



Research Article

Comparison of changes in volatile aroma compounds in *Artemisia fukudo* Makino under different growth environments and harvest times

생육 환경 및 수확 시기에 따른 큰비쑥의 휘발성 향기성분 비교

Gyu Yeon Oh*, Tae Man Ha, Hee Yeon Lee, So Hyeon Lee, Yoo Min Park, Hwan Sik Na, Mi Yeong Shin, Yang Joon An

오규연* · 하태만 · 이희연 · 이소현 · 박유민 · 나환식 · 신미영 · 안양준

Food Analysis Division, Jeollanam-do Institute of Health and Environment, Muan 58568, Korea

전라남도보건환경연구원 식품분석과

Abstract *Artemisia fukudo* Makino belongs to the Asteraceae and is a green-white halophyte with a unique scent. We analyzed volatile aroma compounds in *A. fukudo* Makino under different growth environments and harvest times to explore the value of *A. fukudo* Makino as a natural fragrance and to secure functional data in this study. Volatile aroma compounds in *A. fukudo* Makino were analyzed by GC-MS using the headspace method. A total of 34 volatile aroma compounds containing 25 types of monoterpenes, 3 types of sesquiterpenes, 4 types of esters, 1 type of aldehyde, and 1 type of alcohol, were identified. There was no significant difference in volatile aroma compounds by different growth environments. Volatile aroma compounds in native and cultivated *A. fukudo* Makino increased in the spring, the early stage of growth, decreased in the hot summer, and tended to increase significantly in the fall, the flowering period. In addition, the major volatile aroma compounds were eucalyptol, sabinene, camphene, *o*-cymene, γ -terpinene, and α -terpinene, and accounted for about 90%. As a result, it is recommended to harvest in September-October, the flowering period, for easy environmental management and harvesting and a high yield of volatile aroma compounds.

Keywords *Artemisia fukudo* Makino, volatile aroma compounds, growth environment, harvest time, eucalyptol (1,8-cineole)



OPEN ACCESS

Citation: Oh GY, Ha TM, Lee HY, Lee SH, Park YM, Na HS, Shin MY, An YJ. Comparison of changes in volatile aroma compounds in *Artemisia fukudo* Makino under different growth environments and harvest times. Food Sci. Preserv., 32(3), 565-577 (2025)

Received: February 11, 2025

Revised: March 18, 2025

Accepted: March 18, 2025

*Corresponding author

Gyu Yeon Oh
Tel: ogy6475@korea.kr
E-mail: +82-61-240-5253

Copyright © 2025 The Korean Society of Food Preservation. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서론

쑥속(*Artemisia*)은 국화과(Asteraceae)에 속하는 여러해살이 풀로 한국 및 중국, 일본 등 여러 지역에 분포되어 있는 식물이다(Kim과 Jang, 1994). 쑥의 물리화학적, 이화학적 특성 및 향산화능과 같은 생리활성, 휘발성 물질에 대한 연구가 다양하게 진행되어 왔다(Choi와 Ha, 2014; Hwang 등, 2014; Jang 등, 2005; Park 등, 2009; Park 등, 2011; Song, 2013).

식물의 향기성분은 심리적 안정과 중추신경계에 다양한 약리학적 효과가 있다고 보고되었는데(Almeida 등, 2001; Almeida 등, 2003; Paula 등, 2006; Silva 등, 2007), 향기성분을 분리하는 방법에는 연속 수증기 증류(simultaneous steam distillation extraction, SDE)법, 용매 추출(solvent extraction, SE)법, headspace법, 고체상 미세추출(solid-phase microextraction, SPME)법 등이 있다(Berger, 2007). Hong 등(2018)은 개똥쑥(*Artemisia annua* L.)을 대상으로 연속 수증기 증류(SDE)법과 고체상 미세추출(SPME)법을 이용하여 caryophyllene oxide, β -caryophyllene, camphor, β -selinene, γ -

muurolene, eucalyptol, (*E*)-pinocarveol 및 pinocarvone 등을 포함한 휘발성 향기 성분을 확인, 비교하였으며, Choi(2015)는 수확 연도에 따라 쑥의 정유성분을 hydrodistillation extraction (HDE) 방법으로 추출하여 camphor, β -caryophyllene, dehydrocarveol, borneol, α -bisabolene epoxide, thujone 등이 존재함과 수확 연도별로 성분의 차이가 있다는 것을 알렸다. 또한 생쑥과 덩음쑥차를 대상으로 가공처리 방법에 따른 향기성분에 대한 비교 연구도 진행되었다(Kim 등, 1994).

큰비쑥(*Artemisia fukudo* Makino)은 염습지, 해안가 근처 등에서 자라는 염생식물(halophyte)로 녹색색을 띠고 고유의 향기가 있는 것이 특징이다(Lee, 2018). Kang 등(2024)에 의해 큰비쑥의 생육 환경 및 시기별 총 폴리페놀 함량, DPPH 라디칼 소거능, 무기질 함량과 같은 이화학적 특성에 대한 연구는 진행된 바 있지만 큰비쑥의 휘발성 향기 성분에 대한 연구는 미흡한 실정이다. 대부분의 농작물은 재배의 마지막 지점이나 최대 수확 단계에서 일 년에 한 번만 수확하지만, 허브와 같은 작물을 수확할 때는 유리한 기후 조건에서 여러 번 수확도 가능하기 때문에 최적의 수확 시기를 결정할 때 식물의 2차 대사산물에 미치는 계절적 영향에 대한 지식이 필수적이다(Figueiredo 등, 2008). 따라서 고유의 향기가 있는 큰비쑥의 휘발성 향기성분을 동정하고, 높은 수율을 위한 최적의 생육 환경과 수확 시기를 확인하여 생리기능적인 자료를 확보하고 천연향료로써 상업적 가치를 확인하고자 본 연구를 진행하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 실험재료

생육 환경(자생 및 재배) 및 수확 시기에 따라 큰비쑥(*Artemisia fukudo* Makino)을 채취하여 실험에 사용하였다. 자생 큰비쑥은 신안군 증도면 증도리의 태평염전 습지대 근처에서 2024년 5월부터 10월까지 채취하였으며, 재배 큰비쑥은 함평군 함평읍의 비닐하우스에서 재배하여 6월부터 10월까지 채취하였다. 큰비쑥을 수세하여 흙, 곤충과 같은 이물을 제거한

후 원물 그대로 즉시 밀봉하여 -70°C의 냉동고(DuoFreez U300, DAIHAN, Wonju, Korea)에 보관하면서 실험에 사용하였다.

2.2. 휘발성 향기성분 분석

향기성분 분석은 Kim 등(2022)의 방법을 참고하여 headspace 법을 사용하였다. 분석 직전에 막자사발을 이용하여 큰비쑥을 균질화시킨 뒤 1 g을 정확하게 취해 20 mL의 headspace vial (Thermo Fisher Scientific Inc., Langerwehe, Germany)에 넣고 캡으로 밀봉하였다. 그 후 오토샘플러(TriPlus RSH auto sampler, Thermo Fisher Scientific Inc., Waltham, MA, USA)의 교반기에서 70°C로 30분간 가열하여 headspace vial의 공극 부분에 휘발성 향기성분을 포집하였다. 1 mL headspace용 syringe(Thermo Fisher Scientific Inc., Rockwood, TN, USA)를 이용하여 vial의 상단 기체(1 mL)를 수집한 후 GC의 injector에 주입하였다. GC-MS 분석은 HP-5MS(60 m $\times$ 0.25 mm, 0.25 μ m, Agilent Technologies, Inc., Santa Clara, CA, USA)를 연결시킨 GC-MS(TSQ9000, Thermo Fisher Scientific Inc., Waltham, MA, USA)를 사용하였으며, 기기분석 조건은 Table 1과 같다.

