



아까시나무 (*Robinia pseudoacacia* L.)와 분홍아까시나무 (*R. margarettae* 'Pink Cascade') 향기성분 조성 비교

이수진^{1,2}, 김영기³, 노광래^{1,2}, 이현숙^{1,2}, 김문섭³, 김세현³, 권형욱^{1,2,*}

¹인천대학교 생명과학부 생명과학전공, ²인천대학교 매개곤충자원융복합연구센터, ³국립산림과학원 산림산림생명자원연구부 산림소득자원연구과

Comparative Study of Floral Volatile Components in the Different Species of *Robinia* spp.

Sujin Lee^{1,2}, Yeonggi Kim³, Gwang Rae Noh^{1,2}, Hyun Sook Lee^{1,2}, Mun Seop Kim³, Sea Hyun Kim³ and Hyung Wook Kwon^{1,2,*}

¹Division of Life Sciences, Major of Biological Sciences, Incheon National University

²Convergence Research Center for Insect Vectors, Incheon National University

³Division of Special Forest Product, National Institute of Forest Science, Suwon, Republic of Korea

Abstract

Plants release a large variety of volatile organic compounds (VOCs) into the surrounding atmosphere. Floral volatile compounds (FVCs) emitted from many plants is the critical factors for pollinator attraction and defense for adaptation in environments. Recent studies indicate that the chemical components contributing to FVCs play an important role in the honeybee attractiveness to flowers. Olfactory signals are rapidly learned, indicating that foraging behavior results from the association of plant chemicals acting as chemosensory cues for the bees. Solid phase microextraction (SPME)-GC/MS method was applied to analyze the chemical composition of FVCs according to the different species of *Robinia* spp. The abundant compounds identified in *R. pseudoacacia* were (Z)- β -ocimene (34.86%) and linalool (35.47%). Those of the tetraploid *R. pseudoacacia* were (Z)- β -ocimene (35.42%) and α -Farnesene (33.94%). The volatiles of *R. margarettae* 'Pink Cascade' comprised an abundance of (Z)- β -ocimene (42.73%), (E)-4,8-Dimethylnona-1,3,7-triene (37.23%). Differences in FVCs of the different species of *Robinia* spp. are discussed in light of biochemical constraints on volatile chemical synthesis and of the role of flower scent in ecology of pollination.

Keywords

Robinia pseudoacacia L., tetraploid *R. pseudoacacia*, *R. margarettae* 'Pink Cascade', Floral volatile compounds (FVCs), (Z)- β -ocimene, Linalool, α -Farnesene, (E)-4,8-Dimethylnona-1,3,7-triene

서론

아까시나무 (*Robinia pseudoacacia* L.)는 콩과(Leguminosae)에 속하는 북아메리카 원산의 낙엽교목으로 높이 25 m 정도로 자라며, 세계적으로 분포하고 있는 수종이다(이,

2003). 아까시나무는 우리나라 전역에 분포하고 있으며, 가장 주요한 밀원식물로서 국내 양봉산업에 기반이 되는 자원이다(이, 1998). 아까시나무는 연료림 및 사방조림 등 다목적 수종으로 식재된 이후, 밀원자원으로 각광받아 우리나라 양봉 생산량의 70%를 차지하는 주요 수종으로 인

식되어 있다(Lee *et al.*, 2004).

2000년대 초반부터 아까시나무 황화현상 및 잎혹파리와 흰가루병이 발생하여 아까시나무 꿀 생산량이 큰 타격을 입었다(김, 2012). 또한 1980년 이후 조림 권장 수종에서 제외되고 여러 가지 부정적인 이미지가 작용하여 제대로 관리되지 못하고 남벌되면서 쇠퇴기를 맞았다. 이로 인해 벌꿀 생산량이 감소하여 아까시나무를 대체할 수 있는 밀원수종에 대한 연구가 활발히 진행 중에 있다(한 등, 2009).

아까시나무는 1891년 일본인 사카기에 의해 우리나라에 최초로 들어온 것으로 알려져 있으며(손 등, 2014), 목재 생산, 연료립 조성, 녹화를 목적으로 1980년대까지 약 320,000 ha가 조림되었다(조 등, 2001). 이후 목재 생산 및 밀원수 활용 측면에서 경제성을 높이기 위해 직립성, 조기 개화, 만기 개화, 분홍색 꽃 등의 특성을 가지는 헝가리 품종을 1988년에 종자로 도입하였다(이, 2008). 분홍색 꽃을 가지는 아까시나무는 주로 꽃아까시나무로 알려진 *R. hispidia*와 *R. viscosa*, *R. neomexicana* 종이 있다. 현재 우리나라에 분포하고 있는 분홍아까시나무의 학명은 *R. margarettae* ‘Pink Cascade’로 등록되었는데, 미국 통합 분류학 정보시스템(Integrated Taxonomic Information System, ITIS)에 의하면 꽃아까시나무(*R. hispidia*)와 아까시나무(*R. pseudoacacia*)를 이용하여 교잡된 종이다. 또한, 기존 연구 문헌에 의하면 분홍아까시나무의 개화 개시 시기는 보통 아까시나무와 같으나, 개화 기간이 길게 지속되며, 화밀 분비량 또한 두 배 이상 분비된다고 보고되었다(이, 2008, 2009).

