

## 노지와 시설 재배 달래의 특징적인 향기 성분 비교

장보아<sup>1</sup> · 백형희<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>단국대학교 식품공학과

### Comparison of characteristic aroma compounds in Korean wild chive (*Allium monanthum* Maxim.) cultivated in open-fields or greenhouses

Boa Jang<sup>1</sup> and Hyung-Hee Baek<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Food Engineering, Dankook University

**Abstract** The objective of this study was to analyze volatile and aroma-active compounds in Korean wild chive (*Allium monanthum* Maxim.) cultivated in open-fields or greenhouse systems using solvent-assisted flavor evaporation-gas chromatography (GC)-mass spectrometry and GC-olfactometry. Aroma-active compounds were evaluated using aroma extract dilution analysis (AEDA). Twenty-two aroma-active compounds with log<sub>2</sub> flavor dilutions (FD) of 1-10 were detected in Korean wild chive, which was cultivated in an open-field or a greenhouse. 2-Isopropyl-3-methoxypyrazine (“earthy”), 2-*sec*-butyl-3-methoxypyrazine (“earthy”, “musty”), and dipropyl disulfide (“sulfurous”) were the most predominant aroma-active compounds with log<sub>2</sub>FD of 9-10; this was followed by dimethyl trisulfide (“onion-like”) and (*E*)-1-propenyl propyl disulfide (“fresh onion-like”). The “sulfurous”, “earthy”, “pungent”, and “cabbage-like” aroma notes were strong in Korean wild chive. More intense “pungent” odors were detected in Korean wild chive cultivated in an open-field, whereas more intense “cabbage-like” odors were detected in Korean wild chive cultivated in a greenhouse.

**Keywords:** *Allium monanthum* Maxim., volatile flavor compound, aroma-active compound, olfactometry, Korean wild chive

## 서 론

달래(*Allium monanthum* Maxim.)는 백합과(Liliaceae)에 속하는 다년생 식물이다. 예로부터 해백(薤白)이라고 불리며 약용식물로 사용되었으며 독특한 맛과 향으로 인해 향신채소로도 널리 섭취되어 왔다(Ahn 등, 2000; Sok 등, 2004). 주로 한국, 일본 및 중국에 분포하여 자생하고 있으며, 인경의 길이는 6-10 mm 정도이고 구형이다. 초장은 5-10 cm이며, 개화기 4월부터 5월까지 백색의 꽃이 1-2개 달린다. 보통 이른 봄에 수확하여 뿌리, 구근 및 줄기까지 모든 부위를 식용으로 이용하는데(Lee, 2003), 최근에는 그 수요가 급증하면서 농가재배가 활발히 이루어지고 있다(Ahn 등, 2000; Kim 등, 2010). 우리나라에서 달래는 노지 재배와 시설 재배 모두 이루어지고 있는데 충청남도 태안과 서산 지역이 전체 재배 면적의 38%를 차지하고 있으며, 이른 봄인 2-3월에 거래량이 가장 많다.

달래와 같은 *Allium*속에 속하는 채소는 대표적으로 양파나 마늘 등이 있으며, 다양한 요리에 향과 풍미를 더해주는 식재료로서 널리 이용되어 왔다(Landshuter 등, 1994). 불교에서는 향이 강하고 자극성이 있다는 이유로 파, 마늘, 달래, 부추 그리고 흥거

를 오신채로 분류하여 사찰음식에 사용하지 않는다(Ryu, 1996). *Allium*속 채소 특유의 독특한 향은 휘발성 황 함유 화합물에 의한 것인데, 이 화합물들은 채소 내에 존재하는 향미 전구물질이 효소작용에 의해 분해되어 생성된다(Brodnitz와 Pascale, 1971; Ferary와 Auger, 1996; Schreyen 등, 1976). 향미 전구물질의 종류는 크게 3가지로 S-methyl-L-cysteine sulfoxide (MeCSO), S-2-propenyl-L-cysteine sulfoxide (AlCSO) 및 S-1-propenyl-L-cysteine sulfoxide (PeCSO)가 있으며, 각각의 전구물질에 따라 서로 다른 향 특성을 갖는 휘발성 황 함유 화합물이 최종 생성된다. 향미 전구물질의 종류와 함량은 *Allium*속 채소에 따라 다르고 재배 지역과 온도와 같은 환경적인 요인에 따라 차이를 보이는데(Ariyama 등, 2006), 이로 인해 *Allium*속 채소의 맛과 향이 각기 다른 특징을 갖는다고 알려져 있다(Boscher 등, 1995).