2.3. 휘발성 향기성분 동정 및 정량

Retention index(RI) 확인을 위해 n-alkane(Qualitative Retention time index std, RESTEK, Bellefonte, PA, USA)을 분석에 이용하였으며, RI는 다음의 식에 준하여 계산하였다(Vandendool and Kratz, 1963). 계산식에서 n은 계산하고자 하는 peak보다 전에 나오는 n-alkane의 탄소수, m은 해당 peak보다 뒤에 나오는 n-alkane의 탄소수, tri는 해당 peak의 retention time(RT), trm은 해당 peak보다 앞에 나오는 n-alkane의 RT, trn은 해당 peak보다 뒤에 나오는 n-alkane의 RT이다. 분석을 통해 분리된 큰비쑥의 향기성분 중 반복실험에서 모두 검출된 성분들을 대상으로 NIST MS search 2.2 및 문헌상의 RI와

Table 1. GC-MS conditions for identification of volatile aroma compounds

Instrument parameters	Settings
Inlet	250°C, splitless mode
Carrier gas	Helium (1.5 mL/min)
Oven temperature	40°C for 5 min, then 2°C/min to 150°C (hold time 5 min) then increased to 250°C at 10°C/min (hold time 5 min)
Injection volume	1 mL
Ionization mode	Electron ionization (AEI), 70 eV
Ion source temperature	230°C
Scan mode	Full scan (50-500 m/z)

GC-MS 분석으로 확인된 RI를 비교하여 휘발성 향기성분을 동정하였다. 향기성분의 상대적 정량은 peak area를 기준으로 계산하였으며, 총 peak area를 구하여 각 향기성분들이 차지하는 peak area%를 산출하였다.

$$RI = 100(n) + 100(m - n) \frac{tri - trn}{trm - trn}$$

2.4. 통계분석

모든 실험 결과는 최소 5회 이상 반복 측정하여 평균값을 나타내었으며 IBM SPSS statistics 20.0 프로그램(IBM Corp., Armonk, NY, USA)을 이용하여 통계처리하였다. 수확 시기에 따라 휘발성 향기성분의 총 peak area가 유의한 차이를 보이는지 검증하고자 일원배치 분산분석(One-way ANOVA)을 실시하였으며 유의한 차이를 보일 때는 Duncan's multiple range test로 시료 간의 유의성을 검증하여 결과값이 $p < 0.05$ 일 때 통계적으로 유의한 것으로 간주하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 큰비쭉 휘발성 향기성분 동정

자생 큰비쭉과 재배 큰비쭉의 수확 시기별 GC-MS chromatogram은 Fig. 1에 도식하였으며, 25종의 monoterpene류, 3종의 sesquiterpene류, 4종의 ester류, 1종의 aldehyde류,

1종의 alcohol를 포함한 총 34종의 휘발성 향기성분이 동정되었다(Fig. 2). 동정된 화합물의 약 80%를 차지하는 terpenoid는 탄소수가 5개(C_5)인 isoprene 단위로 머리와 꼬리가 서로 연결되어 있는 형태의 천연물이며 hemiterpene(C_5), monoterpene(C_{10}), sesquiterpene(C_{15}), diterpene(C_{20}) 등으로 분류할 수 있다(Dewik 등, 2013). 또한 식물에서 주로 발견되는 2차 대사산물로 향기가 나며 항염증, 항산화, 항균, 항알러지 등의 생리활성을 가진 것으로 보고된 바 있다(Fatima 등, 2023).

선행 연구를 통해 확인된 휘발성 향기성분의 향기 묘사와 검출 식물은 Table 2에 나타내었으며 큰비쭉에서 검출된 휘발성 향기성분은 신선한 나뭇잎향, 송진향, 레몬 및 시트러스 계열의 냄새, 흙 냄새 등으로 확인되었다. (*E*)-2-Hexenal은 항진균 효과(Ma 등, 2022), α -pinene은 항산화, 항염증, 신경보호 효과(Allenspach와 Steuer, 2021), camphene은 항비만 효과가 있었다(Vallianou와 Peroulis, 2011). Sabinene은 항염증 효과가 있고(Valente 등, 2013), eucalyptol은 오랫동안 의학적으로 사용되어 항염증, 항산화, 항균, 항암, 기관지 확장 및 세포 사멸 효과 등 다양한 생물학적 기능이 있는 것으로 보고된 바 있다(Hoch 등, 2023). γ -Terpinene은 항통증 효과(Passos 등, 2015), *p*-cymenene은 항균, 항바이러스 효과(Bagińska 등, 2023), endo-borneol은 항경련 효과가 있는 것이 입증되었다(Luszczki 등, 2023). Terpinen-4-ol은 항균, 항독성, 항염증, 항고혈압, 항암 효과가 있었고(Prerna 등, 2024), α -terpineol은 항산화, 항암, 항경련, 항궤양(Khaleel 등, 2018), bornyl acetate는 항염증

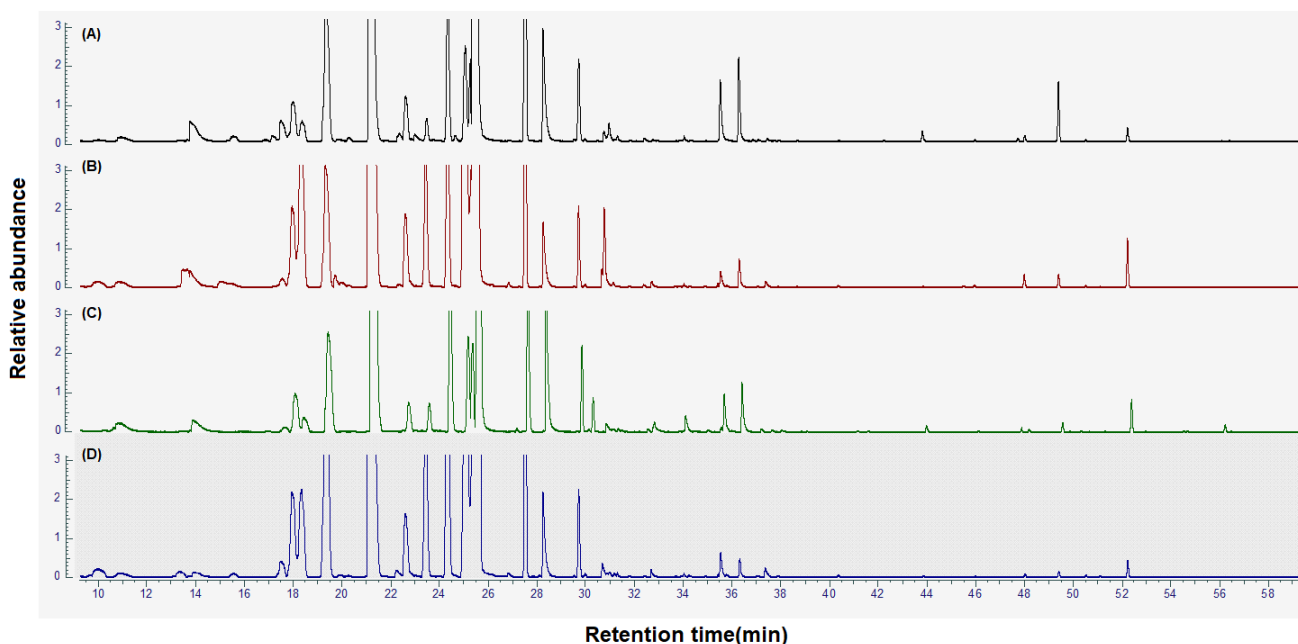


Fig. 1. GC-MS chromatograms of volatile aroma compounds in native *Artemisia fukudo* Makino harvested on May 10th, 2024 (A), Oct. 10th, 2024 (B) and cultivated *A. fukudo* Makino harvested on Jun. 19th, 2024 (C), Oct. 7th, 2024 (D).

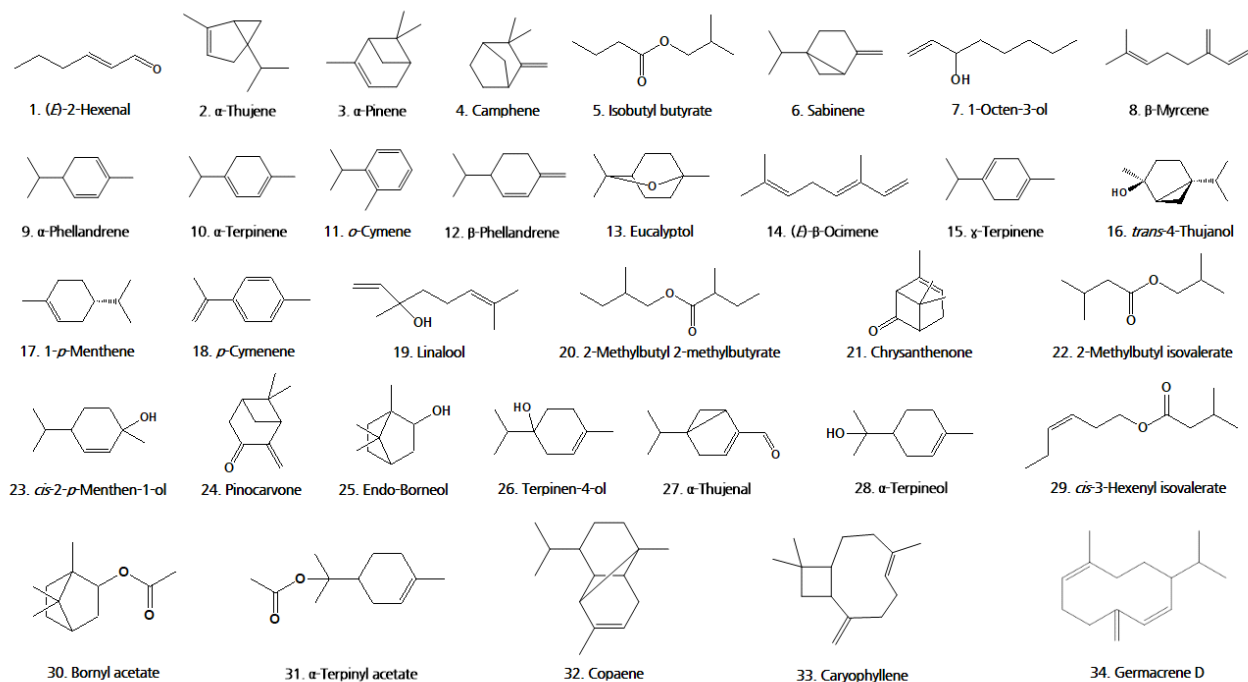


Fig. 2. Chemical structure of volatile aroma compounds in *Artemisia fukudo* Makino.