정 등(2017)이 발표한 연구결과에 따르면 만개한 아까시나무 꽃에는 (Z)- β -ocimene, pinene, linalool 성분이 80% 이상 함유하고 있으며, 이러한 향기 성분은 아까시나무 꿀

의 풍미(honey aroma)에 기여한다(Soria *et al.*, 2009). 꿀벌의 방화 행동을 유도하여 방문 빈도에 영향을 줄 수 있는 꽃의 다양한 특성들 중 꽃의 휘발성 향기 성분(Floral Volatile Components, FVCs)이 꿀벌의 유인에 중요한 역할을 한다(Stashenko and Martínez, 2008). 휘발성 물질은 개체 또는 품종 간에도 차이를 보이며, 이러한 식물 간의 향기 성분의 차이는 동일 식물이라도 재배지의 환경에 대한 차이가 있음이 밝혀짐에 따라(Lee *et al.* 2008; 백 등, 2015), 아까시나무 꽃의 품종 간의 향기 성분의 종류와 조성이 다를 것으로 추측되며, 이에 따라 꿀벌의 방화 행동에도 영향을 미칠 것으로 판단된다.

따라서 본 연구는 우리나라에서 많이 조림되어 있는 아까시나무(*R. pseudoacacia*), 자연에서 발생한 돌연변이 개체인 4배체 아까시나무(tetraploid *R. pseudoacacia*), 분홍 아까시나무(*R. margarettae*) 등 3종의 휘발성 향기 성분을 동정하고 조성 차이를 비교분석하기 위해 실시하였다.

재료 및 방법

1. 시료

본 실험에 사용한 아까시나무 꽃은 2019년 5월에 경기도 수원 국립산림과학원 시험림에 식재된 아까시나무, 4배체 아까시나무, 분홍아까시나무이며, 형태 및 크기가 균일하고 우수한 개화 단계의 꽃을 채집 후 줄기를 제거한 뒤 분석용 시료로 사용하였다(Fig. 1). 아까시나무 꽃의 개화 기준은 기존의 연구결과를 인용하여(한 등, 2009), 꽃잎이 벌어지면서 밀선이 개방되고 꿀벌의 채밀이 가능한 시기에 시료를 3회 이상 채집하였다.

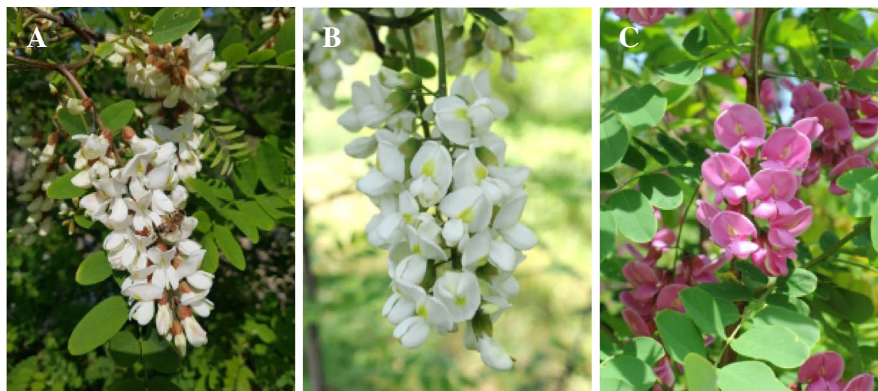


Fig. 1. A. *R. pseudoacacia*, B. tetraploid *R. pseudoacacia*, C. *R. margarettae* ‘Pink Cascade’.

2. Solid phase microextraction (SPME)법에 의한 FVCs 분석

아까시나무 꽃의 휘발성 향기 성분은 SPME법으로 추출하였다. 향기 성분의 흡착은 SPME Holder (Supelco™ Solid Phase Microextraction Fiber Holder, Supelco, Inc., Bellefonte, PA, USA)에 Polydimethylsiloxane (PDMS) fiber (100 µm coating thickness)를 고정하여 사용하였다. 50°C hot plate에서 30분 방치하여 표면에 존재하는 수분을 증발시킨 후 시료 1.5 g씩 계량하여 SPME용 20 mL, headspace crimp vial (Agilent Technologies, Inc., CA, USA)에 넣고, Crimp cap (20 mm HS AL Crimp, Agilent Technologies, Inc.)을 이용하여 밀봉하였다. SPME fiber를 휘발성 향기 성분에 노출시키기 전, 먼저 SPME fiber를 250°C GC injection port에서 1시간 동안 활성화하였다. 활성화된 SPME fiber의 needle을 vial의 headspace 상에 삽입하여 60분 동안 노출시켜 휘발 성분을 흡착시켰다. 흡착된 fiber는 즉시 GC-MS injector에 넣고 분석을 시작하였다. 본 실험은 3회 반복 실험을 수행하였다.