현재까지 달래의 향기성분에 대한 연구는, Oh 등(2012)이 solid phase microextraction (SPME)법을 이용하여 GC-MS로 분석한 연구가 있다. 이 연구에서는 달래의 주요한 휘발성 성분으로 hexanal, 2-butenal, 3,8-nonadien-2-one, cis-3-hexenol 그리고 benzoic acid를 보고하였으며, 이 중 hexanal은 달래의 풀 냄새에 기여하는 주요한 향기성분이라고 보고하였다. 그리고 달래와 유사한 산달래(*Allium macrostemon*) 추출물의 향기성분을 분석한 Hashimoto 등(1984)의 연구에서는 methyl propyl disulfide, dipropyl disulfide, methyl propyl trisulfide 및 dipropyl trisulfide 등을 산달래의 주요 휘발성 황 함유 화합물이라고 보고하였고, 이 중 dipropyl disulfide는 양파, 부추 및 대파에서 흔히 발견되는 향기성분이며, 3-methyl-5-ethyl-1,2,4-trithiolane과 3,5-diethyl-1,2,4-trithiolane은 산달래의 특징적인 향기성분이라고 보고하였다.

다른 *Allium*속 채소의 향기성분에 대한 연구를 살펴보면, 향미

\*Corresponding author: Hyung-Hee Baek, Department of Food Engineering, Dankook University, Cheonan, Chungnam 31116, Korea

Tel: +82-41-550-3565

Fax: +82-41-559-7868

E-mail: baek@dankook.ac.kr

Received January 11, 2022; revised March 25, 2022;

accepted March 25, 2022

전구물질 PeCSO와 MeCSO의 분해 생성물인 propyl- 및 methyl-기를 갖는 황 함유 화합물의 함량은 양파, 쪽파(shallot) 및 리크(leek)에서 높았으며(Carson과 Wong, 1961; Yoo와 Pike, 1998), 이 화합물들은 양파와 같은 향 특성을 갖는다고 보고되어 있다(Lanzotti, 2006). 그리고 마늘에서는 MeCSO 및 AICSO의 분해 생성물인 methyl- 및 allyl-기를 가진 황 함유 화합물이 높은 함량으로 검출되었고, 이들을 마늘의 매운 향 특성에 기여하는 향기성분이라고 보고하였다(Lee 등, 2003). 이처럼, *Allium*속 채소의 휘발성 향기성분은 이미 많은 선행연구를 통해 밝혀진 바 있고, 더 나아가 재배 환경, 저장 방법 및 가공 방법에 따른 향기성분 변화에 대한 연구까지 다양하게 이루어져 있다(Chetshik 등, 2008; Kwon 등, 2006; Oh 등, 2012; Lee 등, 2008; Shin 등, 2000). 그러나 달래의 향기성분은 아직까지 많이 연구되지 않았고, 기존의 연구들도 휘발성 화합물에 국한되어 있으며, 향 활성 화합물(aroma-active compound)에 대한 연구는 전무한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 달래의 향 특성을 밝히기 위해 달래의 휘발성 향기성분을 solvent-assisted flavor evaporation-gas chromatography-mass spectrometry (SAFE-GC-MS)와 GC-olfactometry-aroma extract dilution analysis (GC-O-AEDA)를 통해 분석하고, 노지 재배와 시설 재배에 따른 향 특성을 비교하고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 달래의 전처리

본 실험에 사용된 달래는 주요 생산지인 충청남도 태안군의 남면 달래 작목반에서 동일한 품종을 노지와 시설 재배한 것을 2021년 3월에 수확하여 사용하였다.

뿌리를 제외한 잎의 길이가 30-35 cm에 해당하는 달래를 선별하여 전체(잎, 구근과 뿌리) 부위를 실험에 사용하였다. 수확 후 달래는 흐르는 물로 수세하여 이물질을 깨끗이 제거하였고, 액체 질소로 급속 냉동하여 실험 전까지 -20°C 냉동고에 보관하였다. 달래 50 g에 포화 CaCl<sub>2</sub> 용액 100 mL을 첨가하여 추출 과정 중 일어날 수 있는 효소작용을 억제시켰다. 이후 Waring 블렌더에서 1분 동안 분쇄하고 균질기(Ultra-Turrax T25, IKA Werke, Staufen, Germany)로 30초 동안 균질화하여 휘발성 향기성분 분석 시료로 사용하였다. 실험에 사용된 증류수는 냄새가 제거된 2차 증류수를 사용하였다.

