b	25.58±0.53 ^a	14.58±0.86 ^c	24.12±0.68 ^a	20.62±0.22 ^b
Sucrose	0.91±0.01 ^c	0 ^d	0 ^d	1.71±0.04 ^b	2.02±0.03 ^a
Maltose	3.47±0.68 ^b	1.52±0.34 ^c	5.35±0.77 ^a	3.01±0.11 ^b	6.31±0.18 ^a
Total sugar	57.3	62.58	51.52	59.73	56.84
Fructose/Glucose ratio	1.67	1.39	2.16	1.28	1.35

Values represent means ± SD (n = 3); Different letters within a column indicate a significant difference at p ≤ 0.05 by Scheffe's post-hoc test.

주변에 밀원이 풍부한 5월, 6월경에는 벌꿀에서 자당이 거의 검출되지 않았으며, 의외로 분석에 이용된 모든 꿀에서 맥아당의 함량이 100 g당 1.52~6.31 mg으로 일부 존재하였다. 이는 꿀벌에 존재하는 효소인 invertase에 의해 과당, 포도당 외에도 맥아당이 형성되기도 하며, 맥아당을 다량 포함하는 식물에서 유래되기도 할 것이다. 벌꿀의 과당/포도당의 비율은 벌꿀이 얼마나 결정화가 잘 일어나는지를 나타내는 지표로서, 벌꿀의 성상을 결정하는 데 중요한 요인이다. 과당/포도당의 비율이 1.3 미만일 경우 벌꿀의 결정화가 쉽게 일어나는 것으로 알려져 있다(Assil *et al.*, 1991). 대부분의 시기별 생산된 꿀은 과당/포도당의 비율이 1.3을 넘었지만, 7월경 생산된 꿀의 경우 1.28로 1.3 미만을 나타내었다. 해당 시기에는 밀원식물로 초본류인 야생꽃들이 주로 많이 존재하여 포도당의 함량이 상대적으로 높은 것으로 생각된다.

적 요

본 연구에서는 2023년 대한민국 완주에 위치한 국립농업과학원 시험양봉장에서 동일한 방식으로 수확된 꿀의 생산시기에 따른 영양성분의 변화를 분석하였다. 시기별 생산된 벌꿀 샘플은 8월 우기에 수확이 방해받은 것을 제외하고 4월부터 9월까지 매달 수집하였으며, 수분, 조단백질, 조지방, 탄수화물과 같은 일반성분, 무기물, 당 조성 등의 영양성분을 분석하였다. 그 결과, 모든 꿀 샘플은 국내 벌꿀 수분 기준을 충족하여 20% 미만을 유지했으며, 조단백질 함량은 6월에 생산된 꿀에서 가장 높았는데, 이는 이 기간에 단백질과 무기물 함량이 높은 것으로 알려진 밤나무꽃에서 유래되었기 때문인 것으로 생각되었다. 무기물 분석 결과, 전체적으로 칼륨(K)이 가장 풍부하였

으며, 그중에서도 특히 6월 꿀에서 가장 높은 농도를 보였다. 이러한 꿀에서의 무기물 함량은 주변 식물의 종류와 다양성에 따라 상당한 영향을 받는 것으로 나타났으며, 주변 식물이 다양하게 분포하는 시기인 6~7월에 전체적인 무기물의 함량이 더 높았다. 당 조성은 월별로 달랐으며, 과당/포도당 비율의 경우에는 나머지는 1.3 이상이었으며, 7월에 생산된 꿀에서 1.3 미만으로 결정화가 더 쉽게 일어날 수 있음을 나타내었다. 본 연구에서는 꿀의 영양성분이 생산시기별로 상당히 차이를 보였으며, 이는 주변 식물의 기원이나 분포 등에 따라 영양성분에 더 많은 영향을 미침을 알 수 있었다. 향후 주변 밀원 식물의 식생과 벌꿀에서의 영양성분 간의 상관관계에 대한 구체적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 농업정책지원기술개발사업(과제번호: RS-2023-00230940)에 의하여 수행되었습니다.