Gas chromatography analysis 휘발성 물질은 7890B gas chromatography (Agilent Technologies Inc.)를 이용하여 분리하였다. 이동상 기체는 헬륨가스를 사용하였고, 고정상(Column)으로는 HP-5MS, 30 m × 250 µm × 0.25 µm을 사용하였다. 컬럼의 온도는 40°C에서 5분간 유지시킨 후 250°C까지 6°C/min의 속도로 승온하였다. 유속은 1 mL/min으로 조정하였다. GC-MS분석 장치는 7890B와 5977B mass selective detector가 연결된 것을 사용하였으며 분석 조건은 다음과 같다. GC 주입구 온도는 250°C, mass range는 50~550 m/z, linear velocity는 36.262 cm/sec, ionization voltage는 90.6 eV로 설정하고, 운반 기체는 헬륨가스를 사용하였다. 그 외 컬럼 온도를 비롯한 분석 조건은 GC의 분석 조건과 동일하게 설정하였다. 휘발성 성분의 동정은 Agilent Chemstation (Agilent Technologies, Inc.)을 운영하여 분석하였고 mass spectral library data 검색으로 물질을 추정하였고, 표준물질의 머무름 시간 일치에 따라 정성분석하였다.

결과 및 고찰

아까시나무, 4배체 아까시나무, 분홍아까시나무의 꽃 시료에서 총 14가지의 FVCs를 동정하였다. 동정된 14

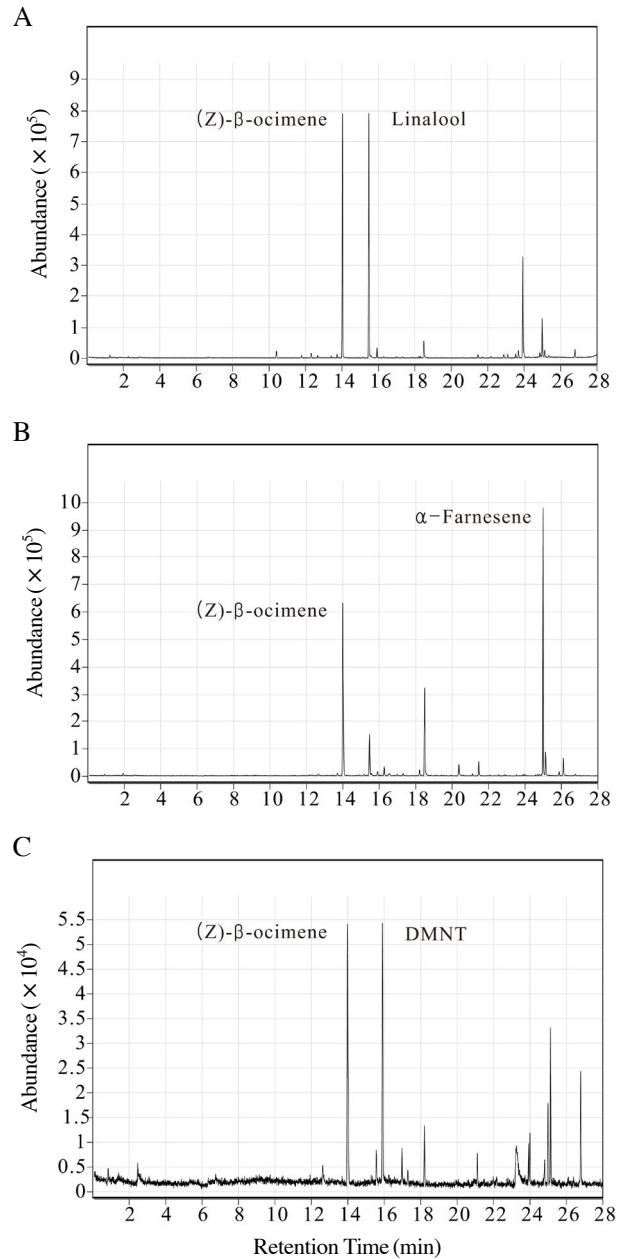


Fig. 2. Total ionic chromatogram of volatile compounds emitted from flowers of *Robinia* spp. in different species. (A. *R. pseudoacacia*, B. tetraploid *R. pseudoacacia*., C. *R. margarettae* 'Pink Cascade').