효과가 있는 것으로 보고된 바 있다(Zhao 등, 2023).

3.2. 생육 환경 및 수확 시기별 큰비쭉 휘발성 향기성분 peak area 변화

동정된 휘발성 향기 성분 34종의 각각의 peak area를 계산하여 Table 3에 나타내었다. 34종의 휘발성 향기성분은 자생 큰비쭉과 재배 큰비쭉에서 모두 검출이 되었으며 생육 환경에 따라 특이적으로 검출된 향기성분은 없었다.

자생 큰비쭉과 재배 큰비쭉에서 eucalyptol과 sabinene, camphene, o-cymene, α-terpinene은 봄-여름까지는 점차 증가하다가 8월에 크게 감소하였으며 가을에 가까워질수록 증가하여 몇몇 휘발성 향기성분들은 수확 초기(5월, 6월)에 비해 1.63-8.11배까지 증가한 것을 확인하였다. 또한 linalool의 경우 자생 큰비쭉과 재배 큰비쭉 모두 수확 초기에는 검출되지 않았지만, 10월에는 자생 큰비쭉에서는 크게 증가하였으며($5.64\text{E}+08$), 재배 큰비쭉에서는 소폭 증가하였다($2.68\text{E}+07$). 앞서 언급한 화합물들은 수확 시기에 따른 peak area 변화 경향이 유사한 반면 γ-terpinene은 자생 큰비쭉에서 수확 초기에 비해 1.83배 증가하였고, 재배 큰비쭉에서는 수확 초기에 비해 0.86배 감소하여 생육 환경에 따른 차이가 있는 것으로 확인되었다. β-Phellandrene은 자생 큰비쭉에서 10월에 가장 높았는데($1.05\text{E}+09$), 재배 큰비쭉에서는 8월 이후부터 감소해서 9월 이후 검출

되지 않았다(ND). 2-Methylbutyl-2-methylbutyrate는 자생 큰비쭉에서는 생육기간 동안 점차 감소하여 9월 이후에 검출되지 않았으며(ND), 재배 큰비쭉에서는 봄부터 여름까지는 증가하다가 8월경에 감소하고 다시 증가하여 생육 내내 검출되었다. Barroso 등(1992)의 연구에 따르면 *Crithmum maritimum*에서 sabinene은 5월부터 10월까지 점차 증가하여 개화기간에 우세한 성분이었으며 계절적인 영향을 받는 것으로 보고되었다. 본 연구에서도 생육 초기인 봄부터 개화 시기에 가까워진 가을까지 증가하여 Barroso의 연구결과와 유사한 부분을 확인하였다.

동정된 휘발성 향기 성분 34종의 총 peak area를 계산하여 Fig. 3에 나타내었다. 자생 큰비쭉의 휘발성 향기성분은 봄(5월)부터 초여름(6월)까지 증가하다가 점차 감소하여 8월에 가장 낮았으며 개화 시기에 가까워질수록 점차 증가하며 10월에 가장 높은 것을 확인하였다. 재배 큰비쭉의 경우 초여름(6월)부터 7월까지 향기성분이 증가하다가 8월에 가장 낮았으며 다시 점차 증가하여 10월에 가장 높은 것을 확인하였다.

자생 및 재배 큰비쭉의 총 휘발성 향기성분은 생육 초기인 봄-여름에는 증가하다가 무더운 여름인 8월에 크게 감소하는 경향을 보였는데 이러한 부분은 생리적 활동이 시작되는 3월에 비해 생리적인 휴면이 시작되는 8월에 잣나무 내 terpenoid류의 함량이 크게 감소했다고 보고된 Song(1994)의 연구 결과와 유사하였다. Royal Botanic Gardens Kew(1909)에 따르면 큰비쭉은 생육 초기에 가는 줄기 잎의 형태로 자라다 점차 굵은

Table 2. Volatile aroma compounds in *Artemisia fukudo* Makino identified by GC-MS

No.	Compound	RI ¹⁾	Structure	Odor description	Reference
1	(E)-2-Hexenal	859	Aldehyde	Green, banana-like ²⁾	<i>Artemisia princeps</i> (Park et al., 2009)
2	α -Thujene	929	Hydrocarbons (monoterpene)	-	<i>Pimpinella brachycarpa</i> N. (Chang et al., 2007)
3	α -Pinene	934	Hydrocarbons (monoterpene)	Pine-like, resinous ²⁾	<i>Artemisia annua</i> L. (Hong et al., 2021)
4	Camphene	949	Hydrocarbons (monoterpene)	-	<i>Artemisia iwayomogi</i> itamura (Hong, 2004)
5	Isobutyl butyrate	958	Ester	-	<i>Mosla chinensis</i> (Cao et al., 2011)
6	Sabinene	976	Hydrocarbons (monoterpene)	Warm, oily, peppery, green ²⁾	<i>Artemisia annua</i> L. (Hong et al., 2018)
7	1-Octen-3-ol	993	Alcohol	-	<i>Artemisia princeps</i> (Park et al., 2009)
8	β -Myrcene	997	Hydrocarbons (monoterpene)	Musty, wet soil ²⁾	<i>Artemisia princeps</i> (Park et al., 2009)
9	α -Phellandrene	1008	Hydrocarbons (monoterpene)	-	<i>Ligularis fischeri</i> var. <i>spiciformis</i> (Yeon et al., 2012)
10	α -Terpinene	1020	Hydrocarbons (monoterpene)	Lemony, citrusy ²⁾	<i>Aster scaber</i> (Lee et al., 2012)
11	<i>o</i> -Cymene	1030	Hydrocarbons (monoterpene)	-	<i>Chamaecyparis obtusa</i> , <i>Pinus densiflora</i> , <i>Pinus koraiensis</i> (Yang et al., 2019)
12	β -Phellandrene	1033	Hydrocarbons (monoterpene)	-	<i>Ligularia fischeri</i> , <i>Ligularis fischeri</i> var. <i>spiciformis</i> (Yeon et al., 2012)
13	Eucalyptol	1037	Hydrocarbons (monoterpene)	-	<i>Eucalyptus smithii</i> , <i>globulus</i> , <i>maideni</i> , <i>bicostata</i> , <i>sideroxylon</i> , <i>cineria</i> , <i>leucoxylon</i> (Chandorkar et al., 2021)
14	(E)- β -Ocimene	1055	Hydrocarbons (monoterpene)	Herbaceous, sweet, tropical, warm ²⁾	Fresh mandarin fruit (Tietel et al., 2011)
15	γ -Terpinene	1064	Hydrocarbons (monoterpene)	Lemony, lime-like ²⁾	<i>Artemisia annua</i> L. (Hong et al., 2018)
16	<i>trans</i> -4-Thujanol	1073	Hydrocarbons (monoterpene)	-	<i>Thymus quinquecostatus</i> Celak (Baik et al., 2009)
17	1- <i>p</i> -Menthene	1094	Hydrocarbons (monoterpene)	-	<i>Notopterygium</i> (Wang and Huang, 2015)
18	<i>p</i> -Cymenene	1098	Hydrocarbons (monoterpene)	-	<i>Lavandula pubescens</i> (Park et al., 2019)
19	Linalool	1110	Hydrocarbons (monoterpene)	Floral, green, citrus ²⁾	<i>Artemisia annua</i> L. (Hong et al., 2018)
20	2-Methylbutyl 2-methylbutyrate	1112	Ester	-	<i>Hippophae rhamnoides</i> L. ssp. <i>Carpatica</i> (Socaci et al., 2013)
21	Chrysanthenone	1114	Hydrocarbons (monoterpene)	-	<i>Artemisia maritima</i> (Jaitak et al., 2008)
22	2-Methylbutyl isovalerate	1117	Ester	-	<i>Hypericum Taxa</i> (Maggi et al., 2010)
23	<i>cis</i> -2- <i>p</i> -Menthen-1-ol	1131	Hydrocarbons (monoterpene)	-	<i>Achillea santolina</i> L. (Dakah and Maarrouf, 2019)
24	Pinocarvone	1173	Hydrocarbons (monoterpene)	-	<i>Eucalyptus globulus</i> (Schmidt, 1947)

