



## 꿀벌응애류 방제용 개미산에 대한 조건별 기화량 평가

오대근<sup>1,2</sup>, 김길원<sup>2</sup>, 김경문<sup>1</sup>, 피터 아콩테<sup>1</sup>, 김주경<sup>1</sup>, 이창훈<sup>1</sup>, 박보선<sup>1</sup>, 김수배<sup>1</sup>, 조유영<sup>1</sup>, 최용수<sup>1</sup>, 김동원<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>농촌진흥청 국립농업과학원 양봉생태과, <sup>2</sup>인천대학교 생명과학과 행동생태실험실

## Evaluation of Vaporization Amount of Formic Acid in Different Conditions for Controlling Honeybee Mites

Daegeun Oh<sup>1,2</sup>, Kil Won Kim<sup>2</sup>, Kyung Mun Kim<sup>1</sup>, Peter Njukang Akongte<sup>1</sup>, Ju-kyeong Kim<sup>1</sup>, Changhoon Lee<sup>1</sup>, Bo Sun Park<sup>1</sup>, Su-bae Kim<sup>1</sup>, You-young Jo<sup>1</sup>, Yong-soo Choi<sup>1</sup> and Dongwon Kim<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>Apiculture Division, Department of Agricultural Biology, National Institute of Agricultural Science, RDA, Wanju 55365, Republic of Korea

<sup>2</sup>Animal Behavior and Ecology Laboratory, Incheon National University, Incheon 22012, Republic of Korea

### Abstract

Honeybees are an important species influencing many aspects of human life, particularly economic and agriculture. Plant production depends upon pollination, and this is mainly enabled by honeybees. Beekeepers across the Korea are experiencing unprecedented drops and losses in honeybee colonies. These losses have been attributed to bee mites (*Varroa destructor* and *Tropilaelaps mercedesae*) infestation. Application of acaricides is the most common practice to control bee mites. Among acaricides, formic acid is quite popular in *Varroa* mites control due to a natural substance with low residue levels in honey. However, beekeepers cannot use it without proper knowledge because it can cause significant harm to honeybees if used incorrectly. Therefore, this study was conducted to investigate how the vaporization rate of formic acid changes depending on the season in Korea.

### Keywords

*Varroa destructor*, *Tropilaelaps mercedesae*, Formic acid, Vaporization

## 서 론

꿀벌은 양봉가들에 의해 사육되어 양봉산물, 화분매개, 빈곤해결 등 다양한 경제적 이익을 가져다 주었다 (Ogaba, 2002; Abrol and Abrol, 2012; Ruttner, 2013). 꿀벌응애(Acari: varroidae, *Varroa destructor*)는 양봉꿀벌 (*Apis mellifera*)과 재래꿀벌 (*A. cerana*)에 기생하는 외부 기생성 응애로 꿀벌 개체군의 감소에 주요 원인으로 지목되고 있으며 (Potts *et al.*, 2010), 전 세계적으로 양봉산업

에 큰 피해를 주고 있다 (Noël *et al.*, 2020; Traynor *et al.*, 2020). 미국에서는 꿀벌응애로 인해 야생 양봉꿀벌의 개체수가 약 75% 감소하였고 (Kraus and Page, 1995), 꿀벌응애를 관리하지 않은 봉군은 관리한 봉군에 비해 약 60% 이상 높은 겨울철 손실률을 보였다 (Finley *et al.*, 1996). 또한 감염된 봉군을 관리하지 않으면 몇 년 내로 봉군 폐사에 이를 수 있다 (Rosenkranz *et al.*, 2010). 국내에서도 2021~2022년 사이 월동 봉군의 실종 및 폐사가 발생하였고, 원인 중 하나로 꿀벌응애가 지목되어 방제의 필요

성이 가중되었다(Kim, 2022). 봉군의 폐사에는 꿀벌응애의 섭식행동에 의해 일벌이 번데기 시기와 성충 시기에 지방체를 잃는 직접적인 피해의 영향도 있지만(Ramsey *et al.*, 2019), 다양한 꿀벌 질병을 매개하는 것도 큰 원인이다(Barroso-Arévalo *et al.*, 2019). 이러한 질병 중 하나는 날개불구병(DWV: deformed wing virus)으로 감염 시 날개의 정상적인 발달을 막아 일벌이 성체가 되었을 때 정상적인 활동을 어렵게 하여 봉군에 큰 피해를 준다(Roberts *et al.*, 2020). 꿀벌응애뿐만 아니라 중국가시응애(Acari: Laelapidae, *Tropilaelaps mercedesae*)나 기문응애(Acari: Tarsonemidae, *Acarapis woodi*)도 양봉꿀벌에 기생하며 봉군에 피해를 입히는 것으로 알려졌다(Burgett *et al.*, 1983; Loper, 1995).

꿀벌응애류를 방제하기 위해 양봉가들은 다양한 살비제나 물리적 방제법 등을 사용해 왔다. 살비제는 합성살비제와 천연살비제로 나뉜다. 합성살비제(Synthetic acaricides)는 fluvalinate, amitraz, coumaphos, flumethrin 등이 있고, 천연살비제(Organic acaricides)에는 formic acid, oxalic acid, thymol 등이 있다(Tihelka, 2018). 합성살비제는 간편하게 사용할 수 있도록 스트립형이나 액상으로 꿀벌봉군에 대한 처리법이 간단하여 양봉가들에게 선호한다. 하지만 장기간 사용, 적정량 초과, 처리횟수 초과 사용 등으로 인해 합성살비제에 대한 꿀벌응애의 저항성이 꾸준히 보고되었다(Elzen *et al.*, 1998; Trouiller, 1998; Maggi *et al.*, 2009, 2010). 저항성을 가진 꿀벌응애는 대상 살비제의 적정량 처리에도 효과적으로 방제되지 않기 때문에 더 많은 양의 살비제가 사용되며, 잔류물로 남아 봉군 건강과 인체 건강에 악영향을 줄 수 있다(Al-Waili *et al.*, 2012). 합성살비제의 대체제로 비교적 양봉산물에 잔류가 적고(Bogdanov *et al.*, 1999), 저항성 보고가 되지 않은 천연살비제의 사용이 증가되고 있다(VonPosern, 1988; Maggi *et al.*, 2017).