### Solvent-assisted flavor evaporation (SAFE)

달래의 휘발성 향기성분은 SAFE로 추출하였다. 앞에서 언급한 대로 전처리한 시료 150 mL를 SAFE 장치(ACE Glass Inc., Vineland, NJ, USA)에 넣고 40°C, 8.0×10<sup>-3</sup> Pa에서 1시간 동안 추출하였다. 이때 내부표준물질로 1-octanol (99%, Sigma-Aldrich Co., St. Louis, MO, USA) 114.6 µg을 사용하였다. SAFE 추출액은 재증류한 다이클로로메테인(99.8%, dichloromethane; J.T. Baker Chemical Co., Phillipsburg, NJ, USA)을 20, 20, 10 mL씩 세차제로 나누어 넣고 각각 1시간씩, 총 3시간 동안 용매 추출하였다. 최종 추출액은 -20°C에서 12시간 냉동하여 수분을 제거하였고 3 g 무수황산나트륨을 통해 여분의 수분을 제거하였다. 수분이 제거된 추출액은 질소 기체를 이용하여 600 µL까지 농축하여 분석 시료로 사용하였으며 추출은 3회 실시하였다.

### Gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS)

달래의 휘발성 향기성분은 Agilent 7890B GC/Agilent 5977A

mass selective detector (Agilent Co., Palo Alto, CA, USA)를 사용하여 분석하였다. GC 컬럼은 DB-wax (60 m×0.25 mm×0.25 µm; J&W Scientific, Folsom, CA, USA)를 사용하였고 오븐 온도는 40°C에서 5분간 유지 후 5°C/분의 속도로 200°C까지 올린 다음 200°C에서 20분간 유지하였다. 주입구 및 검출기 온도는 200°C 및 250°C로 하였으며 운반기체(He)의 유속은 1.0 mL/분으로 하였다. 이온화전압은 70 eV, 그리고 분석할 분자량의 범위(m/z)는 33-350으로 하였다. 농축액 1 µL를 비분할(splitless) 모드로 GC에 주입하여 분석하였다.

### Gas chromatography-olfactometry (GC-O)

달래의 향 활성 화합물 분석을 위해 GC-O를 수행하였다. GC-O는 Varian 3800 (Varian Instrument Group, Walnut Creek, CA, USA)을 사용하였다. 검출기는 불꽃이온화검출기를 사용하였고, 컬럼으로부터 분리된 휘발성 성분은 분할기(splitter)로 분지시켜 냄새 맡기 장치(sniffing port)를 통해 냄새를 검출하였다. GC 컬럼은 DB-wax (30 m×0.25 mm×0.25 µm; J&W Scientific)를 사용하였고, 오븐 온도는 40°C에서 5분간 유지시킨 후 8°C/분 속도로 200°C까지 올리고 200°C에서 10분간 유지하였다. 주입구 온도는 200°C, 검출기 온도는 250°C로 하였으며 운반기체(He)의 유속은 1.4 mL/분으로 하였다.

### Aroma extract dilution analysis (AEDA)

SAFE법으로 추출한 달래 향 활성 화합물의 상대적인 강도를 측정하기 위해 AEDA를 실시하였다. 달래의 추출액에 재증류한 다이클로로메테인을 넣어 단계적(2배수)으로 희석하였고 희석액 1 µL를 GC에 주입한 후 냄새 맡기 장치에서 감지되는 향 활성 화합물의 머무름 시간을 기록하였다. 위 과정을 냄새가 나지 않을 때까지 행하여 향 희석(flavor dilution, FD) 계수를 구하였고 이것을 향 활성 화합물의 상대적인 강도로 하였다. 달래에서 GC-O로 감지된 향 특성을 크게 7가지 (earthy, green, nutty, pungent, sulfurous, unpleasant 및 vinegar)로 분류하고 각각의 향 특성을 갖는 향 활성 화합물의 향 희석 계수(log<sub>2</sub>FD)를 합산하여 스파이더 웹을 작성하였다.