(continued)

No.	Compound	RI ¹⁾	Structure	Odor description	Reference
25	endo-Borneol	1176	Hydrocarbons (monoterpene)	Woody, burning, camphoraceous ³⁾	<i>Chrysanthemum zawadskii</i> (Park and Kim, 2017)
26	Terpinen-4-ol	1186	Hydrocarbons (monoterpene)	Woody, earthy ²⁾	<i>Acorus calamus</i> L. (Venskutonis and Dagilyte, 2003)
27	α -Thujenal	1196	Hydrocarbons (monoterpene)	-	<i>Rosmarinus officinalis</i> L. (Mena et al., 2016)
28	α -Terpineol	1202	Hydrocarbons (monoterpene)	Floral, lilac-like ²⁾	<i>Zingiber officinale</i> Roscoe (Seo et al., 2006)
29	cis-3-Hexenyl isovalerate	1246	Ester	-	<i>Ligularis fischeri</i> var. <i>spiciformis</i> (Yeon et al., 2012)
30	Bornyl acetate	1296	Hydrocarbons (monoterpene)	-	<i>Schizandra Chinensis</i> Bullion (Kim and Jang, 1994)
31	α -Terpinyl acetate	1361	Hydrocarbons (monoterpene)	-	<i>Eucalyptus camaldulensis</i> Dehn. (Sabo and Knezevic, 2019)
32	Copaene	1383	Hydrocarbons (sesquiterpene)	-	<i>Foeniculum vulgare</i> Mill. (Hong et al., 2021)
33	Caryophyllene	1428	Hydrocarbons (sesquiterpene)	Woody, spicy ²⁾	<i>Ligularia fischeri</i> , <i>Ligularis fischeri</i> var. <i>spiciformis</i> (Yeon et al., 2012)
34	Germacrene D	1491	Hydrocarbons (sesquiterpene)	-	<i>Rosa hybrid</i> (Lee et al., 2008)

¹⁾RI, retention index.²⁾ref: Taste and aroma of fresh and stored mandarins (Tietel et al., 2011).³⁾ref: Volatile flavor compounds from raw mugwort leaves and parched mugwort tea (Kim et al., 1994).

줄기가 생기며 가지 끝부분부터 꽃이 생긴다고 보고된 바 있는데 본 연구에서 채취한 큰 비쭉도 줄기 끝에 가지잎이 생기고 개화 시기에 가까워질수록 가는 줄기를 따라 노란색 꽃망울이 여러 개 생기는 것을 확인하였다(Fig. 4). *Achillea ptarmica*의 녹색 줄기와 뿌리에서 추출한 오일에는 monoterpene이 거의 존재하지 않았고 꽃 부분에서 다량 존재하였다고 보고된 바 있다(Kuropka 등, 1991). 꽃 향기의 대부분은 monoterpene에 기 인하는데 개화 전에는 배당체 형태로 들어있는 monoterpene류가 짝이 틀 때 효소반응으로 유리되어 향기가 난다는 문헌(Woo, 2014)과 비교하였을 때 본 연구에서 큰비쭉의 휘발성 향기성분은 대부분 monoterpene로 동정되었으며 개화 시기인 가을에 가까워질수록 효소반응으로 배당체가 유리되어 향기가 나는 것으로 생각된다.

Hong(2015)의 생육환경에 따른 로즈마리 에센셜 오일의 함량 및 주요 향기성분에 관한 연구에서는 노지 재배에서 얻은 에센셜 오일이 시설 재배보다 유효성분의 peak area가 넓게 나타났다고 보고한 바 있고, Jang과 Baek(2022)의 연구에서는 노지 재배 달래가 시설 재배 달래에 비해 전반적인 향 강도가 강했으며 향 활성 화합물이 더 높은 농도로 존재하였다고 알린 바 있다. 반면 수경 재배와 노지 재배한 스위트 바질의 향기 성분을 비교한 연구에서는 정유 수득률의 차이는 있었지만, 향기

성분의 80% 이상이 유사하거나 동일성을 가졌으며 향취도 큰 범주 내에서는 유사한 것을 확인하였다(Yeon, 2022). 본 연구에서 개화 시기의 휘발성 향기성분을 비교하였을 때 자생 큰비쭉과 재배 큰비쭉에서 동정된 향기성분의 구성과 총 peak area가 유사한 점을 보아 큰비쭉의 휘발성 향기성분은 생육 환경에 따른 유의한 차이가 없었기 때문에 식물의 특성이나 기후, 재배 방식, 분석 방법 등으로 인한 연구결과의 차이가 있을 것으로 생각된다. 따라서 생리적인 휴면이 시작되는 8월 중순에는 휘발성 향기성분의 추출 효율이 가장 낮고 큰비쭉의 개화 시기인 9-10월에 추출 효율이 가장 높을 것으로 생각되며, 염이 많은 환경에서 자란 자생 큰비쭉과 일반 토양에서 자란 재배 큰비쭉 간의 휘발성 향기성분이 큰 차이가 없어 큰비쭉을 대량 재배한다면 천연향료로써 이용 가능성이 높아질 것으로 생각된다.

3.3. 생육 환경 및 수확 시기별 휘발성 향기성분의 조성 변화

자생 큰비쭉과 재배 큰비쭉의 수확 시기별 휘발성 향기성분 중 peak area%를 기준으로 1%가 넘어가는 성분을 큰비쭉의 주요 휘발성 향기성분으로 판단하고 Fig. 5에 나타내었다. 자생 큰비쭉의 휘발성 향기성분은 eucalyptol > sabinene >

Table 3. Changes in peak area of volatile aroma compounds in *Artemisia fukudo* Makino under different growth environments and harvest times