가지의 휘발 성분 중 monoterpene을 비롯한 terpenoids 계열이 50%로 가장 높은 비율을 차지하며, 그 다음으로 benzenoids (21.43%), sesquiterpene (21.43%), aldehyde (7.14%) 계열의 순으로 존재하였다. 3종 모두에 공통적으로 검출된 성분은 monoterpene 계열의 (Z)-β-ocimene이며 전체 성분의 30% 이상을 차지하고 있으며, (Z)-β-ocimene 이외에는 각 종마다 주요 향기 성분의 종류 및 함량이 다

른 것으로 나타났다(Table 1). β -ocimene는 자연계에서 (E)-, (Z)-형의 두 가지 입체이성질체(stereoisomer) 형태로 존재하며, 본 연구와 현재까지 알려진 연구결과에 따르면 아까시나무 꽃에는 (Z)- β -ocimene이 주로 검출된 반면, 꿀벌 유충이 발산하는 β -ocimene은 대부분 (E)-형으로 동정되었다(Maisonnasse *et al.*, 2010). (E)- β -ocimene은 먹이가 부족한 2령 유충이 방출하는 유충 페로몬이면서 죽은 유충 사체에서 (E)- β -ocimene이 방출되어 내역봉의 청소 행동(hygienic behavior)을 유발하는 기능을 가진다고 보고되어있다(He *et al.*, 2016; McAfee *et al.*, 2017). 향후 꽃과 꿀벌이 생성하는 입체이성질체 형태의 β -ocimene에 대한 꿀벌의 행동생리학적 심층적인 연구가 필요할 것으로 보인다.

아까시나무(*R. pseudoacacia*) 꽃에서는 11종류의 휘발성분이 동정되었으며, monoterpene (36.79%), terpenoids (37.05%), sesquiterpene (22.37%), benzenoids (3.79%) 계열이 검출되었고, aldehyde 계열은 검출되지 않았다(Table 1 & Fig. 3). 아까시나무 꽃의 주요 휘발성분으로는 monoterpene 계열의 (Z)- β -ocimene (34.86%)과 terpenoids 계열의 Linalool (35.47%)로 확인되었으며, 기존 연구에 따르면 pinene, (Z)- β -ocimene, linalool, benzaldehyde가 대표적인 아까시나무 꽃의 주요 향기 성분으로 보고되어 있다(Xie *et al.*, 2006; Aronne *et al.*, 2014; 정 등, 2017). 또한 sesquiterpene 계열의 휘발 성분인 (E)- α -Bergamotene (0.53%), (E)- β -Farnesene (15.80%), α -Farnesene (6.04%)가 동정되었다. Linalool (3,7-dimethyl-1,6-octadien-3-ol)

은 sweet, pleasant fragrance를 가진 acyclic monoterpene alcohol로, bergamot과 lavender essential oils 및 수많은 상업용 향수의 성분이며(Hanneguelle *et al.*, 1992), 꿀벌이 수분 매개(pollination)하는 꽃에서 널리 존재하는 FVCs 중 하나이다(Knudsen *et al.*, 1993). 꽃 조직에서의 Linalool의 방출은 식물의 monoterpene 생합성 경로인 2-C-methyl-d-erythritol 4-phosphate (MEP) 경로(Eisenreich *et al.*, 1997)의 중간 대사 산물인 geranyl diphosphate (GPP)가 생합성 효소(biosynthetic enzyme)인 linalool synthase (LIS)의 작용으로 촉매되어 linalool로 구조적인 변화를 하게 된다(Raguso and Pichersky, 1999; Lange *et al.*, 2000).

4배체 아까시나무(tetraploid *R. pseudoacacia*) 꽃에서는 9종류의 휘발성분이 동정되었으며, monoterpene

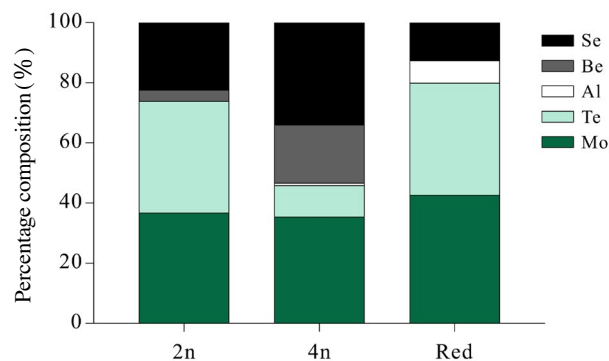


Fig. 3. Percentage composition of chemical class identified the FVCs from flowers of the different species of *Robinia* spp. (Mo: monoterpene, Te: terpenoids, Al: aldehyde, Be: benzenoids, Se: sesquiterpene).