### 휘발성 향기성분의 동정 및 정량

휘발성 향기성분의 동정은 머무름 지수(retention index, RI)와 Wiley mass spectral database 9th with NIST08 (Agilent Co.)를 이용하였다. 또한 문헌상의 머무름 지수와 스펙트럼을 비교하여 휘발성 향기성분을 확인하였다. 휘발성 향기성분의 농도는 추출 시 내부표준물질로 사용한 1-octanol의 피크 면적 대비 동정된 휘발성 향기성분의 피크 면적을 피크 면적비로 하여 다음 식에 의해 정량 하였다. 이때 피크 면적비와 중량비의 상관계수(response factor)는 1이라고 가정하였다.

$$\text{농도}(\text{ng/g}) = \frac{\text{피크 면적비} \times 1\text{-octanol 중량}(\mu\text{g}) \times 1,000 \text{ ng}/\mu\text{g}}{\text{시료 중량}(\text{g})}$$

### 통계분석

본 실험에서 얻어진 결과는 SPSS 20 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA)을 이용하여 평균±표준편차로 나타내었으며 군간의 유의성은  $p < 0.05$  수준에서 t-test로 분석하였다.

## 결과 및 고찰

### 달래의 휘발성 성분

달래의 휘발성 성분을 분석하기 위해 SAFE를 통해 추출하고, GC-MS로 분석하였다. 달래에서 총 35종의 휘발성 성분이 동정되었다(Table 1). 휘발성 성분 함량은 노지 재배 달래가 4,557.2 ng/g이고 시설 재배 달래가 4,037.4 ng/g이었으며, 알데하이드류와 황 함유 화합물이 전체 휘발성 성분의 대부분을 차지하였다. 그 밖에 알코올류, 케톤류, 피라진류와 기타 화합물이 동정되었다(Fig. 1).

노지 및 시설 재배 달래에서 공통적으로 동정된 알데하이드류 휘발성 성분은 pentanal (no. 6), 2-butenal (no. 7), hexanal (no. 8), 2-methyl-2-butenal (no. 9), 2-methyl-2-pentenal (no. 10), 2-hexenal (no. 11) 및 (*E,E*)-2,4-heptadienal (no. 13)이었다. 이 중 2-methyl-2-pentenal은 달래의 주된 휘발성 성분으로 노지와 시설 재배 달래에서 각각 2,517.4와 1,900.4 ng/g 존재하였으며, 2-methyl-2-butenal은 각각 962.7과 869.0 ng/g 존재하였다. 달래에서 높은 함량으로 동정된 2-methyl-2-pentenal과 2-methyl-2-butenal은 lachrymatory factor (최루요소)라고 불리는 propanethial S-oxide로부터 생성되며, 양파의 매운 향에 기여하는 휘발성 성분이다(Bolens 등, 1971). 2-Methyl-2-pentenal은 propanethial S-oxide가 분해되어 생성된 propanal 두 분자가 aldol 반응을 거치며 형성되고, 2-methyl-2-butenal은 propanal과 acetaldehyde의 aldol 반응에 의해 형성된다고 알려져 있다(Bacon 등, 1999; Chung, 2010; Mondy 등, 2002; Oh 등, 2012).

황 함유 화합물은 dimethyl disulfide (no. 18), 2,5-dimethylthiophene (no. 19), 2,4-dimethylthiophene (no. 20), (*Z*)-1-propenyl methyl disulfide (no. 21), (*E*)-1-propenyl methyl disulfide (no. 22), dipropyl disulfide (no. 23), dimethyl trisulfide (no. 24), (*Z*)-1-propenyl propyl disulfide (no. 25), (*E*)-1-propenyl propyl disulfide (no. 26), dipropyl trisulfide (no. 27) 그리고 (*E*)-1-propenyl propyl trisulfide (no. 28)가 공통적으로 동정되었으며, 이 중 (*E*)-1-propenyl propyl trisulfide는 노지와 시설 재배 달래에서 각각 93.7과 219.6 ng/g 존재하였다. 이러한 황 함유 화합물은 *Allium*속 채소의 향 특성에 크게 기여한다고 알려져 있으며, 채소 내에 존재하는 향미 전구물질에 의해 생성된다(Brodnitz와 Pascale, 1971; Ferary와 Auger, 1996; Schreyen 등, 1976; Boscher 등, 1995).