No.	Compound	Native <i>Artemisia fukudo</i> Makino						Cultivated <i>Artemisia fukudo</i> Makino					
		May 10th	Jun. 10th	Jul. 10th	Aug. 10th	Sep. 10th	Oct. 10th	Jun. 19th	Jul. 11th	Jul. 22nd	Aug. 22nd	Sep. 13th	Oct. 7th
1	(<i>E</i>)-2-Hexenal	4.33 E+08 ¹⁾	6.05 E+08	6.45 E+08	1.03 E+09	2.15 E+08	1.03 E+09	2.95 E+08	1.07 E+09	3.95 E+08	2.23 E+08	1.40 E+09	1.32 E+08
2	α -Thujene	4.09 E+08	7.60 E+08	2.16 E+08	2.96 E+08	1.29 E+09	1.67 E+09	7.07 E+08	3.09 E+08	9.07 E+08	2.00 E+08	9.60 E+08	1.31 E+09
3	α -Pinene	2.60 E+08	8.22 E+08	4.06 E+08	2.60 E+08	2.22 E+09	3.58 E+09	2.63 E+08	2.93 E+08	7.72 E+08	1.19 E+08	9.78 E+08	1.47 E+09
4	Camphene	1.45 E+09	5.82 E+09	3.34 E+09	2.62 E+09	4.48 E+09	2.37 E+09	1.32 E+09	2.91 E+09	5.35 E+09	9.38 E+08	3.18 E+09	4.24 E+09
5	Isobutyl butyrate	2.13 E+07	1.18 E+07	4.81 E+06	5.77 E+06	1.15 E+07	8.15 E+07	6.37 E+06	9.18 E+06	1.33 E+07	3.52 E+06	3.27 E+08	2.56 E+07
6	Sabinene	7.13 E+09	1.60 E+10	4.77 E+09	3.83 E+09	2.79 E+10	3.30 E+10	1.25 E+10	5.94 E+09	1.61 E+10	3.57 E+09	1.89 E+10	2.63 E+10
7	1-Octen-3-ol	6.51 E+07	8.89 E+07	3.98 E+07	3.37 E+07	1.54 E+08	4.17 E+07	1.30 E+07	6.15 E+07	4.21 E+07	1.16 E+07	1.24 E+08	6.95 E+07
8	β -Myrcene	4.19 E+08	5.82 E+08	3.67 E+08	3.23 E+08	1.95 E+08	1.02 E+09	3.01 E+08	2.23 E+08	6.74 E+08	2.42 E+08	1.59 E+08	7.77 E+08
9	α -Phellandrene	1.17 E+08	1.89 E+08	5.66 E+07	1.20 E+08	3.66 E+08	3.46 E+09	2.67 E+08	1.17 E+08	3.51 E+08	9.16 E+07	2.22 E+08	1.59 E+09
10	α -Terpinene	9.16 E+08	1.64 E+09	3.77 E+08	4.37 E+08	1.70 E+09	4.41 E+09	1.46 E+09	6.14 E+08	1.47 E+09	4.49 E+08	1.23 E+09	3.17 E+09
11	<i>o</i> -Cymene	6.88 E+08	1.21 E+09	7.03 E+08	1.45 E+09	3.73 E+09	5.58 E+09	7.97 E+08	1.03 E+09	1.25 E+09	3.33 E+08	1.94 E+09	4.55 E+09
12	β -Phellandrene	3.53 E+08	6.51 E+08	2.39 E+08	4.31 E+08	ND ²⁾	1.05 E+09	7.68 E+08	3.39 E+08	9.53 E+08	2.45 E+08	ND	ND
13	Eucalyptol	2.40 E+10	3.92 E+10	2.24 E+10	1.45 E+10	5.87 E+10	5.18 E+10	1.58 E+10	1.92 E+10	3.25 E+10	1.46 E+10	6.26 E+10	6.41 E+10
14	(<i>E</i>)- β -Ocimene	ND	7.93 E+06	ND	ND	1.32 E+07	3.81 E+07	6.87 E+06	ND	1.38 E+07	1.10 E+06	1.31 E+07	2.72 E+07
15	γ -Terpinene	1.37 E+09	2.32 E+09	6.74 E+08	6.90 E+08	2.28 E+09	2.50 E+09	2.16 E+09	1.06 E+09	2.04 E+09	6.64 E+08	1.73 E+09	1.85 E+09
16	<i>trans</i> -4-Thujanol	4.38 E+08	5.79 E+08	1.62 E+08	2.76 E+08	6.46 E+08	6.11 E+08	1.07 E+09	3.23 E+08	5.43 E+08	2.52 E+08	4.98 E+08	6.04 E+08
17	1- <i>p</i> -Menthene	2.63 E+08	4.51 E+08	1.08 E+08	1.10 E+08	4.71 E+08	5.61 E+08	5.27 E+08	2.08 E+08	5.50 E+08	1.56 E+08	3.32 E+08	4.27 E+08
18	<i>p</i> -Cymenene	7.50 E+06	1.27 E+07	4.17 E+06	5.52 E+06	1.68 E+07	2.27 E+07	1.63 E+07	7.97 E+06	1.69 E+07	5.29 E+06	1.02 E+07	1.74 E+07
19	Linalool	ND	ND	3.39 E+07	ND	1.33 E+07	5.64 E+08	ND	ND	ND	2.33 E+02	ND	2.68 E+07
20	2-Methylbutyl 2-methylbutyrate	8.73 E+07	6.62 E+07	1.73 E+07	1.68 E+07	ND	ND	2.69 E+07	3.31 E+07	6.44 E+07	1.39 E+07	2.56 E+07	4.22 E+07
21	Chrysanthenone	6.76 E+06	1.92 E+07	8.91 E+06	7.00 E+06	4.75 E+07	3.31 E+07	1.64 E+07	1.87 E+07	1.18 E+07	7.06 E+06	4.36 E+07	2.58 E+07
22	2-Methylbutyl isovalerate	2.87 E+07	2.41 E+07	4.19 E+06	2.85 E+06	1.23 E+07	1.18 E+07	1.02 E+07	9.21 E+06	3.17 E+07	3.80 E+06	6.44 E+06	3.55 E+07

(continued)

No.	Compound	Native <i>Artemisia fukudo</i> Makino						Cultivated <i>Artemisia fukudo</i> Makino					
		May 10th	Jun. 10th	Jul. 10th	Aug. 10th	Sep. 10th	Oct. 10th	Jun. 19th	Jul. 11th	Jul. 22nd	Aug. 22nd	Sep. 13th	Oct. 7th
23	<i>cis</i> -2- <i>p</i> -Menthen-1-ol	1.25 E+07	2.20 E+07	1.08 E+07	1.04 E+08	2.42 E+07	1.85 E+07	1.86 E+07	1.24 E+07	1.34 E+07	8.66 E+06	1.64 E+07	8.90 E+06
24	Pinocarvone	4.08 E+06	1.66 E+07	9.64 E+06	1.30 E+07	4.83 E+07	2.08 E+07	1.95 E+07	3.55 E+07	1.86 E+07	5.71 E+06	3.04 E+07	1.35 E+07
25	endo-Borneol	2.26 E+08	6.70 E+08	6.06 E+08	2.95 E+08	2.60 E+08	1.04 E+08	2.20 E+08	5.42 E+08	4.99 E+08	1.26 E+08	1.63 E+08	2.00 E+08
26	Terpinen-4-ol	2.87 E+08	4.12 E+08	1.46 E+08	1.79 E+08	2.53 E+08	1.82 E+08	3.21 E+08	1.99 E+08	1.76 E+08	1.03 E+08	1.93 E+08	1.30 E+08
27	α -Thujenal	5.20 E+06	1.55 E+07	5.29 E+06	6.65 E+06	3.09 E+07	9.23 E+06	1.43 E+07	1.50 E+07	1.07 E+07	6.49 E+06	1.97 E+07	9.43 E+06
28	α -Terpineol	1.13 E+07	2.26 E+07	6.75 E+06	5.74 E+06	3.53 E+07	4.39 E+07	1.50 E+07	1.41 E+07	2.51 E+07	7.13 E+06	2.44 E+07	7.35 E+07
29	<i>cis</i> -3-Hexenyl isovalerate	2.68 E+06	5.54 E+06	2.57 E+06	1.14 E+06	2.77 E+06	9.53 E+06	3.84 E+06	3.04 E+06	4.87 E+06	9.47 E+05	8.23 E+06	1.25 E+07
30	Bornyl acetate	2.33 E+07	2.98 E+07	2.40 E+07	6.65 E+06	1.01 E+07	7.55 E+06	2.52 E+07	2.81 E+07	5.05 E+07	1.06 E+07	7.88 E+06	6.43 E+06
31	α -Terpinyl acetate	1.68 E+07	2.53 E+07	1.68 E+07	4.74 E+06	2.36 E+07	5.68 E+07	1.27 E+07	6.76 E+06	2.14 E+07	5.41 E+06	1.58 E+07	2.43 E+07
32	Copaene	2.08 E+08	9.27 E+07	5.65 E+07	4.00 E+07	1.18 E+08	5.44 E+07	5.15 E+07	3.63 E+07	2.73 E+07	1.72 E+07	1.53 E+07	4.22 E+07
33	Caryophyllene	4.41 E+07	5.97 E+07	1.18 E+08	3.20 E+08	1.80 E+08	2.07 E+08	1.15 E+08	9.31 E+07	1.54 E+08	3.0 5E+07	1.26 E+08	1.13 E+08
34	Germacrene D	2.10 E+06	7.45 E+06	2.03 E+07	4.54 E+07	1.08 E+07	4.16 E+06	2.38 E+07	2.23 E+07	1.53 E+07	5.98 E+06	1.60 E+07	3.60 E+06
Total peak area		3.93 E+10	7.25 E+10	3.56 E+10	2.75 E+10	1.05 E+11	1.14 E+11	3.92 E+10	3.48 E+10	6.51 E+10	2.24 E+10	9.54 E+10	1.11 E+11

¹⁾All values are mean (n=5).

²⁾ND, not detected.