Table 1. Identification of the FVCs from flowers of the different species of *Robinia* spp by SPME-GC/MS (2n: *R. pseudoacacia*, 4n: tetraploid *R. pseudoacacia*, red: *R. margaretae* ‘Pink Cascade’)

Peaks	RT	Compounds	Percentage composition (%)		
			2n	4n	Red
1	11.81	α -Pinene	0.52	—	—
2	12.34	β -Myrcene	0.84	—	—
3	13.75	(E)- β -ocimene	0.56	—	—
4	14.01	(Z)- β -ocimene	34.86	35.42	42.73
5	15.48	Linalool	35.47	7.96	—
6	15.93	(E)-4,8-Dimethylnona-1,3,7-triene	1.58	0.81	37.23
7	16.29	cosmene	—	1.69	—
8	18.22	Decanal	—	0.80	7.44
9	18.51	2-aminobenzaldehyde	3.00	14.93	—
10	20.39	1H-indole	—	2.16	—
11	21.48	Methyl anthranilate	0.79	2.29	—
12	23.12	(E)- α -Bergamotene	0.53	—	—
13	23.95	(E)- β -Farnesene	15.80	—	3.95
14	25.01	α -Farnesene	6.04	33.94	8.66
Total			100.00	100.00	100.00

(35.42%), sesquiterpene (33.94%), benzenoids (19.38%), terpenoids (10.45%), aldehyde (0.80%) 순으로 검출되었다 (Table 1 & Fig. 3). 다른 두 종에 비해 sesquiterpene과 benzenoids 계열이 4배체에서 가장 높은 비율로 존재하는 것으로 분석되었다. Sesquiterpene 계열인 α -Farnesene가 전체 성분의 33.94%를 차지하며, benzenoids 계열에서는 2-aminobenzaldehyde (14.93%), 1H-indole (2.16%), Methyl anthranilate (2.29%)가 동정되었다. Blight 등 (1997)의 연구에 따르면, 꿀벌의 복합적인 냄새 인식 (complex odor recognition) 연구를 위한 CPE (conditioned proboscis extension) assays의 결과에서 phenylacetaldehyde, linalool, (E,E)- α -farnesene이 가장 높은 반응을 보였으며, 이 결과는 이 세가지 성분이 외역봉에 의한 꽃의 인식에 기여하는 FVCs임을 시사한다. Terpenoids 계열에 속하는 cosmene (2,6-dimethyl-1,3,5,7-octatetraene)는 4배체에만 검출되었는데, 이 성분은 나방, 꿀벌, 말벌 및 딱정벌레를 포함한 다양한 곤충을 유인하는 캐나다 엉겅퀴 (*Canada thistle*, *Cirsium arvense*, Asteraceae) 꽃의 향기 성분에 함유되어 있다고 보고되어 있다 (El-Sayed *et al.*, 2008).

분홍아까시 (*R. margarettae* 'Pink Cascade') 꽃에서는 5 종류의 휘발 성분이 동정되었으며, monoterpene (42.73%), terpenoids (37.23%), sesquiterpene (12.61%), aldehyde (7.44%) 계열 순으로 존재하였으며, benzenoids 계열은 검출되지 않았다 (Table 1 & Fig. 3). Terpenoid 계열인 (E)-4,8-Dimethylnona-1,3,7-triene (DMNT)가 37.23% 함유되어 3종 중 가장 높은 비율을 차지했다. DMNT는 *Basella alba* 잎으로부터 방출된 herbivore-induced plant volatiles (HIPVs)의 주요 성분이며 (Aboshi *et al.*, 2019), HIPV는 간접적인 식물 방어를 유도하고, carnivore를 유인하여 수분 매개자 (pollinators)의 유인 (attraction)을 방해할 수도 있다 (Kessler and Halitschke, 2007; Dicke and Baldwin, 2010). Terpenoid 계열인 DMNT와 (E,E)-4,8,12-trimethyltrideca-1,3,7,11-tetraene (TMTT)는 다양한 해충에 대해 기피제 (repellents)로 작용하는 중요한 식물 방어 휘발성분 (plant defence volatiles)으로, 귤나무 이 (*Diaphorina citri*)의 방화 (foraging) 행동을 억제하여, 비 숙주 (non-host) 식물로의 유인력의 감소에 관여할 수 있다고 보고되었다 (Fancelli *et al.*, 2018). 또한 Delta Opal cotton의 DMNT 및 TMTT의 방출은 생식 (reproductive) 단계에 비해 생장 (vegetative) 단계에서 높는데, 목화바구미 (*A. grandis*)는 더 적은 양의 DMNT와 TMTT를 생산하는 식물을 선호하여 생식

(reproductive)과 생장 (vegetative) 단계를 구별할 수 있다는 연구결과가 있다 (Magalhães *et al.*, 2016). DMNT에 대한 선행 연구결과를 종합해보면, DMNT는 기피제 (repellents)로 작용하여 분홍아까시 꽃에 대한 꿀벌의 유인력 감소로 이어질 것으로 생각된다.