피라진류는 2-isopropyl-3-methoxypyrazine (no. 16)과 2-*sec*-butyl-3-methoxypyrazine (no. 17)이 공통적으로 동정되었다. Buttery 등(1969, 1973)과 Luning 등(1995)에 의하면 2-isopropyl-3-methoxypyrazine과 2-*sec*-butyl-3-methoxypyrazine은 신선한 피망과 구운 감자에서 흙 냄새와 같은 향 특성을 부여하며 냄새 문턱값(odor threshold value)이 매우 낮아, 미량 존재하는 경우에도 식품의 향 특성에 크게 기여한다고 보고하였다. 이는 다른 *Allium*속 채소에서는 동정된 바 없는 화합물로, 달래의 특징적인 향에 기여하는 주요 휘발성 향기성분인 것으로 생각된다.

케톤류는 3-hexanone (no. 14)와 3-hydroxy-2-butanone (no. 15)가 공통적으로 존재하였고, 알코올류는 1-pentanol (no. 1), 1-hexanol (no. 3), (*Z*)-3-hexen-1-ol (no. 4) 그리고 2-ethyl-1-hexanol (no. 5)이 공통적으로 존재하였다.

노지 재배 달래에서는 총 34종의 휘발성 성분이 동정되었다. 그룹별로 보면, 알데하이드류 8종(3,819.6 ng/g), 황 함유 화합물 11종(343.6 ng/g), 피라진류 2종(121.5 ng/g), 케톤류 2종(105.4 ng/g), 알코올류 4종(72.5 ng/g), 터펜류 2종(12.0 ng/g) 그리고 기타 화합물 5종(82.6 ng/g)이 검출되었고, 알데하이드류의 함량이 가장 높

았다. 단일 화합물로는 2-methyl-2-pentenal (2,517.4 ng/g), 2-methyl-2-butenal (962.7 ng/g) 그리고 hexanal (136.6 ng/g)의 함량이 높았다.

시설 재배 달래에서는 총 32종의 휘발성 성분이 동정되었다. 그룹별로 보면, 알데하이드류 7종(3,071.1 ng/g), 황 함유 화합물 11종(342.6 ng/g), 케톤류 2종(98.9 ng/g), 알코올류 5종(95.2 ng/g), 피라진류 2종(94.6 ng/g), 그리고 기타 화합물 5종(335.0 ng/g)이 동정되었고, 알데하이드류의 함량이 가장 높았다. 단일 화합물로는 2-methyl-2-pentenal이 1,900.4 ng/g, 2-methyl-2-butenal이 869.0 ng/g 그리고 benzaldehyde가 276.8 ng/g 순으로 높은 함량을 보였다.

### 달래의 향 활성 화합물

달래의 향 활성 화합물을 알아보기 위해 GC-O로 AEDA를 실시하였고 그 결과는 Table 2에 나타났다. 달래에서 총 22종의 향 활성 화합물이 감지되었고, 이 중 13종(알데하이드류 3종, 피라진류 2종과 황 함유 화합물 8종)의 화합물이 동정되었다.

그룹별로 보면 알데하이드류는 2-butenal (no. 7, 땀 냄새), hexanal (no. 9, 풀 향) 및 2-methyl-2-pentenal (no. 10, 풀 또는 양파의 매운 향)이 동정되었다. 이 중에서 향 강도를 의미하는 log<sub>2</sub>FD 값이 4-6범위로 강하게 감지된 화합물은 2-methyl-2-pentenal이었다. 이 화합물은 햇 양파의 신선한 향 특성에 영향을 미치는 향기성분으로 알려져 있으며(Chung, 2010), 달래의 매운 향에 기여하는 향 활성 화합물로 판단된다. 이 외에 hexanal 과 2-butenal은 log<sub>2</sub>FD 값 1-3범위로 비교적 약하게 감지되었다.