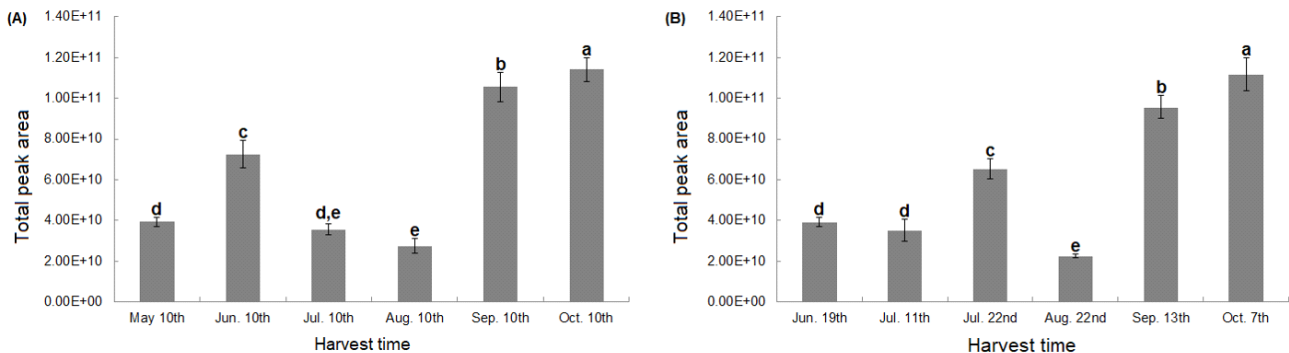


Fig. 3. Changes in total peak area of volatile aroma compounds in native *Artemisia fukudo* Makino (A) and cultivated *A. fukudo* Makino (B) by different harvest times. All values are mean $\pm$ SD (n=5). Different superscript letters (a-e) on the bars indicate significant differences (p<0.05) by Duncan's multiple range test.

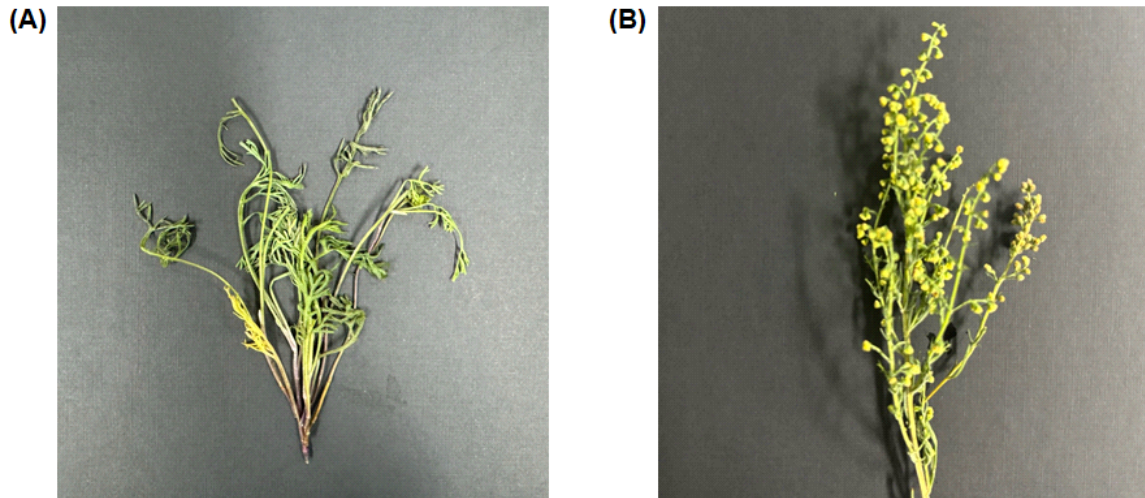


Fig. 4. Photographs of native *Artemisia fukudo* Makino harvested on May 10th, 2024 (A) and the flower of native *A. fukudo* Makino harvested on Oct. 10th, 2024 (B).

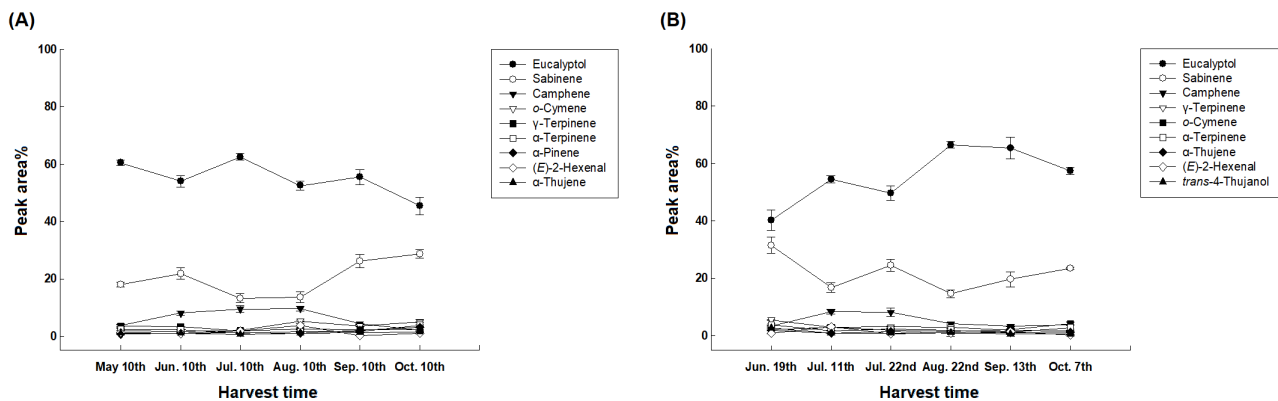


Fig. 5. Changes in peak area% of volatile aroma compounds in native *Artemisia fukudo* Makino (A) and cultivated *A. fukudo* Makino (B) at different harvest times. All values are mean±SD (n=5).

camphene > o-cymene > γ-terpinene > α-terpinene > α-pinene > (E)-2-hexenal > α-thujene의 순서로 차지하는 비중이 컸으며, eucalyptol은 생육 초기인 봄(5월)부터 여름(8월)까지 증감이 반복되다가 가을(10월)에 가장 적은 비율을 차지하였다(60.43%→45.40%). Sabinene은 봄(5월)부터 증감하다 가을(10월)에 가장 높은 비율을 차지하였으며(17.89%→28.71%), camphene은 약 3.31% 차지했던 봄(5월)과 가을(9, 10월)에 비해 여름(6-8월)에 약 9%로 가장 높은 비율을 차지하는 것을 확인하였다. o-Cymene은 봄(5월)부터 가을(10월)까지 증가하였으며(1.74%→4.92%), γ-terpinene은 봄(5월)부터 가을(10월)까지 감소하였다(3.42%→2.18%). α-Terpinene은 여름(7월)에 1.04%로 가장 낮았으며 다시 증가하여 가을(10월)에 가장 높은 것을 확인하였다(2.29%→3.80%).

재배 큰비쭉의 휘발성 향기성분은 eucalyptol > sabinene > camphene > γ-terpinene > o-cymene > α-terpinene > α-thujene > (E)-2-hexenal > trans-4-thujanol의 순서로 차지하는 비중이 컸다. Eucalyptol은 6월에 40.21%로 가장 낮았다가 증감을 반복하고 66.54%로 8월에 가장 높고 가을(10월)까지 점차 감소하였다(40.21%→57.37%). Sabinene은 6월에 가장 높았고 이후 증감하다 8월에 14.58%로 가장 낮았으며 가을에 다시 증가하였고(31.49%→23.46%), camphene은 7월에 약 8.22%로 가장 높았으며 가을(10월)에 다시 감소하였다(3.33%→3.78%). γ-Terpinene은 여름(6월)부터 지속적으로 감소하여 가을(10월)에 가장 낮았다(5.45%→1.65%). o-Cymene은 2.01%로 6월에 가장 낮았으며 증감하다 개화 시기인 가을(10월)에 가까워질수록 점차 증가하였으며(2.01%→4.10%), α-terpinene은 여름(7

월)에 3.68%로 가장 높았으며 증감을 반복하다 가을(10월)에 2.78%를 차지하였다(3.68%→2.78%).

자생 큰비쭉과 재배 큰 비쭉 모두 eucalyptol, sabinene, camphene, *o*-cymene, γ -terpinene, α -terpinene이 약 90%를 차지하였으며 위 화합물들은 레몬 향기, 신선한 풀 냄새 등이 난다고 보고된 바 있어 큰비쭉 고유의 향에 기여하는 것으로 판단된다(Tietel et al., 2011). 또한, 항염증, 항균, 항암, 항통증 효과 등이 있다고 보고되었기 때문에 본 연구를 통해 큰비쭉이 가진 천연향료로서의 가치와 생리활성 물질의 존재까지 확인하였다.

