Journal of Apiculture

2022.37(1) : 7-13
DOI: 10.17519/apiculture.2022.04.37.1.7

Original research article

개화기간 온도 차이에 따른 유채꽃 (*Brassica napus* L.)의 향기 성분 조성

이수진[1,2], 김광수[3], 권형욱[1,2], 이명렬[1,2,*]

[1]인천대학교 생명과학부 생명과학전공, [2]인천대학교 매개곤충자원융복합연구센터
[3]국립식량과학원 바이오에너지작물연구소

The Composition of Floral Volatile Compounds of Rapeseed (*Brassica napus* L.) under Different Temperature in Flowering Period

Sujin Lee[1,2], Kwang-Soo Kim[3], Hyung Wook Kwon[1,2] and Myeong-Lyeol Lee[1,2,*]

[1]Division of Life Sciences, Major of Biological Sciences, Incheon National University, Incheon 22012, Republic of Korea
[2]Convergence Research Center for Insect Vectors, Incheon National University, Incheon 22012, Republic of Korea
[3]Bioenergy Crop Research Institute, NICS, RDA, Muan 58545, Republic of Korea

Abstract This study aims to investigate the impact of temperature on the composition of floral volatile compounds (FVCs) of rapeseed (*Brassica napus* L.), as diverse environmental changes due to the climate change continue to influence shaping plant-pollinator interactions. We analyzed rapeseed flowers under three different temperature conditions (Average temperature: AT, and AT±8°C) during flowering period using HS-SPME/GC-MS. Total 31 FVCs were identified, and included myrcene, methyl benzoate, indole, methyl 2-methyl butyrate, α-farnesene, methyl phenyl acetate, linalool, and (E)-β-ocimene as the main compounds. In principal component analysis, flower scent compounds could be discriminated under different temperature conditions, suggesting that these would effect on the preference of pollinators. The compounds such as (Z)-3-hexenol acetate, methyl 2-ethyl hexanoate, and camphor were mainly responsible for the discrimination of AT −8°C from the others. On the other hand, 4-ethyl benzaldehyde, phenylacetaldehyde, and *p*-anisaldehyde were more closely related to AT +8°C than the others. Taken together, our results will provide a more predictive understanding on the effects of temperature change on FVCs, implying that altered environmental conditions have the potential to strongly influence plant-pollinator interactions.

Keywords *Brassica napus*, Flowering period temperature, Floral volatile compounds (FVCs), Pollination

서 론

최근 한반도를 비롯해 전 세계를 위협하는 기후변화는 화분매개곤충의 감소 및 식물과 화분매개곤충 간 상호관계 등에 영향을 주는 것으로 여겨지고 있다(Biesmeijer *et al*., 2006). 지구온난화로 인해 지구 평균기온은 지난 133년간(1880~2012년) 0.85°C 상승하였으며(IPCC, 2013), 온도 변화는 식물의 생존과 지리적 분포, 그리고 작물의 생산량에 직결되는 중요한 요인이다(Oh *et al*., 2014). 기온이 상승하거나 하강함으로 인하여 농작물의 꽃가루, 화밀, 개화량의 변화(Saavedra *et al*., 2003; Koti *et al*., 2005)는 물론 화분매개 활동과 관련한 곤충의 생태·생리적인 변동을 야기할 수 있다(Radmacher and Strohm, 2011). 이와 관련하여 최근 이상 고온 및 저온 현상에 따른 개화시기와 화분매개곤충의 활동에 미치는 영향에 대한 많은 논의가 이루어지고 있다(Jang *et al*., 2002; Seo and Park,

http://journal.bee.or.kr/

Received 31 March 2022; Revised 6 April 2022; Accepted 15 April 2022
*Corresponding author. E-mail: mllee6@inu.ac.kr