개미산은 천연살비제 중 하나로 양봉가들에게 40년 이상 사용되고 있다(Imdorf *et al.*, 1999). 꿀벌 성충에 붙어있는 외부의 꿀벌응애뿐만 아니라 번데기방 내부도 방제한다고 알려져 있다(Fries, 1991; Rosenkranz *et al.*, 2010). 개미산의 살비 기작은 꿀벌응애의 미토콘드리아의 사이토크롬 산화효소(Cytochrome oxidase)의 활성을 억제하여 신체조직에 대한 산소가용성을 낮추는 조직독성 저산소증을 유발하여 사망한다(Liesivuori and Savolainen, 1991). 봉군

내 처리법은 흡수용 패드에 개미산을 부어 기화시키거나(Calderone, 1999), 젤에 개미산을 첨가하여 천천히 개미산을 방출하는 방법이 있다(Feldlaufer *et al.*, 1997). Siceanu *et al.* (2021)은 봄철 번데기 산란권에 붓을 이용해 개미산을 발라 주어 번데기에 기생하는 응애를 방제하는 방법을 보고하였다. 꿀벌응애 방제 효과 범위는 50~100%로 알려졌다(Fries, 1991; Feldlaufer *et al.*, 1997; Calderone, 1999). 방제 효과의 차이는 적용방법, 적용위치, 주변 온·습도, 봉군의 세력, 벌통의 종류, 증발기의 유형, 개미산의 농도 등에 의한 영향으로 보여진다(Ostermann and Currie, 2004; van der Steen and Vejsnaes, 2021). 이러한 다양한 요인 때문에 개미산 이용 기술의 표준화가 어려운 실정이다.

개미산은 꿀벌응애류 방제 효율이 높음에도 불구하고 온도 의존적 기화 특성이 있다. 이에 개미산은 처리 시기, 농도, 장소에 따라 꿀벌 봉군의 행동 변화, 폐사, 여왕벌 손실, 유충 손실, 꿀 생산성 감소 등의 피해를 주고 있으며(Skinner *et al.*, 2001; Tihelka, 2018), 농가 현장에서도 종종 발생하여 사용을 기피한다. 따라서 본 연구는 개미산 기화 특성을 알아보기 처리 시기, 농도, 봉군 내·외부 꿀벌 유·무 조건에서의 기화량 변화를 조사하였다. 이를 통해 양봉농가에 정보를 제공하여 보다 효율적이고 안전한 사용을 할 수 있을 것으로 판단된다.

## 재료 및 방법

직접 제작한 기화기에 개미산을 넣은 후 시간의 경과에 따라 기화기의 무게를 측정하여 기화량을 측정하였다. 기

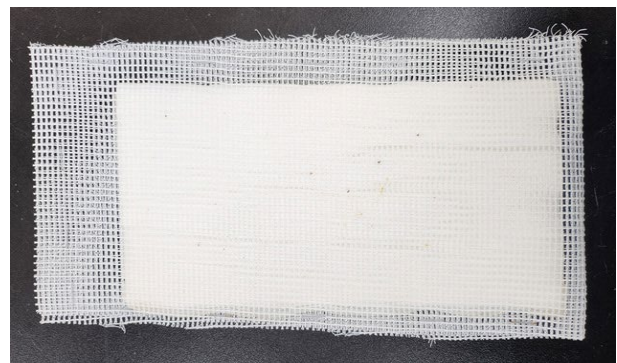


Fig. 1. The self-produced formic acid vaporizer used in the experiment.

화기는 누구나 쉽게 제작할 수 있도록 제작하였다. 제작 방법은 키친타올 8장(가로×세로, 23×11.5 cm)을 겹쳐 개미산 용액을 부었을 시 흡수되어 밖으로 흘러내리지 않게 하고, 일별이 통과하지 못할 정도 크기의 그물망에 넣고 스테이플러를 사용하여 제작하였다(Fig. 1). 기화기는 봉군 내부의 소광대 위에 올려 처리하였다. 개미산은 Sigma-Aldrich의 reagent grade, ≥95%를 사용하였다. 실험은 해가림 시설이 설치된 양봉장에서 진행하였다.

### 1. 여름철 개미산 기화량

여름철 기화량을 알아보기 위한 실험은 단상벌통(1단 벌통)과 계상벌통(2단 벌통)에 따라 처리하는 개미산의 양(단상벌통 30 mL, 계상벌통 50 mL)을 달리하였다. 벌이 들어있는 벌통(온벌통), 벌이 들어있지 않은 벌통(빈벌통), 야외에서 85%, 65%, 60% 농도의 개미산을 자체 제작한 기화기에 넣어 실시하였다. 실험에 사용한 봉군의 벌 수는 계상과 단상 모두 봉군마다 약 10,000마리로 맞추었고, 계상에는 소비 10매, 단상에는 소비 8매로 맞추어 실험에 사용하였다. 벌이 들어있지 않은 벌통에도 같은 수의 소비를 넣어 실험을 진행하였다. 벌통은 나무벌통을 사용하였고, 실험 진행 시 벌통 입구를 모두 개방하였다. 계상벌통은 개미산 용액을 50 mL씩 넣었으며, 85% 개미산 처리 온벌통, 65% 온벌통, 60% 온벌통, 85% 빈벌통, 65% 빈벌통, 60% 빈벌통, 85% 야외, 65% 야외, 60% 야외로 총 9개의 처리를 3반복하였다. 단상벌통에서도 계상벌통 처리구와 동일하게 설정하였으며, 개미산 용액의 양을 30 mL를 처리하였다. 벌통 내부에 데이터 로거를 소광대 위에 설치하여 내부 온·습도를 기록하였다. 기화량은 처리 후 4, 8, 12, 24시간대에 4회 측정하였다.

계상벌통 기화량 실험을 진행하는 동안의 외부 온도는 30±3.9°C, 상대습도는 62±15.9%이며, 단상벌통 기화량 실험을 진행하는 동안의 외부 온도는 27±2.1°C, 상대습도는 86±9.4%로 측정되었다.

### 2. 가을철 개미산 기화량

가을철 개미산 기화량 측정 실험은 단상벌통에서 하였다. 개미산의 양은 30 mL를 사용하였으며, 농도는 85, 65, 60, 40%로 하였다. 벌들이 들어있는 벌통(온벌통)과 야외에서의 개미산 기화량을 측정하였다. 벌 수는 약 9,000마

리로 맞추었고, 소비 수는 4매로 맞추었다. 기화량 측정 시간은 처리 후 4, 8, 12, 24시간대에 4회 측정하였다. 벌통 내부와 야외는 온·습도 데이터 로거를 사용하여 온·습도를 측정하였다(Table 1). 실험 진행하는 동안 외부 온도는 13±9.4°C, 상대습도는 72±25.0%로 측정되었다.