4. 요약

국화과에 속하는 큰비쭉은 고유의 향기가 있고 녹색색을 띠는 염생식물이다. 큰비쭉의 생육 환경 및 시기별 이화학적 특성에 대한 연구는 진행되어 있지만 휘발성 향기성분에 대한 연구는 미흡한 실정이다. 따라서 큰비쭉의 휘발성 향기성분을 동정하여 천연향료로서의 가치를 확보하고 생육 환경 및 수확 시기별로 분석하여 생육 환경에 따른 생리기능적인 자료와 최적의 수확 시기를 확인하여 작물 이용성을 높이고자 본 연구를 진행하였다. 수확 시기별 자생 및 재배 큰비쭉의 휘발성 향기성분은 headspace법을 이용하여 GC-MS로 분석하였다. 25종의 monoterpene류, 3종의 sesquiterpene류, 4종의 ester류, 1종의 aldehyde류, 1종의 alcohol를 포함한 총 34종의 휘발성 향기성분이 분리동정되었다. 생육 환경에 따른 휘발성 향기성분은 유의한 차이가 없었으며, 자생 및 재배 큰비쭉의 휘발성 향기성분은 생육 초기인 봄에 증가하다가 무더운 여름에 감소하였으며 개화 시기인 가을에 크게 증가하는 경향을 보였다. 또한 자생 및 재배 큰비쭉의 주요 휘발성 향기성분은 eucalyptol, sabinene, camphene, *o*-cymene, γ -terpinene, α -terpinene 등이다. 위 화합물들은 약 90% 정도 차지하였으며 레몬향, 풀 냄새 등이 나타나는 다양한 생리활성 효과가 있다. 결과적으로 본 연구를 통해 큰비쭉의 천연향료로서의 가치와 생리활성 물질의 존재를 확인하였으며 환경 관리와 수확이 수월한 재배 환경의 큰비쭉을 개화 시기인 9-10월에 수확하면 자생 큰비쭉에 비해 높은 수율의 휘발성 향기성분을 보다 수월하게 얻을 수 있을 것으로 생각된다.

Funding

None.

Acknowledgements

None.

Conflict of interests

The authors declare no potential conflicts of interest.

Author contributions

Conceptualization: Na HS, Shin MY, An YJ. Methodology: Ha TM, Na HS. Formal analysis: Oh GY, Ha TM, Lee HY, Lee SH, Park YM. Writing - original draft: Oh GY, Ha TM. Writing - review & editing: Oh GY, Na HS.

Ethics approval

This article does not require IRB/IACUC approval because there are no human and animal participants.

ORCID

Gyu Yeon Oh (First & Corresponding author)

<https://orcid.org/0000-0003-0726-8328>

Tae Man Ha

<https://orcid.org/0009-0003-4240-453X>

Hee Yeon Lee

<https://orcid.org/0009-0007-7945-3692>

So Hyeon Lee

<https://orcid.org/0009-0009-2467-0862>

Yoo Min Park

<https://orcid.org/0009-0004-1079-7858>

Hwan Sik Na

<https://orcid.org/0000-0002-4982-5690>

Mi Yeong Shin

<https://orcid.org/0000-0003-3754-6907>

Yang Joon An

<https://orcid.org/0009-0008-3501-8506>

References

- Allenspach M, Steuer C. α -Pinene: A never-ending story. *Phytochemistry*, 190, 112857 (2021)
- Almeida RN, Navarro DS, Barbosa-Filho JM. Plants with central analgesic activity. *Phytomedicine*, 8, 310-322 (2001)
- Bagińska S, Golonko A, Świsłocka R, Lewandowski W. Monoterpenes as medicinal agents: Exploring the pharmaceutical potential of *p*-cymene, *p*-cymenene, and γ -terpinene. *Acta Pol Pharm*, 80, 879-892 (2023)
- Baik JA, Baek YH, Chiang MH. Phenol contents of solvent extraction in several domestic *Thymus quinquecostatus* Celak. *J Bio-Env Con*, 18, 468-474 (2009)
- Barroso JG, Pedro LG, Figueiredo AC, Pais MSS, Scheffer JJC. Seasonal variation in the composition of the essential oil of *Crithmum maritimum* L. *Flavour Fragrance J*, 7, 147-150 (1992)
- Berger RG. In *Flavours and Fragrances: Chemistry, Bioprocessing*

- and Sustainability. 1st ed, Springer-Verlag, Berlin, Germany, p 409-414 (2007)
- Cao H, Li Z, Chen X. QSRR Study of GC retention indices of volatile compounds emitted from *Mosla chinensis* Maxim by multiple linear regression. *Chin J Chem*, 29, 2187-2196 (2011)
- Chandorkar N, Tambe S, Amin P, Madankar C. A systematic and comprehensive review on current understanding of the pharmacological actions, molecular mechanisms, and clinical implications of the genus *Eucalyptus*. *Phytomedicine Plus*, 1, 100089 (2021)
- Chang KM, Chung MS, Kim MK, Kim GH. Analysis of mineral and volatile flavor compounds in *Pimpinella brachycarpa* N. by ICP-AES and SDE, HS-SPME-GC/MS. *J Korean Soc Food Cult*, 22, 246-253 (2007)
- Choi HS. The variation of the major compounds of *Artemisia princeps* var. *orientalis* (Pampan) hara essential oil by harvest year. *Korean J Food Nutr*, 28, 533-543 (2015)
- Choi YK, Ha BJ. Comparison of the physicochemical characteristics and antibacterial efficiencies of the extracts obtained from *Artemisia princeps* var. *orientalis*. *Asian J Beauty Cosmetol*, 12, 685-692 (2014)
- Dakah A, Maarouf M. Antileishmanial and antibacterial activity of essential oils of medicinal plant *Achillea santolina* L. *J Biol Sci*, 19, 69-76 (2019)
- de Almeida RN, Motta SC, Leite JR. Óleos essenciais com propriedades anticonvulsivantes. *Bol Latinoam Caribe Plant Med Aromat*, 2, 3-6 (2003)
- Dewick PM, Kim JW, Yoon KD, Jin YW. Medicinal natural products: A biosynthetic approach. 3rd ed, John Wiley & Sons, Chichester, W. Sussex, UK, p 187-197 (2013)
- Fatima Z, Charles MR, Maurya J, Pratap P. A systematic reviews of terpenes & terpenoids & their roles in human health. *EEJMR*, 10, 193-200 (2023)
- Figueiredo AC, Barroso JG, Pedro LG, Scheffer JJC. Factors affecting secondary metabolite production in plants: Volatile components and essential oils. *Flavour Fragrance J*, 23, 213-226 (2008)
- Hoch CC, Petry J, Griesbaum L, Weiser T, Werner K, Ploch M, Verschoor A, Multhoff G, Bashiri Dezfouli A, Wollenberg B. 1,8-cineole (eucalyptol): A versatile phytochemical with therapeutic applications across multiple diseases. *Biomed Pharmacother*, 167, 115467 (2023)
- Hong CU. Comparison of essential oil composition of *Artemisia iwayomogi* and *Artemisia capillaris*. *J Korean Soc Appl Biol Chem*, 47, 124-129 (2004)
- Hong MJ, Kim MJ, Kim SM. Biological Activities of sweet wormwood (*Artemisia annua* L.). *Weed Turf Sci*, 10, 243-263 (2021)
- Hong SJ, Boo CG, Heo SU, Shin EC. Comparative study between parts of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) for taste and flavor properties. *J Korean Soc Food Sci Nutr*, 50, 384-394 (2021)
- Hong YK. Change of essential oil contents and aroma components as growth environment and management in rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.). MS Thesis, Chonbuk National University, Korea, p 9-12 (2015)
- Hong YS, Son JH, Jeong JY, Song OY, Lee JH, Kim KS. Comparison of volatile flavor compounds of *Artemisia annua* L. extracted by simultaneous steam distillation extraction and solid-phase micro extraction. *Food Sci Preserv*, 25, 321-329 (2018)
- Hwang CR, Seo WT, Bae WY, Kang MJ, Shin JH. Physicochemical characteristics and biological activities of *Artemisia Argyi* H. *J Life Sci*, 24, 377-385 (2014)
- Jaitak V, Singh B, Kaul VK. Variability of volatile constituents in *Artemisia maritima* in western Himalaya. *Nat Prod Res*, 22, 565-568 (2008)
- Jang BA, Baek HH. Comparison of characteristic aroma compounds in Korean wild chive (*Allium monanthum* Maxim.) cultivated in open-fields or greenho. *Korean J Food Sci Technol*, 54, 126-133 (2022)
- Jang HW, Lee HJ, Lee KG. Analysis and antioxidant activity of volatile extracts from plants commonly used in Korean foods. *Korean J Food Sci Technol*, 37, 723-729 (2005)
- Kang BR, Kim EH, Kim YK, Kim AH, Oh GY, Park YM, Jo AH, Na HS, Shin MY, An YJ, Cho JY, Lee SH. Comparison of the physicochemical properties of native and cultivated *Artemisia fukudo* Makino. *Food Sci Preserv*, 31, 267-275 (2024)
- Khaleel C, Tabanca N, Buchbauer G. α -Terpineol, a natural monoterpene: A review of its biological properties. *Open Chem*, 16, 349-361 (2018)
- Kim MG, Kwon MJ, Ku KM. Effects of freeze drying, room-temperature drying, and room-temperature drying after roasting on volatile compounds sugar content, flavonoids, and antioxidant activity of Hallabong (*Citrus sphaerocarpa* Tanka nom. nud.) Peel Tea. *Korean J Plant Res*, 35, 455-463 (2022)
- Kim OC, Jang HJ. Volatile components of *Schizandra Chinensis* Bullion. *Appl Biol chem*, 37, 30-36 (1994)
- Kim YS, Lee JH, Kim MN, Lee WG, Kim JO. Volatile flavor compounds from raw mugwort leaves and parched mugwort tea. *J Korean Soc Food Sci Nutr*, 23, 261-267 (1994)
- Kuropka G, Neugebauer M, Glombitza KW. Essential oils of *Achillea ptarmica*. *Planta Med*, 57, 492-494 (1991)
- Lee JS. Chemical constituents from *Artemisia fukudo* Makino of halophyte. MS Thesis, Gyeongnam National University, Korea, p 1-2 (2018)
- Lee KC, Sa JY, Wang MH, Han SS. Comparison of volatile aroma compounds between *Synurus deltooides* and *Aster*