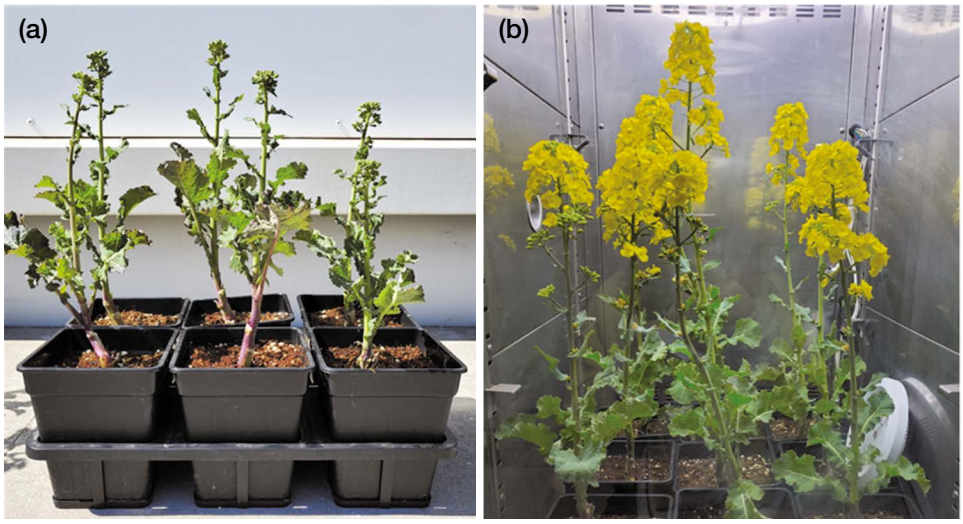

Fig. 1. (a) The cultivation of rapeseed (*Brassica napus*) in outdoor. (b) Flowers in growth chamber controlled temperature.

2003; Hegland *et al*., 2009). 또한 벌꿀 생산은 기후 요인에 직접 큰 영향을 받음과 동시에 이상 기온은 벌꿀의 품질 저하와 향미의 변화에도 영향을 미칠 수 있는 것으로 보고된 바 있다(Visser *et al*., 1988; Manyi-Loh *et al*., 2011; Kim *et al*., 2014a).

국내 양봉업계에서 꿀을 생산하는 주요 밀원 식물로 유채, 아까시나무, 밤, 싸리, 메밀 등으로 알려져 있다(Hong and Han, 1991). 봄에 가장 일찍 채밀하는 유채(Rapeseed, *Brassica napus* L.)는 꽃이 많이 피고 꿀샘이 잘 발달하여 좋은 밀원식물임과 동시에 기름 생산, 가축사료 및 바이오 디젤 원료 등 용도가 매우 다양한 관상자원으로서 재배면적이 점진적으로 확대되고 있다(Kim *et al*., 2014b). 국내에서 생산되는 벌꿀 중 유채 꿀은 항균 및 항산화 활성과 관련된 물질인 플라보노이드 함량이 비교적 높은 것으로 나타났다(Kim *et al*., 2010). 유채의 생육 및 개화 특성은 품종, 파종 시기 및 재배 지역에 따라 다른 것으로 보고되었다(Kim *et al*., 2015).

꽃의 휘발성 향기 성분(Floral Volatile Components, FVCs)은 화분매개곤충을 유인하는데 결정적인 역할을 하는 것으로 알려져 있다(Stashenko and Martínez, 2008). 헤드스페이스 방법(Headspace sampling)을 이용하여 유채꽃의 향기 성분을 분석한 결과, myrcene, limonene, Sabinene, α-famesene, α-pinene 및 linalool이 검출되었으며, 꽃과 잎 등의 조직에 따라 차이가 있음이 보고된 바 있다(Jakobsen *et al*., 1994). 또한 일반적으로 개화기간의 기상조건 중 온도는 꽃의 휘발성 물질의 분비에 영향을 주어서 꽃향기 성분의 방출 양에 차이가 나타나는 것으로 밝혀져 있다(Jakobsen and Olsen, 1994).

꽃가루 수분을 위한 화분매개곤충의 유인 작용뿐 아니라 꽃의 휘발성 성분이 벌꿀 품질에 미치는 영향을 고려하면, 개화 온도에 따른 유채꽃의 향기 성분의 변화를 추적하는 연구가 중요할 것이다. 이른 봄철의 주요 밀원식물인 유채의 개화기간의 온도 차이로 인한 꽃의 휘발성 성분의 구성과 조성의 차이를 비교 분석하고자 이 연구를 수행하였다.