### 3. 통계처리

개미산 기화량은 측정 시간별 양을 백분율(%)로 변환하였다. 그룹 간 평균에 대해 one-way ANOVA(일원배치 분산분석)를 이용하여 분석하였으며, 사후검정은 Tukey HSD를 사용하여  $P < 0.05$ 에서 유의성을 검정하였다. 2가지 그룹 간 비교는 t-test를 사용하여  $P < 0.05$ 에서 유의성을 검정하였다.

## 결 과

### 1. 여름- 계상벌통에서의 개미산 기화

개미산 50 mL를 처리한 계상벌통에서의 개미산 평균 잔류량 백분율을 산출하였다. 온벌통 기화량 측정에서 85%는 처리 후 4, 8, 12, 24 순이며, 50.5±1.88, 33.4±1.04, 24.6±1.10, 6.6±0.65%로 측정되었다. 온벌통의 65%는 72.4±0.35, 54.2±0.97, 44.2±0.93, 24.0±1.67%로 측정되었다. 온벌통 60%는 66.0±1.85, 45.3±1.00, 34.5±1.75, 9.1±5.05%로 측정되었다. 빈벌통 85%는 잔류량이 57.2±1.58, 45.5±2.23, 36.5±5.56, 24.3±3.95%로 측정되었다. 빈벌통 65%는 77.1±1.49, 64.6±2.14, 57.2±1.52, 44.2±3.90%로 측정되었다. 빈벌통 60%는 79.5±1.35, 67.7±2.91, 60.8±3.32, 45.0±5.28%로 측정되었다. 야외 85%는 41.9±0.97, 26.7±0.90, 24.3±1.10, 2.1±0.60%로 측정되었다. 65%는 63.0±1.25, 46.6±1.18, 43.7±1.50, 15.2±2.40%로 측정되었다. 60%는 67.5±0.06, 50.2±0.66, 47.2±0.61, 17.8±0.32%로 측정되었다(Fig. 2).

### 2. 여름- 단상벌통에서의 개미산 기화

개미산 30 mL를 처리한 단상벌통에서의 개미산 평균 잔류량 백분율을 산출하였다. 온벌통 85%는 개미산 처리구의 시간에 따른 개미산 평균 잔류량은 처리 후 4, 8,

**Table 1.** Mean temperature and relative humidity inside and outside the beehive during the experiment

Season	Hive	Colony	Formic acid concentration (%)	Replication	Temperature (°C, mean ± SD)	Relative humidity (% , mean ± SD)
Summer	2nd super	Colony	85	1	–	–
				2	–	–
				3	32.9 ± 4.46	62.6 ± 9.82
			65	1	34.8 ± 6.37	50.9 ± 15.53
				2	33.5 ± 5.05	53.6 ± 14.14
				3	35.6 ± 6.61	51.0 ± 16.01
		60	1	33.7 ± 4.68	55.4 ± 13.03	
			2	35.0 ± 6.33	50.6 ± 15.75	
			3	33.6 ± 4.67	56.6 ± 12.84	
		Non colony	85	1	–	–
				2	–	–
				3	32.7 ± 7.70	56.8 ± 15.57
	65		1	–	–	
			2	–	–	
			3	–	–	
	60	1	33.6 ± 6.59	53.3 ± 15.32		
		2	–	–		
		3	31.8 ± 6.49	62.3 ± 15.73		
	Outside				30.2 ± 3.93	62.4 ± 15.90
	1st super	Colony	85	1	–	–
				2	–	–
				3	–	–
			65	1	30.4 ± 1.97	96.6 ± 5.34
				2	30.6 ± 1.88	95.9 ± 6.31
3				30.5 ± 1.89	89.3 ± 7.13	
60		1	30.6 ± 1.88	93.7 ± 7.22		
		2	30.3 ± 1.99	92.6 ± 8.44		
		3	29.6 ± 1.71	96.6 ± 5.55		
Non colony		85	1	28.1 ± 1.91	94.2 ± 7.94	
			2	27.9 ± 1.75	99.4 ± 3.28	
			3	28.4 ± 2.32	99.5 ± 3.43	
	65	1	28.1 ± 1.99	96.2 ± 6.43		
		2	28.1 ± 1.74	92.4 ± 5.13		
		3	28.3 ± 2.18	99.3 ± 3.91		
60	1	27.7 ± 1.71	90.0 ± 7.51			
	2	28.4 ± 2.22	98.6 ± 5.22			
	3	27.9 ± 1.93	91.1 ± 8.07			
Outside				27.4 ± 2.06	85.9 ± 9.43	

12, 24 순으로 36.3 ± 3.20, 14.8 ± 4.86, 3.1 ± 1.01, 0.3 ± 0.30%로 측정되었다. 온별통 65%는 44.4 ± 2.59, 19.4 ±

3.41, 3.8 ± 1.63, 0.3 ± 0.00%로 측정되었다. 온별통 60%는 49.0 ± 3.81, 21.8 ± 4.54, 4.1 ± 3.24, 0%로 측정되었다.

Table 1. Continued

Season	Hive	Colony	Formic acid concentration (%)	Replication	Temperature (°C, mean ± SD)	Relative humidity (% , mean ± SD)
Autumn	1st super	Colony	85	1	—	—
				2	—	—
				3	18.7 ± 4.95	64.6 ± 6.93
			65	1	16.3 ± 3.95	67.7 ± 4.20
				2	15.1 ± 4.32	69.0 ± 6.00
				3	15.6 ± 4.16	79.6 ± 3.60
			60	1	17.4 ± 3.56	55.0 ± 8.32
				2	15.5 ± 3.89	68.6 ± 4.42
				3	17.4 ± 3.98	67.5 ± 4.95
			40	1	20.9 ± 4.39	70.7 ± 5.44
				2	17.7 ± 4.08	60.3 ± 3.43
				3	16.1 ± 4.23	67.7 ± 5.17
Outside					12.7 ± 9.37	72.2 ± 25.02