종자식물 (Spermatophyte, 種子植物)은 다양한 다기능 생합성 경로를 사용하여 휘발성 유기 화합물 (VOC, volatile organic compounds)을 생성하며, 이는 꽃과 식물 조직에 특징적인 향기를 종합적으로 부여한다. FVCs는 많은 식물군에서 널리 퍼져 있으며 특히 꿀벌의 수분 매개 시스템에서 유인 (attraction)에 영향을 미친다 (Dicke and Baldwin, 2010). 꿀벌 (*Apis mellifera* L.)에서, 방화 (foraging, 訪花) 행동은 꽃의 색, 모양 및 냄새를 꽃의 화밀 (nectar)과 꽃가루 (pollen)가 제공하는 음식 보상과 연관시키는 학습 과정을 기반으로 하며, 꿀벌이 꽃의 방문을 유도하는 자극 중에서 후각 신호가 가장 쉽게 학습된다 (Menzel *et al.*, 1993; Giurfa *et al.*, 1997). 꽃에 대한 꿀벌 방화 행동의 특성은 일반적으로 꿀벌의 채밀이 가능한 개화 최성기에 꿀벌의 방화율도 가장 높게 나타나는 데 (류와 장, 2003; 김 등, 2011) 이는 개화기 때 FVCs 조성비의 차이가 꿀벌의 방화 행동 유도에 중요한 역할을 할 것으로 추측된다. 본 연구는 이러한 가설을 일부 설명할 수 있다. 만개한 아까시나무 꽃은 향기 성분을 발산하며, 본 연구결과는 각 종마다 아까시나무 꽃의 FVCs의 조성비와 그 구성비율이 확연하게 차이가 있음을 확인하였다. 즉, 아까시나무 (*R. pseudoacacia*) 꽃에서는 (Z)- β -ocimene (34.86%)과 linalool (35.47%)이고, 4배체 아까시나무 (tetraploid *R. pseudoacacia*)에서는 (Z)- β -ocimene (35.42%)과 α -Farnesene (33.94%)이며, 분홍아까시나무 (*R. margarettae* 'Pink Cascade')에서는 (Z)- β -ocimene (42.73%)과 (E)-4,8-Dimethylnona-1,3,7-triene (37.23%)가 주요 FVCs로 검출됨을 확인하였다 (Table 1 & Fig. 3). 향후 향기 성분에 대한 꿀벌의 선호도를 포함한 선택적 행동 반응을 통해 아까시나무의 향기 성분과 꿀벌의 방화 행동에 대한 상호작용 연구가 필요할 것으로 생각된다. 현재 국내에서 널리 보급된 아까시나무 종에 대한 FVCs의 비교연구는 최초이며, 이러한 수종별 성분 조성의 차이가 개화시기 때 꿀벌의 방화 행동과 방문 빈도를 좌우하는 후각 신호로서 중요한 역할을 할 것으로 사료된다. 또한 벌꿀은 밀원의 명칭에 따라 아까시나무 꿀, 밤 꿀, 마누카 꿀, 유채 꿀, 메밀 꿀 등으로 명명되며 색, 향기, 맛 등이 각

기 다르다(김과 이, 1996). 꿀의 휘발 성분은 품질과 생산지의 판단을 가능케 하는 꿀의 가장 전형적인 특징들 중의 하나이다(Radovic *et al.*, 2001). 벌꿀의 품질을 식별하기 위한 지표물질(marker)로서의 휘발성 화합물의 연구가 활발히 이루어지고 있으며(강, 1998; Guyot *et al.*, 1998), 이러한 휘발성 화합물이 꿀의 꽃 기원을 증명하기에 충분하다고 보고되어져 왔다(Tan *et al.*, 1988; Wilkins *et al.*, 1993). 따라서, 향후 아까시나무 꿀의 품질관리 및 지표 물질로 활용이 가능할 것이다.

적 요

본 연구는 아까시나무 꽃으로부터 발산되는 휘발성 성분을 SPME법으로 추출하여 GC/MS를 통해 분석을 시도하여, 서로 다른 수종 별로 발산하는 FVCs의 성분과 그 구성비율이 확연하게 차이가 있음을 알 수 있었다. 아까시나무, 4배체 아까시나무, 분홍아까시나무에서 FVCs 분석결과를 비교해 볼 때 차이를 보이는 주요 FVCs는 각각 Linalool (35.47%), α -Farnesene (33.94%), (E)-4,8-Dimethylnona-1,3,7-triene (37.23%)으로 나타났으며, 공통적으로 (Z)- β -ocimene이 30% 이상을 차지하고 있음을 확인하였다. 이에 따라 수종 간 FVCs 조성비의 차이가 꿀벌의 방화 행동 유도에 중요한 역할을 할 것으로 추측되며, 아까시나무의 FVCs에 대한 꿀벌의 선호도 및 방화 행동의 연관성에 대해 심층적인 연구가 수행되어야 할 것으로 보인다.