재료 및 방법

1. 시험 식물 및 재배 조건

본 실험에 사용한 유채(*B. napus* L.) '중모 7001' 품종을 사용하였으며, 2020년 3월 농촌진흥청 국립식량과학원 바이오에너지작물소에서 모종을 채취하였다. 유채 모종은 원예상토와 펄라이트를 4 : 1 (v : v)로 혼합된 배양토가 들어있는 플라스틱 화분(15×15×20 cm)에 정식하여 국립인천대학교 야외 포장에서 재배하였으며(Fig. 1a), 개화가 시작되는 시점에 항온 인큐베이터(HB-302, Growth Chamber, 한백과학) 내로 옮겨 재배하였다(Fig. 1b). 인큐베이터 내 환경 조건은 Table 1과 같다. 온도는 인천지역 4월의 일평균 기상청 기온 자료를 기준으로 AT (Average temperature: 기준 온도), AT +8°C, AT −8°C의 세 가지 조건으로 설정하여, 개화기간 3일간 온도를 달리하여 유

Table 1. The growth chamber of controlled environmental conditions.

Condition	AT −8°C	AT	AT +8 °C
Temperature (day/night °C)	7/3 (±0.5)	15/11 (±0.5)	23/19 (±0.5)
Relative humidity (%)		35 (±5)	
Light		40 W, fluorescent lighting (cool white)	
Photoperiod (light : darkness)		16 : 8 h	
Photosynthetically active photon flux density (PPFD)		30 μmol/s/m^2 (2200 lux)	

AT : Average temperature

지하였다(Tian *et al*., 2017). 개화한 꽃 시료는 오전에 수집하여 휘발성 화합물 분석에 사용되었다.

2. SPME (Solid phase microextraction)법에 의한 유채꽃 휘발성 화합물 포집

유채꽃의 휘발성 화합물은 Solid phase microextraction (SPME)-gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) 법으로 추출 및 동정되었다. 향기 성분의 흡착은 SPME Holder (Supelco^{TM} Solid Phase Microextraction Fiber Holder, Supelco, Inc., Bellofonte, PA, USA)에 65 μm PDMS/DVB fiber (Supelco Inc., Bellefonte, PA, USA)를 고정하여 사용하였다. 시료 7 송이를 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 headspace상에 삽입하여 30분 동안 노출시켜 휘발 성분을 흡착시켰다. 흡착된 fiber는 즉시 GC-MS injector에 넣고 분석을 시작하였다. 본 실험은 4회 반복 실험을 수행하였다.

3. GC/MS 기기분석

GC/MS 분석을 위한 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 μm)을 사용하였다. 컬럼의 온도는 40°C에서 5분간 유지시킨 후 250°C까지 6°C/min의 속도로 승온하였다. 유속은 1 mL/min으로 조정하였다. GC-MS 분석 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.

4. GC/MS data 전처리 및 주성분 분석

휘발성 성분의 정성분석을 위해, GC/MS 분석을 통해 얻은 peak는 Agilent Chemstation (Agilent Technologies, Inc.)을 운영하여 분석하였고, mass spectral library data를 기반으로 일치율이 높고 MS fragment 양상이 유사한 물질로 동정하였다. 또한 C_8-C_{20} alkanes (Sigma Aldrich, St Louis, MO, USA)을 사용하여 각 휘발성 성분의 retention index (RI) value를 구한 후 문헌에서 보고된 RI 값과 비교하였다. 휘발성 성분의 정량은 외부표준물질에 대한 상대적인 peak area 값을 구하여 비교하였으며, 외부표준물질로는 Indole (Sigma-Aldrich, St Louis, MO, USA)을 사용하였다(5, 25, 50, 100 μg/mL, w/v). 기준온도와 이상온도에서 휘발성 성분의 경향성을 파악하기 위해, MetaboAnalyst 5.0 (http://www.metaboanalyst.ca)을 사용하여 주성분 분석(PCA, Principal component analysis)을 진행하였다. 정량분석 결과는 평균값과 편차를 기반으로 중요도의 정도를 고려하여 변량을 보정하는 data scaling를 진행한 후 주성분 분석을 수행하였다.