—: No recorded data

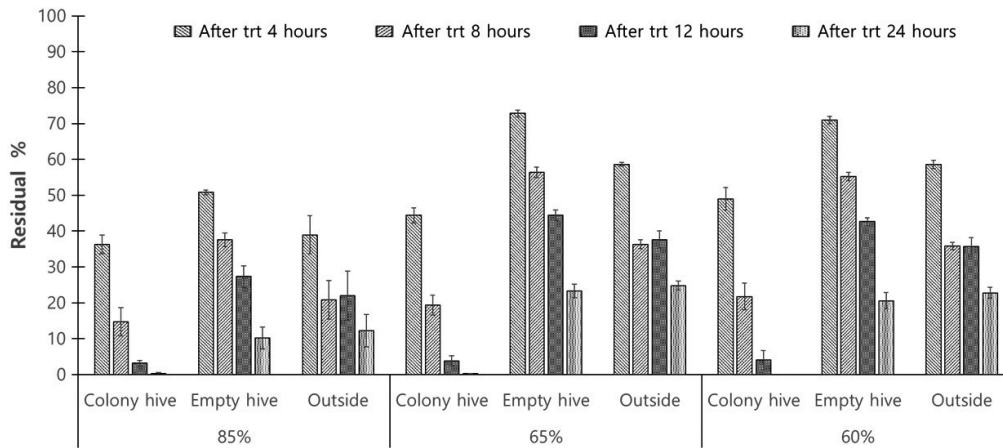


Fig. 2. Time-dependent formic acid vaporization according to treatment with three concentrations of formic acid solution (50 mL) in a two-tiered hive beehive during the summer season (Temp.: 30 ± 3.9°C). X-axis represents concentration of formic acid and treatment conditions, y-axis represents residual (%). The error bars indicate the standard deviation.

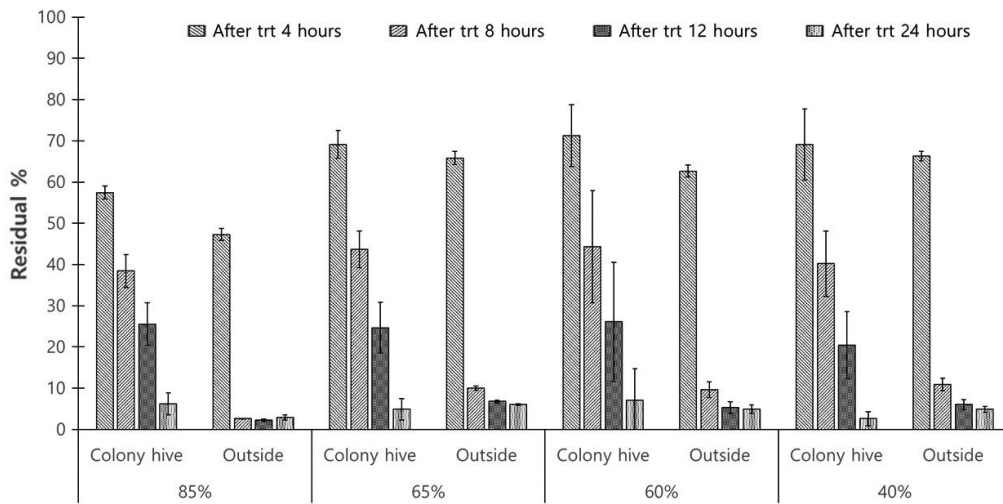
빈벌통에서 85%는 50.8 ± 3.21, 37.6 ± 2.27, 27.3 ± 3.61, 10.2 ± 3.79%로 측정되었다. 빈벌통 65%는 72.8 ± 1.23, 56.3 ± 1.84, 44.5 ± 1.86, 23.4 ± 2.30%로 측정되었다. 빈벌통 60% 개미산 처리구는 70.9 ± 1.25, 55.2 ± 1.42, 42.7 ± 1.35, 20.6 ± 2.72%로 측정되었다. 야외 85%는 39.0 ± 6.50, 20.8 ± 6.59, 22.0 ± 8.41, 12.2 ± 5.51%로 측정되었다. 65%는 58.6 ± 0.64, 36.3 ± 1.52, 37.7 ± 2.90, 24.8 ± 1.56%로 측정되었다. 60%는 58.6 ± 1.46, 35.8 ± 1.25, 35.7 ± 2.97, 22.7 ± 1.86%로 측정되었다(Fig. 3).

### 3. 가을- 단상벌통에서의 개미산 기화

개미산 30 mL를 처리한 단상벌통에서의 개미산 잔류량 백분율을 산출하였다. 벌이 들어있는 벌통 내부에서 85% 개미산 처리구는 처리 후 4시간, 8시간, 12시간, 24시간 순으로 57.4 ± 1.97, 38.4 ± 4.87, 25.6 ± 6.29, 6.2 ± 3.25%로 측정되었다. 온벌통 65%는 69.1 ± 4.20, 43.6 ± 5.42, 24.7 ± 7.50, 4.9 ± 3.23%였다. 온벌통 60%는 71.2 ± 9.21, 44.3 ± 16.66, 26.1 ± 17.62, 7.1 ± 9.39%였다. 온벌통 40%



**Fig. 3.** Time-dependent formic acid vaporization according to treatment with three concentrations of formic acid solution (30 mL) in a one-tiered beehive during the summer season (Temp.:  $27 \pm 2.1^\circ\text{C}$ ). X-axis represents concentration of formic acid and treatment conditions, y-axis represents residual (%). The error bars indicate the standard deviation.



**Fig. 4.** Time-dependent formic acid vaporization according to treatment with three concentrations of formic acid solution (30 mL) in a one-tiered beehive during the autumn season (Temp.:  $13 \pm 9.4^\circ\text{C}$ ). X-axis represents concentration of formic acid and treatment conditions, y-axis represents residual (%). The error bars indicate the standard deviation.