- scaber leaves. Korean J Medicinal Crop Sci, 20, 54-62 (2012)
- Lee YS, Kim SJ, Kim KJ. Analysis of volatile compounds according to the flowering stages of rose using gas-chromatography mass spectrometry. Korean J Hort Sci Technol, 26, 501-507 (2008)
- Łuszczki JJ, Bojar H, Góralczyk A, Skalicka-Woźniak K. Antiseizure effects of scoparone, borneol and their impact on the anticonvulsant potency of four classic antiseizure medications in the mouse MES model: An isobolographic transformation. Int J Mol Sci, 24, 1395 (2023)
- Ma W, Zhao L, Johnson ET, Xie Y, Zhang M. Natural food flavour (*E*)-2-hexenal, a potential antifungal agent, induces mitochondria-mediated apoptosis in *Aspergillus flavus* conidia via a ROS-dependent pathway. Int J Food Microbiol, 370, 109633 (2022)
- Maggi F, Cecchini C, Cresci A, Coman MM, Tirillini B, Sagratini G, Papa F, Vittori S. Chemical composition and antimicrobial activity of the essential oils from several *Hypericum* Taxa (Guttiferae) growing in central Italy (Appennino Umbro-Marchigiano). Chem Biodiversity, 7, 447-466 (2010)
- Mena P, Cirilini M, Tassotti M, Herrlinger KA, Dall'Asta C, Del Rio D. Phytochemical profiling of flavonoids, phenolic acids, terpenoids, and volatile fraction of a rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) extract.. Molecules, 21, 1576 (2016)
- Park CH, Park YE, Yeo HJ, Chun SW, Baskar TB, Lim WW, Park SU. Chemical compositions of the volatile oils and antibacterial screening of solvent extract from downy lavender. Foods, 8, 132 (2019)
- Park KL, Kim JM. Analysis of volatile flavor components in the leaves of *Chrysanthemum zawadskii*. J Kor Tea Soc, 23, 44-50 (2017)
- Park MH, Kim MJ, Cho WI, Chang PS, Lee JH. Effects of treatments on the distribution of volatiles in *Artemisia princeps* Pampan. Korean J Food Sci Technol, 41, 587-591 (2009)
- Park MH, Kim MJ, Cho WI, Chang PS, Lee JH. Volatile changes in beverages and encapsulated powders containing an *Artemisia* extract during production and storage. Korean J Food Sci Technol, 43, 271-276 (2011)
- Passos FFB, Lopes EM, de Araujo JM, de Sousa DP, Veras LMC, Leite JRSA, Almeida FRC. Involvement of cholinergic and opioid system in γ -terpinene-mediated antinociception. Evid Based Compl Alt Med, 2015, 829414 (2015)
- Paula ACB, Toma W, Gracioso JS, Hiruma-Lima CA, Carneiro EM, Brito ARMS. The gastroprotective effect of the essential oil of *Croton cajucara* is different in normal rats than in malnourished rats. Br J Nutr, 96, 310-315 (2006)
- Prerna, Chadha J, Khullar L, Mudgil U, Harjai K. A comprehensive review on the pharmacological prospects of terpinen-4-ol: From nature to medicine and beyond. Fitoterapia, 176, 106051 (2024)
- Royal Botanic Gardens Kew. *Artemisia fukudo* Makino. 1st ed, Bot Mag, Tokyo, Japan, p 146 (1909)
- Sabo VA, Knezevic P. Antimicrobial activity of *Eucalyptus camaldulensis* Dehn. plant extracts and essential oils: A review. Ind Crop Prod, 132, 413-429 (2019)
- Schmidt H. Untersuchung der hochsiedenden Anteile des spanischen eucalyptusöls von *E. globulus*. Chem Ber, 80, 528-533 (1947)
- Seo HY, No KM, Shim SL, Ryu KY, Han KJ, Gyawali R, Kim KS. Analysis of enantiomeric composition of chiral flavor components from dried ginger (*Zingiber officinale* Roscoe). J Korean Soc Food Sci Nutr, 35, 874-880 (2006)
- Silva MIG, de Aquino Neto MR, Teixeira Neto PFT, Moura BA, do Amaral JF, de Sousa DP, Vasconcelos SM, de Sousa FC. Central nervous system activity of acute administration of isopulegol in mice. Pharmacol Biochem Behav, 88, 141-147 (2007)
- Socaci SA, Socaci C, Tofană M, Rați IV, Pintea A. In-tube extraction and GC-MS analysis of volatile components from wild and cultivated sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L. ssp. *Carpatica*) berry varieties and juice. Phytochem Anal, 24, 319-328 (2013)
- Song HK. Biogenetic differences in essential oil constituents from the leave of *Pinus densiflora* and *Pinus koraiensis*. J Korean Wood Sci Technol, 23, 49-53 (1994)
- Song HN. Quality properties of fermented mugworts and the rapid pattern analysis of their volatile flavor components via surface acoustic wave (SAW) based electronic nose sensor in the GC system. Food Sci Preserv, 20, 554-563 (2013)
- Tietel Z, Plotto A, Fallik E, Lewinsohn E, Porat R. Taste and aroma of fresh and stored mandarins. J Sci Food Agric, 91, 14-23 (2011)
- Valente J, Zuzarte M, Gonçalves MJ, Lopes MC, Cavaleiro C, Salgueiro L, Cruz MT. Antifungal, antioxidant and anti-inflammatory activities of *Oenanthe crocata* L. essential oil. Food Chem Toxicol, 62, 349-354 (2013)
- Vallianou I, Peroulis N, Pantazis P, Hadzopoulou-cladaras M. Camphene, a plant-derived monoterpene, reduces plasma cholesterol and triglycerides in hyperlipidemic rats independently of HMG-CoA reductase activity. Plos One, 6, e20516 (2011)
- Van Den Dool H, Kratz PD. A generalization of the retention index system including linear temperature programmed gas-liquid partition chromatography. J Chromatogr, 11, 463-471 (1963)

- Venskutonis PR, Dagilyte A. Composition of essential oil of sweet flag (*Acorus calamus* L.) leaves at different growing phases. J Essent Oil Res, 15, 313-318 (2003)
- Wang Y, Huang L. Comparison of two species of *Notopterygium* by GC-MS and HPLC. Molecules, 20, 5062-5073 (2015)
- Woo WS. Natural Product Chemistry Research Method. 6th ed, SUNpress, Seoul, Korea, p 171-172 (2014)
- Yang J, Choi WS, Kim JW, Lee SS, Park MJ. Anti-inflammatory effect of essential oils extracted from wood of four coniferous tree species. J Korean Wood Sci Technol, 47, 674-691 (2019)
- Yeon BR, Cho HM, Yun MS, Jhoo JW, Jung JW, Park YH, Kim S. Comparison of fragrance and chemical composition of essential oils in Gom-chewi (*Ligularia fischeri*) and Handaeri Gom-chewi (*Ligularia fischeri* var. *spicifolmis*). J Korean Soc Food Sci Nutr, 41, 1758-1763 (2012)
- Yeon JH. Comparative study of fragrance components of sweet basil (*ocimum basilicum* L.) from smart farm and field cultivation. MS Thesis, Korea University, Korea, p 47-48 (2022)
- Zhao Z, Sun Y, Ruan X. Bornyl acetate: A promising agent in phytochemistry for inflammation and immune modulation. Phytochemistry, 114, 154781 (2023)