결과 및 고찰

개화 온도를 달리한 유채꽃에서 SPME 방법으로 휘발성분을 포집하여 GC-MS 분석을 통해 총 31종의 휘발성 성분이 확인되었다. 일반적으로 꽃향기 성분은 크게 세 가지 그룹, 즉 terpenoid, benzenoid, fatty acid derivatives

Table 2. The volatile compounds from flowers of rapeseed (*Brassica napus*) analyzed by SPME-GC-MS (Mean ± SEM, ng / 1 flower, n = 4)

No.	Compounds	CAS No.	Temperature (day/night)		
			7 / 3°C (AT −8°C)	15 / 11°C (AT)	23 / 19°C (AT +8°C)
Fatty acid derivatives					
1	(E)-2-methyl-2-butenal	497-03-0	3.19 ± 1.17	7.48 ± 4.28	–
2	3-methyl-2-pentanone	565-61-7	–	2.54 ± 0.70	–
3	Methyl 2-methyl butyrate	868-57-5	22.23 ± 6.55	26.16 ± 11.74	4.07 ± 2.23
4	2-methyl butyric acid	116-53-0	2.90 ± 1.87	8.39 ± 5.51	4.54 ± 1.97
5	(Z)-3-Hexen-1-ol	928-96-1	14.34 ± 5.32	–	15.79 ± 12.81
6	2-ethyl hexanal	123-05-7	5.29 ± 1.39	–	4.25 ± 0.41
7	Methyl heptenone	110-93-0	2.78 ± 1.03	4.87 ± 1.96	–
8	(Z)-3-hexenol acetate	3681-71-8	23.78 ± 9.36	–	–
9	Methyl 2-ethyl hexanoate	816-19-3	61.53 ± 22.16	–	–
10	Nonanal	124-19-6	3.78 ± 0.80	3.07 ± 0.32	5.00 ± 1.54
11	Decanal	112-31-2	3.67 ± 0.96	3.20 ± 0.55	5.19 ± 1.54
12	Tetradecane	629-59-4	3.73 ± 1.48	7.43 ± 5.50	–
Benzenoids					
13	Methoxybenzene	100-66-3	47.57 ± 15.59	–	15.65 ± 5.15
14	Benzaldehyde	100-52-7	–	10.60 ± 0.26	13.65 ± 1.52
15	Benzyl alcohol	100-51-6	2.42 ± 0.46	5.28 ± 1.68	5.23 ± 2.77
16	Phenylacetaldehyde	122-78-1	–	–	37.20 ± 17.18
17	Acetophenone	98-86-2	2.19 ± 0.68	–	2.34 ± 0.28
18	Methyl benzoate	93-58-3	9.17 ± 0.91	66.71 ± 35.87	6.13 ± 1.68
19	4-ethyl benzaldehyde	4748-78-1	1.22 ± 0.31	–	2.13 ± 0.44
20	Methyl phenyl acetate	101-41-7	3.70 ± 0.92	12.61 ± 9.33	5.26 ± 3.36
21	Phenoxyethanol	122-99-6	10.02 ± 4.37	–	7.64 ± 2.11
22	*p*-anisaldehyde	123-11-5	–	–	3.95 ± 1.64
23	Indole	120-72-9	77.51 ± 33.54	31.16 ± 10.32	29.29 ± 14.10
24	Benzyl benzoate	120-51-4	–	3.30 ± 0.91	–
Terpenoid					
25	α-Pinene	80-56-8	1.60 ± 0.49	–	–
26	β-Myrcene	123-35-3	61.54 ± 14.73	64.97 ± 14.13	27.49 ± 13.05
27	Limonene	138-86-3	–	7.34 ± 2.25	–
28	(E)-beta-ocimene	3779-61-1	6.16 ± 2.47	11.96 ± 2.17	5.16 ± 2.11
29	Linalool	78-70-6	26.15 ± 6.49	12.01 ± 2.87	9.10 ± 2.21
30	Camphor	76-22-2	2.02 ± 0.10	–	–
31	α-Farnesene	502-61-4	–	15.68 ± 2.13	12.55 ± 6.76

로 분류되며(Pichersky and Gershenzon, 2002), 본 연구결과에서 유채꽃의 향기 성분은 benzenoids 12종, terpenoid 7종(Monoterpenes 6종, Sesquiterpenes 1종), fatty acid derivatives 12종으로 구성되는 것으로 나타났다(Table 2).

기준 온도(AT)에서 향기 성분의 함량(ng / 1 flower)은 myrcene, methyl benzoate, indole, methyl 2-methyl butyrate, α-farnesene, methyl phenyl acetate, linalool, (E)-β-ocimene 순으로 높게 검출되었으며 이들이 주요 성분으로 판단되었다(Table 2). 기준 온도에서만 검출된 성분들은 limonene, benzyl benzoate, 3-methyl-2-pentanone로 확인되었다.