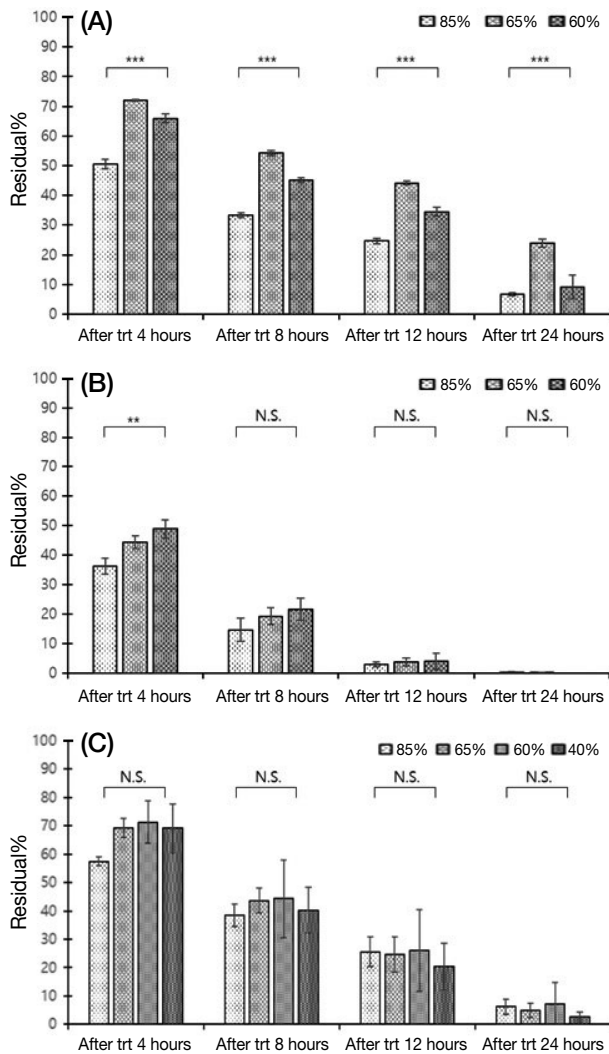
는  $69.1 \pm 10.63$ ,  $40.2 \pm 9.79$ ,  $20.4 \pm 9.93$ ,  $2.6 \pm 2.17\%$ 였다. 야외에서의 85% 개미산 처리구는  $47.3 \pm 1.78$ ,  $2.6 \pm 0.06$ ,  $2.2 \pm 0.40$ ,  $2.9 \pm 0.70\%$ 로 측정되었다. 야외 65%는  $65.9 \pm 1.99$ ,  $10.0 \pm 0.66$ ,  $6.8 \pm 0.38$ ,  $6.0 \pm 0.21\%$ 였다. 야외 60%는  $62.6 \pm 1.76$ ,  $9.6 \pm 2.41$ ,  $5.4 \pm 1.70$ ,  $5.0 \pm 1.27\%$ 였다. 야외 40%는  $66.3 \pm 1.40$ ,  $10.9 \pm 1.82$ ,  $6.0 \pm 1.50$ ,  $4.9 \pm 0.81\%$ 였다(Fig. 4).

#### 4. 개미산 농도에 따른 기화량 비교

여름 시기에 계상벌통에서 개미산 용액 50 mL를 사용

한 결과는 다음과 같다. 처리 후 4시간 경과한 85, 65, 60% 농도의 잔류량은 처리 간 유의한 차이를 보였다( $df=2$ ,  $F=160.814$ ,  $P<0.001$ ). 처리 후 8시간은 처리 간 유의한 차이를 보였다( $df=2$ ,  $F=323.667$ ,  $P<0.001$ ). 처리 후 12시간은 처리 간 유의한 차이를 보였다( $df=2$ ,  $F=169.425$ ,  $P<0.001$ ). 처리 후 24시간은 처리 간 유의한 차이를 보였다( $df=2$ ,  $F=27.831$ ,  $P=0.001$ ).

여름 시기에 단상벌통에서 개미산 용액 30 mL를 사용한 결과는 다음과 같다. 처리 후 4시간 경과한 85, 65, 60% 농도의 잔류량은 처리 간 유의한 차이를 보였다( $df=2$ ,



**Fig. 5.** Comparison of formic acid vaporization according to concentration of formic acid solution in beehive containing bees. A: Residual amount of 50 mL of formic acid solution over time inside the two-tiered hive in summer. B: Residual amount of 30 mL of formic acid solution over time inside the one-tiered hive in summer. C: Residual amount of 30 mL of formic acid solution over time inside the two-tiered hive in autumn. X-axis represents elapsed time, y-axis represents residual (%). The error bars indicate the standard deviation. N.S.: Not significant. \*: indicates significant difference (\*:  $P < 0.05$ , \*\*:  $P < 0.01$ , \*\*\*:  $P \leq 0.001$ ).

$F = 11.770$ ,  $P = 0.008$ ). 처리 후 8시간은 처리 간 유의한 차이가 없었다. 처리 후 12시간은 처리 간 유의한 차이가 없었다. 처리 후 24시간은 처리 간 유의한 차이가 없었다 (Fig. 5-B).

가을 시기에 단상벌통에서 개미산 용액 30 mL를 사용한 결과는 다음과 같다. 처리 후 4시간 경과한 85, 65, 60, 40% 농도의 잔류량은 처리 간 유의한 차이가 없었다. 처리 후 8시간은 처리 간 유의한 차이가 없었다. 처리 후 12시간

은 처리 간 유의한 차이가 없었다. 처리 후 24시간은 처리 간 유의한 차이가 없었다(Fig. 5-C).

### 5. 시기에 따른 개미산 기화량 비교

시기에 따른 개미산 기화량 비교하기 위해 단상벌통에 개미산 30 mL의 개미산을 적용했던 여름과 가을철의 기화량을 분석하였다.

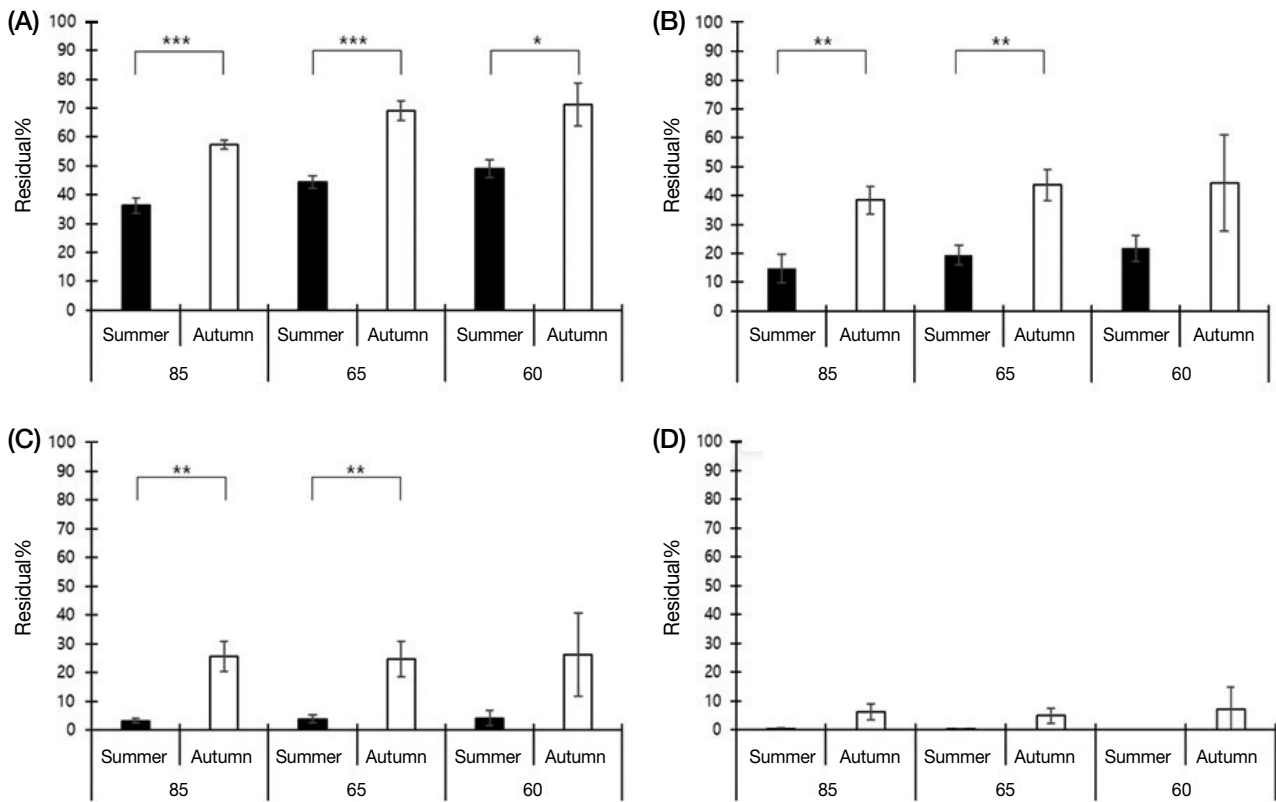
85%의 개미산 처리의 경우, 처리 후 4시간의 개미산 잔류량은 여름과 가을에서 유의한 차이가 있었으며 여름철에 더 빠르게 기화하였다(t-test,  $t = -9.712$ ,  $df = 4$ ,  $P = 0.001$ ). 처리 후 8시간은 여름과 가을에서 유의한 차이가 있으며 여름에 더 빨리 기화하였다(t-test,  $t = -5.959$ ,  $df = 4$ ,  $P = 0.004$ ). 처리 후 12시간은 여름과 가을에서 유의한 차이가 있으며 여름에 더 빨리 기화하였다(t-test,  $t = -6.098$ ,  $df = 4$ ,  $P = 0.004$ ). 처리 후 24시간은 여름과 가을에서 유의한 차이가 없었다.