피라진류에서는 2-isopropyl-3-methoxypyrazine (no. 16, 흙 냄새) 및 2-*sec*-butyl-3-methoxypyrazine (no. 17, 흙 냄새)이 동정되었다. 이 화합물들은 달래의 씹쓸하고 매운 향 특성에 중요한 역할을 하는 향 활성 화합물이며, 전체 향 활성 화합물 중에서 log<sub>2</sub>FD 값이 10으로 가장 강하게 감지되었다. 이 두 화합물의 냄새 문턱 값(odor threshold value)은 각각 0.32-2.29 및 1 pg/g으로 매우 낮기 때문에 적은 함량으로도 강한 향을 낼 수 있으며 피망, 감자 및 생 땅콩 등에서 흙 냄새와 같은 향 특성에 기여한다고 보고된 바 있다(Neta 등, 2008; Pickering 등, 2007; Wagner 등, 1999).

황 함유 화합물은 dimethyl disulfide (no. 18, 황 또는 양배추 향), (*Z*)-1-propenyl methyl disulfide (no. 21, 신선한 리크 향), (*E*)-1-propenyl methyl disulfide (no. 22, 황 또는 마늘 향), dipropyl disulfide (no. 23, 황 또는 마늘 향), dimethyl trisulfide (no. 24, 양파 향), (*E*)-1-propenyl propyl disulfide (no. 26, 신선한 양파 또는 풀 향), dipropyl trisulfide (no. 27, 고기 또는 마늘 향) 그리고 (*E*)-1-propenyl propyl trisulfide (no. 28, 절인 양파 향)가 동정되었다. 이 중에서 dipropyl disulfide는 log<sub>2</sub>FD 값이 9로 가장 강하게 감지되었으며 dimethyl trisulfide, (*E*)-1-propenyl propyl disulfide 및 dipropyl trisulfide는 log<sub>2</sub>FD 값이 5-7 범위로 강하게 감지되었다. Dipropyl disulfide와 dipropyl trisulfide는 산달래의 향 특성에 중요한 황 함유 화합물이며(Hashimoto 등, 1984), dimethyl trisulfide는 *Allium*속 채소에서 흔히 발견되는 화합물로서 양파 향 특성을 갖는 것으로 알려져 있다(Abe 등, 2020; Koutidou 등, 2017; Nielsen과 Poll, 2004).

결론적으로 달래의 향 활성 화합물 중 가장 강하게 감지되었던 dipropyl disulfide, 2-isopropyl-3-methoxypyrazine과 2-*sec*-butyl-3-methoxypyrazine은 달래의 향 특성에 중요한 향 활성 화합물이었다. 특히 2-isopropyl-3-methoxypyrazine 및 2-*sec*-butyl-3-methoxypyrazine은 달래의 흙냄새에 기여하는 특징적인 향 활성 화합물이었다. 이 외에도 달래의 향에 영향을 주는 화합물로서 dimethyl trisulfide, (*E*)-1-propenyl propyl disulfide 및 dipropyl trisulfide가 확인되었다.