Byers *et al.*(2014)이 발표한 연구결과에 따르면 세 가지 monoterpene 성분, β-myrcene, (E)-β-ocimene 및 limonene은 *Erythranthe lewisii* 꽃에서 뒤영벌의 선호도를 조절하

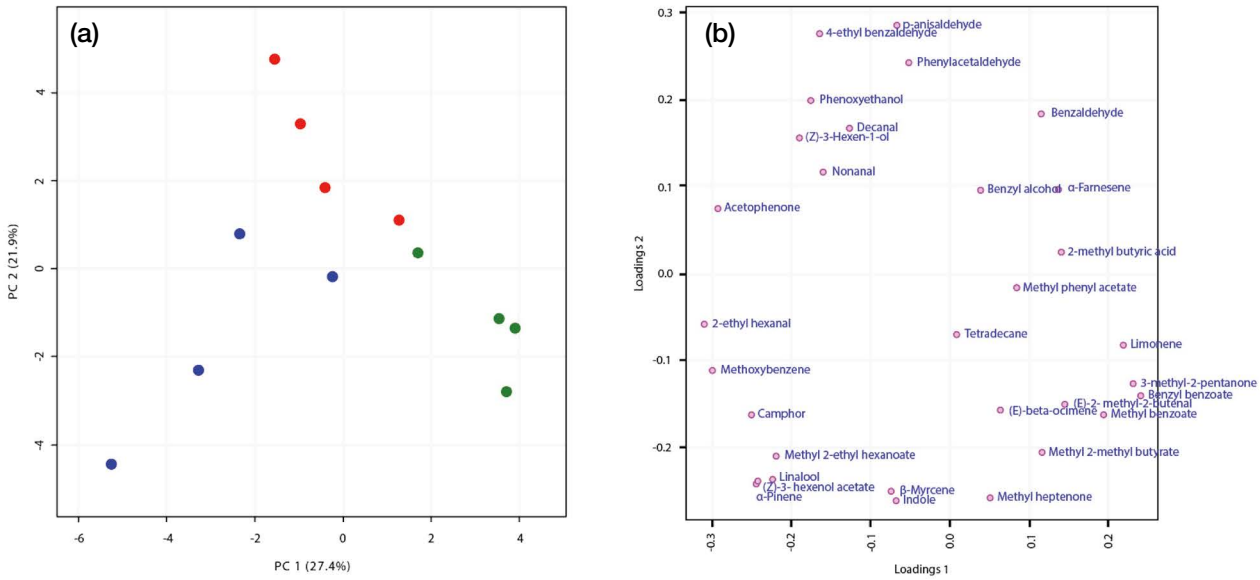

Fig. 2. Principal component analysis (PCA) of 31 volatile compounds from flowers of rapeseed (*Brassica napus*). (a) Score plot (green: AT, blue: AT −8°C, red: AT +8°C). (b) Loading plot of each volatile compound.

고 유인에 효과적인 성분으로 판단하였다. 우리나라 대표 밀원 수종인 아까시나무 꽃의 휘발성 향기 성분에 대한 연구에서 β-ocimen이 주성분으로 보고되어 있으며(Jung *et al*., 2017; Lee *et al*., 2019), 이는 화분매개곤충을 유인하는 많은 종의 꽃에 포함된 주요 휘발 성분 중 하나로 밝혀져 있다(Farré-Armengol *et al*., 2013; Farré-Armengol *et al*., 2017).

유채꽃의 개화 온도와 꽃의 향기 성분들에 근거한 PCA 분석 결과는 Fig. 2와 같다. 제1주성분(PC1)은 27.4%, 제2주성분(PC2)은 21.9%의 요인 구성력을 나타내어, 총 변동의 49.3%를 설명하였다. AT는 PC1에 의해 AT −8°C 및 AT +8°C와 구분되고(27.4%), AT −8°C와 AT +8°C는 PC2에 의해 구분되었다(21.9%). PCA loading plot (Fig. 2b)에서 AT가 이상 온도(AT ±8°C)에서와 구별되는 것은 주로 limonene, benzyl benzoate, methyl 2-methyl butyrate 성분들에서 기인하는 것으로 나타났다. 또한, (Z)-3-hexenol acetate, methyl 2-ethyl hexanoate, camphor 성분들은 AT −8°C의 특징으로 나타났고, 4-ethyl benzaldehyde, phenylacetaldehyde, *p*-anisaldehyde 성분들은 AT +8°C의 특징으로 나타남에 따라, 이들 성분들이 AT −8°C와 AT +8°C를 대표하는 성분으로 파악되었다.