65%의 개미산 처리의 경우, 처리 후 4시간의 개미산 잔류량은 여름과 가을에서 유의한 차이가 있었으며 여름에 더 빨리 기화하였다(t-test,  $t = -8.670$ ,  $df = 4$ ,  $P = 0.001$ ). 처리 후 8시간은 여름과 가을에서 유의한 차이가 있었으며 여름에 더 빨리 기화하였다(t-test,  $t = -6.569$ ,  $df = 4$ ,  $P = 0.003$ ). 처리 후 12시간은 여름과 가을에서 유의한 차이가 있으며 여름에 더 빨리 기화하였다(t-test,  $t = -4.704$ ,  $df = 4$ ,  $P = 0.009$ ). 처리 후 24시간은 여름과 가을에서 유의한 차이가 없었다.

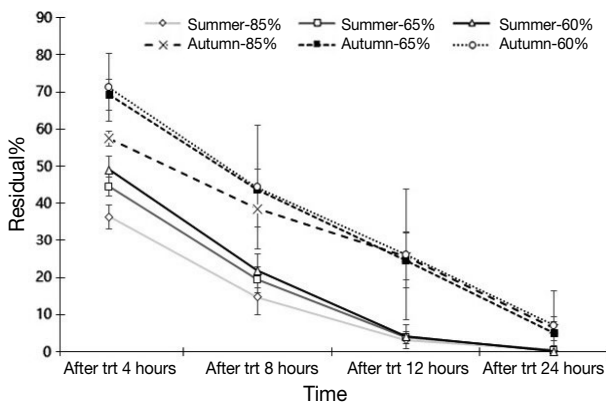
60%의 개미산 처리의 경우, 처리 후 4시간의 개미산 잔류량은 여름과 가을에서 유의한 차이가 있었으며 여름에 더 빨리 기화하였다(t-test,  $t = -3.865$ ,  $df = 4$ ,  $P = 0.018$ ). 처리 후 8시간은 여름과 가을에서 여름의 개미산 잔류량이 더 낮았지만 유의한 차이는 없었다. 처리 후 12시간은 여름과 가을에서 유의한 차이가 없었다. 처리 후 24시간은 여름과 가을에서 유의한 차이가 없었다.

## 고 찰

외부 기상 조건이 온도  $30 \pm 3.9^\circ\text{C}$ , 상대습도  $62 \pm 15.9\%$  인 여름철에 계상벌통에서 처리한 50 mL의 개미산 용액은 빈벌통이나 야외에 비해 벌이 들어있는 벌통 내부에서 더 빠르게 기화하였다. 85% 개미산은 벌이 있는 벌통, 벌이 없는 벌통, 야외 모두 다른 농도보다 빨리 기화하였다.



**Fig. 6.** Comparison of residual amounts of formic acid solutions at different concentrations over time during summer and autumn. X-axis represents concentration and season, and y-axis represents residual amount of formic acid (%), conducted within hive in honeybee colony. The labels A, B, C, and D within the box indicate 4 hours, 8 hours, 12 hours, and 24 hours after treatment with formic acid, respectively. \*: indicates significant difference (\*:  $P < 0.05$ , \*\*:  $P < 0.01$ , \*\*\*:  $P \leq 0.001$ ). The error bars indicate the standard deviation.



**Fig. 7.** Residual levels over time of three concentration (85%, 65%, 60%) of formic acid solutions inside hives with bees during summer and fall. X-axis represent time, and y-axis represents residual levels. The error bars indicate the standard deviation.

벌이 있는 벌통 안의 온도는  $34 \pm 0.9^\circ\text{C}$ 로 외부 기온과 약  $4^\circ\text{C}$  정도 더 높았다. 50 mL의 용량 처리 후 24시간에서는 기화기에 잔류하였으나 처리 후 36시간에서는 모두 기화

하였다. 온도는  $27 \pm 2.1^\circ\text{C}$ , 상대습도는  $86 \pm 9.4\%$ 인 여름철에 단상벌통에 처리한 30 mL의 개미산 용액은 높은 농도 순으로 기화하였다. 빈벌통과 야외보다 벌들이 있는 벌통에서 빨리 기화하는 것을 알 수 있었다. 개미산 용액은 대부분 처리 후 4시간에서 절반 이상 기화하였으며, 처리 후 12시간에는 대부분 기화되었다. 벌이 있는 벌통 내부 온도는  $30 \pm 1.9^\circ\text{C}$ 로 외부 기온과 약  $3^\circ\text{C}$  차이로 더 높았다. 온도는  $13 \pm 9.4^\circ\text{C}$ , 상대습도는  $72 \pm 25.0\%$ 로 측정된 가을철에 단상벌통 실험군에 처리한 30 mL의 개미산 용액은 벌통이 들어있는 내부보다 외부에서 더 빠르게 기화하였다. 농도별 비교에서는 농도가 높을수록 조금 빠르게 기화하였으나, 농도별로 기화량의 차이는 보이지 않았다. 벌통들의 내부 평균온도는  $17 \pm 4.1^\circ\text{C}$ 로 약  $3\sim 4^\circ\text{C}$  벌통 내부 온도가 외부보다 높았다. 가을철에는 처리 후 4시간에서는 절반 이상 기화하지 않았으며, 처리 후 24시간에도 소량 잔류하였다. 다양한 요인에 따라 달라질 수 있지만 여름철 계상벌통에는 24시간 정도의 처리시간이 필요