**Table 1.** Volatile compounds identified in Korean wild chive cultivated in an open-field or a greenhouse

No	RI <sup>1)</sup>	Compound name	Sig <sup>2)</sup>	Concentration (ng/g) <sup>3)</sup>		Identification
				Open-field	Greenhouse	
<b>Alcohol</b>						
1	1252	1-pentanol	*	24.3±1.3	13.2±1.5	MS <sup>5)</sup> /RI <sup>6)</sup>
2	1349	1-methoxy-2-butanol		ND <sup>4)</sup>	45.9±0.2	MS/RI
3	1353	1-hexanol	*	6.6±0.7	12.4±0.8	MS/RI
4	1380	(Z)-3-hexen-1-ol	*	10.4±0.7	3.6±0.2	MS/RI
5	1487	2-ethyl-1-hexanol	*	31.2±1.5	20.1±1.1	MS/RI
		Subtotal		72.5±2.2	95.2±2.0	
<b>Aldehyde</b>						
6	902	pentanal		17.1±0.7	16.8±2.9	MS/RI
7	1037	2-butenal		94.1±9.5	88.3±3.0	MS/RI/O <sup>7)</sup>
8	1081	hexanal		136.6±6.3	144.8±8.2	MS/RI
9	1093	2-methyl-2-butenal	*	962.7±39.2	869.0±14.8	MS/RI
10	1157	2-methyl-2-pentenal	*	2,517.4±75.2	1,900.4±174.2	MS/RI/O
11	1223	2-hexenal		46.8±2.8	43.8±7.8	MS/RI
12	1345	2-methyl heptanal		35.0±2.3	ND	MS/RI
13	1502	(E,E)-2,4-heptadienal		9.9±1.0	8.0±0.3	MS/RI
		Subtotal		3,819.6±85.7	3,071.1±175.2	
<b>Ketone</b>						
14	1051	3-hexanone		4.1±0.8	3.7±0.3	MS/RI
15	1289	3-hydroxy-2-butanone		101.3±7.0	95.2±0.9	MS/RI
		Subtotal		105.4±7.0	98.9±0.9	
<b>Pyrazine</b>						
16	1438	2-isopropyl-3-methoxypyrazine	*	19.1±0.8	5.5±1.8	MS <sup>5)</sup> /RI <sup>6)</sup> /O <sup>7)</sup>
17	1509	2-sec-butyl-3-methoxypyrazine		102.4±22.1	89.1±6.0	MS/RI/O
		Subtotal		121.5±22.1	94.6±6.3	
<b>Sulfur-containing</b>						
18	1072	dimethyl disulfide	*	20.6±2.5	13.4±0.8	MS/RI/O
19	1192	2,5-dimethylthiophene		13.6±0.2	17.8±1.6	MS/RI
20	1257	2,4-dimethylthiophene	*	84.5±5.6	15.3±12.3	MS/RI
21	1269	(Z)-1-propenyl methyl disulfide		12.4±7.7	7.9±0.7	MS/RI/O
22	1294	(E)-1-propenyl methyl disulfide	*	31.7±2.4	19.0±1.0	MS/RI/O
23	1386	dipropyl disulfide		10.7±9.2	2.2±0.4	MS/RI/O
24	1392	dimethyl trisulfide		23.4±2.1	20.7±1.8	MS/RI/O
25	1422	(Z)-1-propenyl propyl disulfide	*	7.4±0.5	2.8±0.5	MS/RI
26	1446	(E)-1-propenyl propyl disulfide	*	38.2±1.8	19.0±2.6	MS/RI/O
27	1688	dipropyl trisulfide		7.4±0.6	4.7±1.2	MS/RI/O
28	1800	(E)-1-propenyl propyl trisulfide	*	93.7±2.1	219.8±21.5	MS/RI/O
		Subtotal		343.6±14.1	342.6±25.1	
<b>Terpene</b>						
29	1670	isoborneol		3.8±0.7	ND <sup>4)</sup>	MS/RI
30	1953	β-ionone		8.2±2.1	ND	MS/RI
		Subtotal		12.0±2.2	0.0±0.0	
<b>Miscellaneous</b>						
32	1536	benzaldehyde		27.1±4.2	276.8±97.7	MS <sup>5)</sup> /RI <sup>6)</sup>
33	1728	1,2-dimethoxy-benzene		20.4±12.5	24.2±1.2	MS/RI
34	1939	(3H)-dihydro-5-pentyl-2-furanone		2.7±0.4	0.7±0.2	MS/RI
35	2307	2,4-di-tert-butylphenol	*	20.2±1.9	10.1±2.3	MS/RI
		Subtotal		70.4±13.3	311.8±97.7	MS/RI
Total				4,557.2±90.9	4,037.4±202.3	

<sup>1)</sup>Retention indices were determined on DB-wax using C<sub>7</sub>-C<sub>22</sub> as external reference.

<sup>2)</sup>\*, statistically significant difference ( $p < 0.05$ ) among samples in a row.

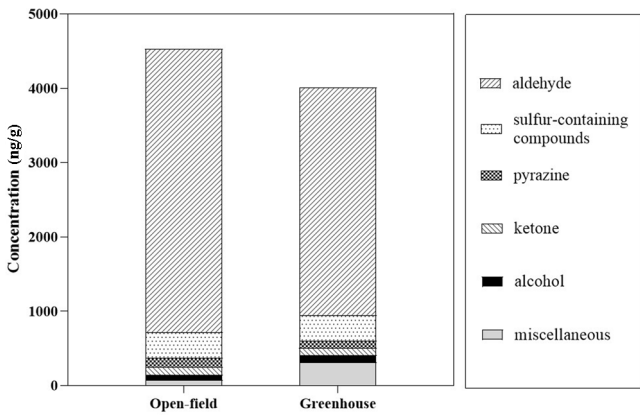
<sup>3)</sup>Mean±standard deviation.

<sup>4)</sup>Not detected.