유사한 연구 결과에 따르면, 장미꽃에서 benzenoids 계열 성분들은 온도 상승과 함께 증가하였는데, 이는 phenylalanine 아미노산 전달효소(RhAAAT2) 작용에 의해 촉매된 phenylpyruvic acid (PPA)에 기인하는 것으로 밝혀졌다(Zeng *et al*., 2019). Benzenoids 계열 성분들인 phenylacetaldehyde, *p*-anisaldehyde, phenoxyethanol이 AT +8°C에서만 특이적으로 검출된 것으로 보아, 이는 개화기간 중에 상승한 온도에 의한 영향으로 추측된다.

AT −8°C에서 (Z)-3-hexenol acetate, methyl 2-ethyl hexanoate, α-pinene, camphor 성분들이 특이적으로 검출되었다. 반면, AT에서 주성분이며 꿀벌의 유인과 연관된 성분인 α-farnesene, benzaldehyde (Blight *et al*., 1997; Fernandes *et al*., 2019)는 검출되지 않았다.

AT −8°C에서 특이적으로 검출된 Green leaf volatiles (GLVs) 중 하나인(Z)-3-hexenol acetate는 곤충 등의 외부의 공격으로 상처를 입으면 방출하는 휘발성물질로 알려져 있다(Yang *et al*., 2020). 한편 Pine-like 향과 관련 있는 α-pinene는 아까시 꽃의 개화 초기의 주성분으로 개화가 진행될수록 감소하는 성분으로 보고되어 있다(Jung *et al*., 2017). 또한 멜론 품종에 따라 꿀벌(*Apis mellifera*)의 방문에 영향을 미치는 휘발성 물질에 대한 연구에서 α-pinene을 많이 방출하는 품종의 과실은 수확량이 낮고, 적게 방출하는 품종에서 꿀벌의 방문 빈도가 높은 것으로 보아서 이 α-pinene 성분은 꿀벌의 기피 물질(bee-repellent compounds)임을 추정한 바 있다(Fernandes *et al*., 2019). 뿐만 아니라 α-pinene과 camphor는 다른 곤충에 대한 살충 효과 및 기피 역할을 하는 성분으로도 알려져 있다

(Ansari and Razdan, 1995; Mercier *et al*., 2009).

이러한 연구결과는 저온에서 개화한 유채꽃은 화분매개곤충에 대한 유인력의 감소로 나타날 것으로 추정되며, 향후 이상저온 발생 시 꽃의 휘발성 화합물의 생합성 과정과 꿀벌 등 곤충에 대한 화분매개 활동의 변동 등 심층적인 연구가 필요할 것으로 보인다.

이상의 결과를 종합하여 볼 때, 유채꽃의 향기 성분의 조성과 함량은 개화기간 온도 조건에 의해 크게 영향을 받는다는 사실을 확인할 수 있었다. 따라서 향후 기후변화에 대비하여 이상기온 발생 시 향기 성분과 꿀벌의 화분매개 활동에 대한 상호작용에 관한 심도있는 연구가 필요할 것으로 보인다.

적 요

본 연구는 대표적인 밀원식물인 유채꽃의 개화기간 온도 조건에 따른 꽃의 휘발 성분을 분석하여, 화분매개 곤충을 유인하는 성분의 변동 추이를 밝히고자 수행하였다. 개화기간 동안 이상 온도에 노출된 유채꽃에서 HS-SPME법을 이용해 휘발 성분을 포집한 후 GC-MS를 이용하여 검출된 성분의 정성 및 정량분석을 하였다. 총 31종의 휘발성 성분이 검출되었으며, 이에는 12종의 benzenoids 계열, 7종의 terpenoid 계열, 12종의 fatty acid derivatives 계열이 포함되어 있다. Myrcene, methyl benzoate, indole, methyl 2-methyl butyrate, α-farnesene, methyl phenyl acetate, linalool, (E)-β-ocimene 등은 유채꽃 특유의 향을 구성하는 주요 향기 성분으로 생각된다. 또한 주성분(PCA) 분석을 이용하여 서로 다른 온도에서의 주요 성분들을 밝힐 수 있었는데, (Z)-3-hexenol acetate, methyl 2-ethyl hexanoate, camphor 등은 AT −8°C를 구분 짓는데 기여하는 성분이었고 한편, 4-ethyl benzaldehyde, phenylacetaldehyde, *p*-anisaldehyde는 AT +8°C와 관련 높은 성분인 것으로 나타났다. 이러한 차이가 꿀벌 등 화분매개 곤충의 방화 활동에 영향을 미칠 것으로 추정되어, 추후에 이와 관련된 연구가 필요할 것이다.