하며, 단상벌통에는 12시간의 처리시간이, 가을철 단상벌통에는 24시간의 처리시간이 필요하다고 여겨진다. 개미산의 증발에 영향을 미치는 요인은 주변의 온·습도, 봉군의 크기, 벌통의 종류, 증발기의 유형, 개미산의 농도가 있다(Imdorf *et al.*, 1999). 따라서 개미산을 사용하기 위해서는 야외 온도를 고려하여 사용해야 한다.

여름철과 가을철에 개미산 기화량은 높은 농도일 때 더 큰 차이를 보이며 여름철에 더 빠르게 기화하였다. 이 결과는 높은 농도의 개미산 용액은 빠르게 기화하여 봉군 내부 환경에 개미산 농도를 급격하게 증가시킬 수 있고, 꿀벌에게 악영향을 줄 수 있다는 것을 의미한다. 이러한 결과는 고온에서 개미산 사용이 여왕벌과 애벌레를 손실시킨다는 보고를 뒷받침하며(van der Steen and Vejsnaes, 2021), 개미산 이용 시 꿀벌 피해를 줄이기 위해 노력해야 한다. 국외에서는 85% 농도의 개미산 처리가 꿀벌 뇌의 열충격단백질과 스트레스 지표 분자를 증가시키고(Gunes *et al.*, 2017), 장내 세포를 사멸하게 한다고 하였다(Gregorc *et al.*, 2004). 65%의 개미산은 일벌의 감소와 소비의 유충 영역을 감소시키고(Ostermann and Currie, 2004), 애벌레의 생존을 감소시킨다(Elzen *et al.*, 2004). van der Steen and Vejsnaes (2021)은 개미산 사용의 적정 온도는 12~25°C라고 보고하였다. 수벌이 필요한 시기에는 개미산이 수벌의 생산을 감소시키고, 수벌의 생존력을 낮추기 때문에 개미산을 사용하지 않는 것이 좋다(De Guzman *et al.*, 1999). 개미산 사용 시에는 벌통 입구는 반드시 모두 열어야 하며, 처리 시 먹이를 공급하면 부작용을 줄일 수 있다(Imdorf *et al.*, 1999). 꿀 생산 시기에는 꿀의 향이 변할 수 있고, 수밀력이 낮아지기 때문에 사용을 피하는 것이 좋다(Skinner *et al.*, 2001). 개미산의 장기간 처리는 애벌레의 호흡을 억제시켜 폐사하며, 일벌들이 애벌레에게 주는 먹이가 감소하여 번식기에는 짧은 기간 사용하는 것이 유리하다(Ostermann and Currie, 2004).

## 적 요

꿀벌은 꿀과 그밖에 다양한 양봉산물의 생산 및 화분매개자로서 전 세계 작물의 약 70%의 수분을 돕는 경제적으로 높은 가치를 지닌 생물이다. 우리나라는 최근 몇 년 동안 꿀벌 기생충인 꿀벌응애 및 중국가시응애로 인해 양봉

업자들이 큰 피해를 받고 있다. 꿀벌응애류 방제를 위하여 다양한 합성 및 천연살비제가 사용된다. 살비제 중 개미산은 천연물질이며 사용 시 꿀에 잔류량이 낮고, 살비 효과가 우수하여 응애 방제에 적합한 살비제다. 하지만 사용 방법을 준수하지 않으면 꿀벌응애류뿐만 아니라 꿀벌에게 큰 피해를 주어 양봉업자들이 쉽게 사용하기 어려운 실정이다. 본 실험에서는 기온의 차이, 벌통 내부의 꿀벌 유무, 벌통 내부와 야외 조건에서 개미산의 시간에 따른 기화량을 측정하였다. 국내의 조건에서 응애 방제용 개미산 기화방제법의 사용법 확립에 도움이 되고자 진행하였다. 개미산은 농도가 높을수록 빨리 기화하였다. 여름철보다 가을에 전체 농도에서 기화속도가 느렸다. 여름에는 벌이 있는 벌통에서 개미산 처리 후 12시간 내에 대부분 기화하였고, 가을철에는 24시간 내에 대부분의 개미산이 기화하였다.

## 감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 연구과제 PJ01418006의 연구비로 지원된 결과이며 이에 깊은 감사를 드립니다.

## 인 용 문 헌

- Abrol, D. P. and D. P. Abrol. 2012. Honeybee and crop pollination. Pollination biology: biodiversity conservation and agricultural production. New York: Springer Science; Business Media: 85-110.
- Al-Waili, N., K. Salom, A. Al-Ghamdi and M. J. Ansari. 2012. Antibiotic, pesticide, and microbial contaminants of honey: human health hazards. Scientific World Journal Volume 2012: 930849.
- Barroso-Arévalo, S., E. Fernández-Carrión, J. Goyache, F. Molero, F. Puerta and J. M. Sánchez-Vizcaíno. 2019. High load of deformed wing virus and *Varroa destructor* infestation are related to weakness of honey bee colonies in Southern Spain. Front. Microbiol. 10: 1331.
- Bogdanov, S., V. Kilchenmann, P. Fluri, U. Bühler and P. Lavanchy. 1999. Influence of organic acids and components of essential oils on honey taste. Am. Bee J. 139(1): 61-63.
- Burgett, M., P. Akranakul and R. A. Morse. 1983. *Tropilaelaps clareae*: a parasite of honeybees in south-east Asia. Bee World 64(1): 25-28.
- Calderone, N. W. 1999. Evaluation of formic acid and a thymol-based blend of natural products for the fall control of *Varroa jacobsoni* (Acari: Varroidae) in colonies of *Apis mellifera* (Hymenoptera: Apidae). J. Econ. Entomol. 92(2): 253-260.