인용 문헌

- Assil, H., R. Sterling and P. Sporns. 1991. Crystal Control In Processed Liquid Honey. *J. Food Sci.* 56: 1034-1034.
- Blumfield, M. L., A. J. Hure, L. Macdonald-Wicks, R. Smith and C. E. Collins. 2013. A systematic review and meta-analysis of micronutrient intakes during pregnancy in developed countries. *Nutr. Rev.* 71(2): 118-132.
- Bogdanov, S., T. Jurendic, R. Sieber and P. Gallmann. 2008. Honey for nutrition and health: a review. *J. Am. Coll. Nutr.* 27(6): 677-689.
- de Oliveira Resende Ribeiro, R., E. T. Mársico, C. da Silva Carneiro, J. S. Simoes, M. da Silva Ferreira, E. F. O. de Jesus and C. A. C. Junior. 2015. Seasonal variation

- in trace and minor elements in Brazilian honey by total reflection X-ray fluorescence. *Environ. Monit. Assess.* 187: 1-8.
- Codex Alimentarius Commission (CAC). 2001. CODEX Standard for Honey. FAO/WHO Food Standard Programme. Rome, Italy.
- Ertop, U., H. Şevik and M. H. Ertop. 2023. Mineral composition and heavy metal contents of chestnut honey collected from kastamonu region. *JAN* 6(2): 73-87.
- Escuredo, O., I. Dobre, M. Fernández-González and M. C. Seijo. 2014. Contribution of botanical origin and sugar composition of honeys on the crystallization phenomenon. *Food Chem.* 149: 84-90.
- Escuredo, O., M. Míguez, M. Fernández-González and M. Carmen Seijo. 2013. Nutritional value and antioxidant activity of honeys produced in a European Atlantic area. *Food Chem.* 138(2-3): 851-856.
- Guler, A., H. Kocaokutgen, A. Garipoğlu, H. Onder, D. Ekinçi and S. Bıyık. 2014. Detection of adulterated honey produced by honeybee (*Apis mellifera* L.) colonies fed with different levels of commercial industrial sugar (C₃ and C₄ plants) syrups by the carbon isotope ratio analysis. *Food Chem.* 155: 155-160.
- Gundoğdu, E., S. Çakmakçı and İ. G. Şat. 2019. An overview of honey: its composition, nutritional and functional properties. *J. Food Sci. Eng.* 9(1): 10-14.
- Kanelis, D., V. Liolios, C. Tananaki and M. A. Rodopoulou. 2022. Determination of the carbohydrate profile and invertase activity of adulterated honeys after bee feeding. *Appl. Sci.* 12(7): 3661.
- Kim, S. G., I. P. Hong, S. O. Woo, H. R. Jang, J. S. Jang and S. M. Han. 2017. Chemical composition of Korean natural honeys and sugar fed honeys. *Korean J. Food Nutr.* 30(1): 112-119.
- Leigh, R. A. 2001. Potassium homeostasis and membrane transport. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 164(2): 193-198.
- Lim, D., M. F. Abu Bakar and M. Majid. 2019. Nutritional composition of stingless bee honey from different botanical origins. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 269: 012025.
- Sajtos, Z., P. Herman, S. Harangi and E. Baranyai. 2019. Elemental analysis of Hungarian honey samples and bee products by MP-AES method. *Microchem. J.* 149: 103968.
- Solayman, M., M. A. Islam, S. Paul, Y. Ali, M. I. Khalil, N. Alam and S. H. Gan. 2016. Physicochemical properties, minerals, trace elements, and heavy metals in honey of different origins: a comprehensive review. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.* 15(1): 219-233.
- White, J. 1957. The Composition of Honey. *Bee World* 38: 57-66.