감사의 글

본 논문은 농촌진흥청 공동연구사업(과제번호: PJ014762)의 지원에 의해 수행된 것으로 이에 감사드립니다. 또한 일부 2021년 정부(교육부)의 재원으로 중점연구소지원사업의 지원을 받아 수행된 연구입니다(2020R1A6A1A0304195411).

인 용 문 헌

Ansari, M. A. and R. K. Razdan. 1995. Relative efficacy of various oils in repelling mosquitoes. Indian J. Malariol. 32(3): 104-111.

Biesmeijer, J. C., S. P. Roberts, M. Reemer, R. Ohlemüller, M. Edwards, T. Peeters, A. Schaffers, S. G. Potts, R. Kleukers and C. Thomas. 2006. Parallel declines in pollinators and insect-pollinated plants in Britain and the Netherlands. Science 313(5785): 351-354.

Blight, M. M., M. Le Métayer, 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.

Byers, K. J. R. P., H. D. Bradshaw and J. A. Riffell. 2014. Three floral volatiles contribute to differential pollinator attraction in monkeyflowers. J. Exp. Biol. 217(4): 614-623.

Farré-Armengol, G., I. Filella, J. Llusia and J. Peñuelas. 2013. Floral volatile organic compounds: Between attraction and deterrence of visitors under global change. Perspect. Plant Ecol. Evol. Syst. 15(1): 56-67.

Farré-Armengol, G., I. Filella, J. Llusià and J. Peñuelas. 2017. β-Ocimene, a key floral and foliar volatile involved in multiple interactions between plants and other organisms. Molecules 22(7): 1148.

Fernandes, N., F. A. N. Silva, F. A. de Aragão, G. J. Zocolo and B. M. Freitas. 2019. Volatile organic compounds role in selective pollinator visits to commercial melon types. J. Agric. Sci. 11(3): 93-108.

Hegland, S. J., A. Nielsen, A. Lázaro, A. L. Bjerknes and Ø. Totland. 2009. How does climate warming affect plant-pollinator interactions? Ecol. Lett. 12(2): 184-195.

Hong, S. G. and S. O. Han. 1991. Studies on Honey Resources Development of *Evodia Daniellii* (I) - With Emphasis on Dates, Periods and Amounts of Flowering. Forest Bioenergy 11(2): 118-124.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2013. Climate change 2013: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Jakobsen, H. B. and C. E. Olsen. 1994. “Influence of climatic

factors on emission of flower volatiles *in situ*." Planta 192(3): 365-371.

Jakobsen, H. B., P. Friis, J. K. Nielsen and C. E. Olsen. 1994. Emission of volatiles from flowers and leaves of *Brassica napus in situ*. Phytochemistry 37(3): 695-699.

Jang, H., H. Seo and S. Park. 2002. Strategy for fruit cultivation research under the changing climate. Kor. J. Hort. Sci. Technol. 20(3): 270-275.

Jung, J. W., H. S. Lee, G. R. Noh, M. S. Kim, A. Lee, S. H. Kim and H. W. Kwon. 2017. Comparative Study on the Composition of Floral Volatile Components in the Flowering Stages of *Robinia pseudoacacia* L. J. Apic. 32(3): 139-146.

Kim, H., M. Lee, I. Hong, Y. Choi, N. Kim, M. Lee and S. Lee. 2010. Antioxidant and Antimicrobial Capacity of Several Monofloral Honey Correlation with Phenolic and Flavonoid Contents. J. Apic. 25(4): 275-282.

Kim, J., H. Song, J. Moon, M. Shin and S. Baek. 2014a. Quality Properties of Honey in Korean Commercial Markets. Korean J. Food Sci. Technol. 46(4): 432-437.