감사의 글

본 논문은 농촌진흥청 공동연구사업(과제번호: PJ012285042019)의 지원에 의해 이루어진 것입니다. 또한 2019년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단 중견연구지원사업의 지원을 받아 수행된 연구입니다(No. 2016R1A2B3011742).

인용 문헌

강귀환. 1998. 한국산 밤꿀의 휘발성 향기성분. 한국농화학학회지 41(1): 84-88.

- 김세현. 2012. 한국 밀원식물의 발굴과 전망. 한국양봉학회 학술대회 자료집 10: 9-24.
- 김은선, 이종욱. 1996. K/Na Ratio를 이용한 토종꿀과 양봉꿀의 품질 특성 비교. 한국식품영양과학회지 25(4): 672-679.
- 백준필, 마하무다 악타 밀리, 최인이, 윤혁성, 김영설, 박완근, 권명철, 강호민. 2015. 곰취속 몇몇 종의 내적 품질과 휘발성 향기성분과 비교. 시설원예식물공학 24(1): 21-26.
- 손영모, 김소원, 이선정, 김정수. 2014. 아까시나무 임분의 임목 수확량 및 탄소저장량 추정. 한국산림과학회지 103(2): 264-269.
- 이경준. 1998. 한국 목본류 주요 및 보조밀원수종과 화분원수종의 분류와 개화기별 자원분포 현황. 서울대학교수목원연구보고 18: 57-71.
- 이경준. 2008. 아까시나무 신품종 개발 현황. 한국양봉학회 학술대회 자료집 10: 5-14.
- 이경준. 2009. 아까시나무 밀원수 신품종 개발현황. 한국양봉학회 학술대회 자료집 10: 23-36.
- 이창복. 2003. 원색 대한식물도감(상, 하). 서울: 향문사.
- 이희영, 정은정, 전선영, 조민숙, 조우진, 김희대, 차용준. 2008. 지역별 생산 양파종의 휘발성 향기성분 비교분석. 한국식품영양과학회지 37(12): 1609-1614.
- 정재원, 이현숙, 노광래, 김문섭, 이안도성, 김세현, 권형욱. 2017. 아까시나무(*Robinia Pseudoacacia* L.) 꽃의 개화 단계별 향기성분 조성 비교. 한국양봉학회지 32(3): 139-146.
- 조명희, 김준범, 조운원, 백승렬. 2001. 아까시나무 밀원식물단지 적지 선정에 위한 위성영상과 GIS의 응용기법. 한국지리정보학회지 4(2): 27-37.
- 한진규, 강문수, 김세현, 이갑연, 백을선. 2009. 경기도 수원지역 아까시나무의 개화, 꿀벌방화 및 화밀분비 특성. 한국양봉학회지 24(3): 147-152.
- Aboshi, T., A. Toda, T. Ashitani and T. Murayama. 2019. A Herbivore-Induced Homoterpene Volatile Is Emitted from *Basella Alba* Leaves. Biosci. Biotechnol. Biochem. 1-3.
- Aronne, G., M. Giovanetti, R. Sacchi and V. D. Micco. 2014. From Flower to Honey Bouquet: Possible Markers for the Botanical Origin of *Robinia* Honey. Sci. World J. 1-7. <http://dx.doi.org/10.1155/2014/547275>
- Blight, M. M., M. L. Métyer, M. H. P. Delègue, J. A. Pickett, F. Marion-Poll and L. J. Wadhams. 1997. Identification of Floral Volatiles Involved in Recognition of Oilseed Rape Flowers, Brassica Napus by Honeybees, *Apis Mellifera*. J. Chem. Ecol. 23(7): 1715-1727.
- Dicke, M. and I. T. Baldwin. 2010. The Evolutionary Context for Herbivore-Induced Plant Volatiles: Beyond the 'cry for Help'. Trends in Plant Sci. 15(3): 167-175.
- Eisenreich, W., S. Sagner, M. H. Zenk and A. Bacher. 1997. Monoterpenoid Essential Oils Are Not of Mevalonoid Origin. Tetrahedron Lett. 38(22): 3889-3892.
- El-Sayed, A. M., J. A. Byers, L. M. Manning, A. Jürgens, V. J. Mitchell and D. M. Suckling. 2008. Floral Scent of Canada Thistle and Its Potential as a Generic Insect Attractant. J. Econ. Entomol. 101(3): 720-727.
- Fancelli, M., M. Borges, R. A. Laumann, J. A. Pickett, M. A. Birkett and M. C. Blassioli-Moraes. 2018. Attractive-