- De Guzman, L. I., T. E. Rinderer, V. A. Lancaster, G. T. Delatte and A. Stelzer. 1999. Varroa in the mating yard. III. The effects of formic acid gel formulation on drone production. *Am. Bee J.* 139(4): 304-307.
- Elzen, P. J., D. Westervelt and R. Lucas. 2004. Formic acid treatment for control of *Varroa destructor* (Mesostigmata: Varroidae) and safety to *Apis mellifera* (Hymenoptera: Apidae) under southern United States conditions. *J. Econ. Entomol.* 97(5): 1509-1512.
- Elzen, P. J., F. A. Eischen, J. B. Baxter, J. Pettis, G. W. Elzen and W. T. Wilson. 1998. Fluvalinate resistance in *Varroa jacobsoni* from several geographic locations. *Am. Bee J. (USA)* 138(9): 674-676.
- Feldlaufer, M. F., J. S. Pettis, J. P. Kochansky and H. Shimanuki. 1997. A gel formulation of formic acid for the control of parasitic mites of honey bees. *Am. Bee J. (USA)* 137(9): 661-663.
- Finley, J., S. Camazine and M. Frazier. 1996. The epidemic of honey bee colony losses during the 1995-1996 season. *Am. Bee J.* 136(11): 805-808.
- Fries, I. 1991. Treatment of sealed honey bee brood with formic acid for control of *Varroa jacobsoni*. *Am. Bee J. (USA)* 131(5): 313-314.
- Gregorc, A., A. Pogacnik and I. D. Bowen. 2004. Cell death in honeybee (*Apis mellifera*) larvae treated with oxalic or formic acid. *Apidologie* 35(5): 453-460.
- Gunes, N., L. Aydın, D. Belenli, J. M. Hranitz, S. Mengilig and S. Selova. 2017. Stress responses of honey bees to organic acid and essential oil treatments against varroa mites. *J. Apic. Res.* 56(2): 175-181.
- Imdorf, A., J. D. Charriere and P. Rosenkranz. 1999. Varroa control with formic acid. *FAIR CT97-2686*: 24.
- Kim, H. K. 2022. The effect of honey bee mites on the winter colony losses. *J. Apic.* 37(3): 291-299.
- Kraus, B. and R. E. Page Jr. 1995. Effect of *Varroa jacobsoni* (mesostigmata: Varroidae) on feral *Apis mellifera* (hymenoptera: Apidae) in California. *Environ. Entomol.* 24(6): 1473-1480.
- Liesivuori, J. and A. H. Savolainen. 1991. Methanol and formic acid toxicity: biochemical mechanisms. *Pharmacol. Toxicol.* 69(3): 157-163.
- Loper, G. M. 1995. A documented loss of feral bees due to mite infestations in S. Arizona. *Am. Bee J.* 135(12): 823-824.
- Maggi, M. D., S. R. Ruffinengo, N. Damiani, N. H. Sardella and M. J. Eguaras. 2009. First detection of *Varroa destructor* resistance to coumaphos in Argentina. *Exp. Appl. Acarol.* 47: 317-320.
- Maggi, M. D., S. R. Ruffinengo, P. Negri and M. J. Eguaras. 2010. Resistance phenomena to amitraz from populations of the ectoparasitic mite *Varroa destructor* of Argentina. *Parasitol. Res.* 107: 1189-1192.
- Maggi, M. D., N. Damiani, S. R. Ruffinengo, M. C. Brascesco, N. Szawarski, G. A. Mitton and M. J. Eguaras. 2017. The susceptibility of *Varroa destructor* against oxalic acid: a study case. *Bull. Insectology* 70(1): 39-44.
- Noël, A., Y. Le Conte and F. Mondet. 2020. *Varroa destructor*: how does it harm *Apis mellifera* honey bees and what can be done about it?. *Emerging Topics in Life Sciences* 4(1): 45-57.
- Ogaba, M. 2002. Household poverty reduction through beekeeping amongst Uganda rural women. *Standing Commission of Beekeeping for Rural Development*, Monmouth.
- Ostermann, D. J. and R. W. Currie. 2004. Effect of formic acid formulations on honey bee (Hymenoptera: Apidae) colonies and influence of colony and ambient conditions on formic acid concentration in the hive. *J. Econ. Entomol.* 97(5): 1500-1508.
- Potts, S. G., S. P. Roberts, R. Dean, G. Marris, M. A. Brown, R. Jones and J. Settele. 2010. Declines of managed honey bees and beekeepers in Europe. *J. Apic. Res.* 49(1): 15-22.
- Ramsey, S. D., R. Ochoa, G. Bauchan, C. Gulbranson, J. D. Mowery, A. Cohen and D. vanEngelsdorp. 2019. *Varroa destructor* feeds primarily on honey bee fat body tissue and not hemolymph. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 116(5): 1792-1801.
- Roberts, J. M., N. Simbiken, C. Dale, J. Armstrong and D. L. Anderson. 2020. Tolerance of honey bees to Varroa mite in the absence of deformed wing virus. *Viruses* 12(5): 575.
- Rosenkranz, P., P. Aumeier and B. Ziegelmann. 2010. Biology and control of *Varroa destructor*. *J. Invertebr. Pathol.* 103: S96-S119.
- Ruttner, F. 2013. *Biogeography and taxonomy of honeybees*. Springer Science & Business Media.
- Siceanu, A., E. Căuia, G. O. Vișan and D. Căuia. 2021. The sustainable control of varroosis (*Varroa destructor*) by treatment of capped honeybee brood using organic volatile acids and innovative procedures. *Sci. Papers Ser. D, Anim. Sci.* 64(2).
- Skinner, J. A., J. P. Parkman and M. D. Studer. 2001. Evaluation of honey bee miticides, including temporal and thermal effects on formic acid gel vapours, in the central south-eastern USA. *J. Apic. Res.* 40(3-4): 81-89.
- Tihelka, E. 2018. Effects of synthetic and organic acaricides on honey bee health: a review. *Slov. Vet. Res.* 55(3): 114-140.
- Traynor, K. S., F. Mondet, J. R. de Miranda, M. Techer, V. Kowallik, M. A. Oddie and A. McAfee. 2020. *Varroa destructor*: A complex parasite, crippling honey bees worldwide. *Trends Parasitol.* 36(7): 592-606.
- Trouiller, J. 1998. Monitoring *Varroa jacobsoni* resistance to pyrethroids in western Europe. *Apidologie* 29(6): 537-546.
- van der Steen, J. and F. Vejsnæs. 2021. Varroa control: A brief overview of available methods. *Bee World* 98(2): 50-56.
- VonPosem, H. 1988. Stopping Varroa victory march. 2. *Am. Bee J.* 128(6): 425-428.