Kim, K., S. Ha, Y. Lee, Y. Jang and I. Choi. 2015. Study on Growth and Flowering Characteristics in the Spring Sowing for Selection of Rapeseed (*Brassica napus* L.) Varieties. Korean J. Plant Res. 28(1): 111-118.

Kim, K., Y. Jang, Y. Lee, C. Kim, K. Choi, D. Kang, S. Kim and I. Choi. 2014b. A Rapeseed Intermediate Parent 'Jungmo 7001' with Wide Adaptable and Large Flower. Korean J. Breed. Sci. 46(3):302-306.

Kjøhl, M., A. Nielsen and N. C. Stenseth. 2011. Potential effects of climate change on crop pollination, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).

Klein, A. M., B. Vassiere, J. H. Cane, L. Steffan-Dewenter, S. A. Cunningham, C. Kremen and T. Tscharntke. 2007. Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. Proc. Royal. Soc. London. B. 274: 303-313.

Koti, S., K. R. Reddy, V. Reddy, V. Kakani and D. Zhao. 2005. Interactive effects of carbon dioxide, temperature, and ultraviolet-B radiation on soybean (*Glycine max* L.) flower and pollen morphology, pollen production, germination, and tube lengths. J. Exp. Bot. 56(412): 725-736.

Lee, S., Y. Kim, G. R. Noh, H. S. Lee, M. S. Kim, S. H. Kim and H. W. Kwon. 2019. Comparative Study of Floral Volatile Components in the Different Species of *Robinia* spp. J. Apic. 34(3): 189-195.

Manyi-Loh, C. E., R. N. Ndip and A. M. Clarke. 2011. Volatile compounds in honey: a review on their involvement in aroma, botanical origin determination and potential biomedical activities. Int. J. Mol. Sci. 12(12): 9514-9532.

Mercier, B., J. Prost and M. Prost. 2009. The essential oil of turpentine and its major volatile fraction (alpha- and beta-pinenes): a review. Int. J. Occup. Med. Environ. Health. 22(4): 331-342.

Oh, S., K. H. Moon, I.-C. Son, E. Y. Song, Y. E. Moon and S. C. Koh. 2014. Growth, photosynthesis and chlorophyll fluorescence of Chinese cabbage in response to high temperature. Hortic. Sci. Technol. 32(3): 318-329.

Pichersky, E. and J. Gershenzon. 2002. The formation and function of plant volatiles: perfumes for pollinator attraction and defense. Curr. Opin. Plant Biol. 5(3): 237-243.

Radmacher, S. and E. Strohm. 2011. Effects of constant and fluctuating temperatures on the development of the solitary bee *Osmia bicornis* (Hymenoptera: Megachilidae). Apidologie 42(6): 711-720.

Saavedra, F., D. W. Inouye, M. V. Price and J. Harte. 2003. Changes in flowering and abundance of *Delphinium nuttallianum* (Ranunculaceae) in response to a subalpine climate warming experiment. Glob. Change Biol. 9(6): 885-894.

Seo, H. H. and H. S. Park. 2003. Fruit quality of 'Tsugaru' apples influenced by meteorological elements. Korean J. Agric. For. Meteor. 5: 218-225.

Stashenko, E. E. and J. R. Martínez. 2008. Sampling flower scent for chromatographic analysis. J. Sep. Sci. 31(11): 2022-2031.

Tian, T., L. Wu, M. Henke, B. Ali, W. Zhou and G. Buck-Sorlin. 2017. Modeling Allometric Relationships in Leaves of Young Rapeseed (*Brassica napus* L.) Grown at Different Temperature Treatments. Front. Plant Sci. 8(313).

Visser, F. R., J. M. Allen and G. J. Shaw. 1988. The Effect of Heat on the Volatile Flavour Fraction from a Unifloral Honey. J. Apic. Res. 27(3): 175-181.

Yang, F., Q. Zhang, Q. Yao, G. Chen, H. Tong, J. Zhang, C. Li, Q. Su and Y. Zhang. 2020. Direct and indirect plant defenses induced by (Z)-3-hexenol in tomato against whitefly attack. J. Pest Sci. 93(4): 1243-1254.

Zeng, L., X. Wang, F. Dong, N. Watanabe and Z. Yang. 2019. Increasing postharvest high-temperatures lead to increased volatile phenylpropanoids/benzenoids accumulation in cut rose (*Rosa hybrida*) flowers. Postharvest Biol. Technol. 148: 68-75.