- ness of Host Plant Volatile Extracts to the Asian Citrus Psyllid, *Diaphorina Citri*, Is Reduced by Terpenoids from the Non-Host Cashew. *J. Chem. Ecol.* 44(4): 397-405.
- Guyot, C., A. Bouseta, V. Scheirman and S. Collin. 1998. Floral Origin Markers of Chestnut and Lime Tree Honey. *J. Agric. Food Chem.* 46(2): 625-633.
- Hanneguëlle, S., J. N. Thibault, N. Nault and G. J. Martin. 1992. Authentication of Essential Oils Containing Linalool and Linalyl Acetate by Isotopic Methods. *J. Agric. Food Chem.* 40(1): 81-87.
- He, X. J., X. C. Zhang, W. J. Jiang, A. B. Barron, J. H. Zhang and Z. J. Zeng. 2016. Starving Honey Bee (*Apis Mellifera*) Larvae Signal Pheromonally to Worker Bees. *Sci. Rep.* 6: 22359.
- Kessler, A. and R. Halitschke. 2007. Specificity and Complexity: The Impact of Herbivore-Induced Plant Responses on Arthropod Community Structure. *Curr. Opin. Plant Biol.* 10(4): 409-414.
- Knudsen, J. T., L. Tollsten and L. G. Bergström. 1993. Floral Scents - a Checklist of Volatile Compounds Isolated by Head-Space Techniques. *Phytochemistry* 33(2): 253-280.
- Lange, B. M., T. Rujan, W. Martin and R. Croteau. 2000. Isoprenoid Biosynthesis: The Evolution of Two Ancient and Distinct Pathways across Genomes. *PNAS.* 297(24): 13172-13177.
- Lee, C. S., H. J. Cho and H. Yi. 2004. Stand Dynamics of Introduced Black Locust (*Robinia Pseudoacacia* L.) Plantation under Different Disturbance Regimes in Korea. *For. Ecol. Manage.* 189(1): 281-293.
- Magalhães, D. M., M. Borges, R. A. Laumann, C. M. Woodcock, J. A. Pickett, M. A. Birkett and M. C. Blassoli-Moraes. 2016. Influence of Two Acyclic Homoterpenes (Tetranorterpenes) on the Foraging Behavior of *Anthonomus Grandis* Boh. *J. Chem. Ecol.* 42(4): 305-313.
- Maisonnasse, A., J. C. Lenoir, D. Beslay, D. Crauser and Y. L. Conte. 2010. E-β-Ocimene, a Volatile Brood Pheromone Involved in Social Regulation in the Honey Bee Colony (*Apis Mellifera*). *PLoS One* 5(10): e13531.
- McAfee, A., T. F. Collins, L. L. Madilao and L. J. Foster. 2017. Odorant Cues Linked to Social Immunity Induce Lateralized Antenna Stimulation in Honey Bees (*Apis Mellifera* L.). *Sci. Rep.* 7: 46171.
- Radovic, B. S., M. Careri, A. Mangia, M. Musci, M. Gerboles and E. Anklam. 2001. Contribution of Dynamic Head-space GC-MS Analysis of Aroma Compounds to Authenticity Testing of Honey. *Food Chem.* 72(4): 511-520.
- Raguso, R. A. and E. Pichersky. 1999. New Perspectives in Pollination Biology: Floral Fragrances. A Day in the Life of a Linalool Molecule: Chemical Communication in a Plant-Pollinator System. Part 1: Linalool Biosynthesis in Flowering Plants. *Plant Species Biol.* 14(2): 95-120.
- Soria, A. C., J. Sanz and I. Martínez-Castro. 2009. SPME Followed by GC-MS: A Powerful Technique for Qualitative Analysis of Honey Volatiles. *Eur. Food Res. Technol.* 228(4): 579-590.
- Stashenko, E. E. and J. R. Martínez. 2008. Sampling Flower Scent for Chromatographic Analysis. *J. Sep. Sci.* 31(11): 2022-2031.
- Tan, S. T., P. T. Holland, A. L. Wilkins and P. C. Molan. 1988. Extractives from New Zealand Honeys. 1. White Clover, Manuka and Kanuka Unifloral Honeys. *J. Agric. Food Chem.* 36(3): 453-460.
- Wilkins, A. L., Y. Lu and S. T. Tan. 1993. Extractives from New Zealand Honeys. 4. Linalool Derivatives and Other Components from Nodding Thistle (*Carduus Nutans*) Honey. *J. Agric. Food Chem.* 41(6): 873-878.
- Xie, J., B. Sun and M. Yu. 2006. Constituents of Top Fragrance from Fresh Flowers of *Robinia Pseudoacacia* L. Occurring in China. *Flavour Fragr. J.* 21(5): 798-800.