<sup>5)</sup>Mass spectrum.

<sup>6)</sup>Retention index.

<sup>7)</sup>Odor



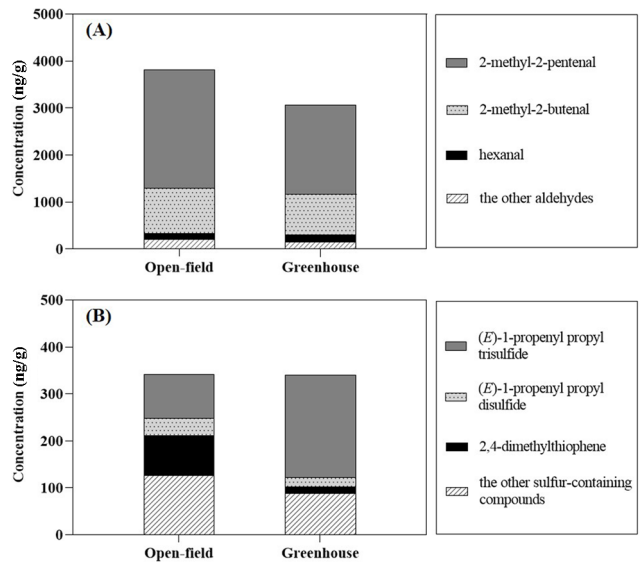
**Fig. 1. Comparison of volatile flavor compounds detected in Korean wild chive cultivated in an open-field or a greenhouse.**

**노지 재배와 시설 재배 달래의 휘발성 성분 비교**

노지재배와 시설재배 달래의 휘발성 성분을 비교하였다. 달래 휘발성 성분의 대부분을 차지하는 알데하이드류는 노지 재배 달래(3,819.6 ng/g)가 시설 재배 달래(3,071.1 ng/g)보다 함량이 높았다(Fig. 2A). 알데하이드류 중 가장 함량이 높았던 2-methyl-2-butenal과 2-methyl-2-pentenal은 노지 재배 달래(2,517.4와 962.7 ng/g)에서 시설 재배 달래(1,900.4과 869.0 ng/g)보다 높은 함량을 보였다( $p < 0.05$ ). 다음으로 함량이 높았던 hexanal은 시설 재배 달래(144.8 ng/g)에서 노지 재배 달래(136.6 ng/g)보다 높은 함량을 보였지만 유의적인 차이는 없었다.

황 함유 화합물은 알데하이드류 다음으로 높은 함량을 보였는데 노지 재배 달래와 시설 재배 달래에서 각각 343.6과 342.6 ng/g로 함량이 비슷하였다(Fig. 2B). (E)-1-Propenyl propyl trisulfide는 시설 재배 달래(219.8 ng/g)에서 노지 재배 달래(93.7 ng/g)보다 높은 함량으로 검출되었고, 2,4-dimethylthiophene와 (E)-1-propenyl propyl disulfide는 모두 노지 재배 달래(84.5와 38.2 ng/g)에서 시설 재배 달래(15.3과 19.0 ng/g)보다 함량이 높았다( $p < 0.05$ ). 이 중 2,4-dimethylthiophene은 열 또는 자외선 조사에 의해 1-methyl propenyl disulfide와 1-propenyl propyl disulfide가 dimethylthiophene으로 전환되며 형성된다(Boelens 등, 1971). 생 양파와 열처리된 양파에서 모두 동정되는 화합물로 리크에서 양파 향 또는 풀 향을 부여하는 화합물이라고 보고되어 있다(Nielsen과 Poll, 2004).

달래의 황 함유 화합물은 propenyl-, propyl- 및 methyl-기를 갖는 di- 및 trisulfide류 화합물로 구성되어 있었고 재배 환경에 따라 6종의 화합물(dimethyl disulfide, 2,4-dimethylthiophene, (E)-1-propenyl methyl disulfide, (Z)-1-propenyl propyl disulfide, (E)-1-propenyl propyl disulfide 및 (E)-1-propenyl propyl trisulfide)이 함량의 차이를 보였다( $p < 0.05$ ). Lanzotti (2006)는 propanethial S-oxide에 의해 생성된 thiosulfinate가 자연상태에서 분해되어 di- 및 trisulfide류 화합물이 형성된다고 하였고, propanethial S-oxide의 양은 향미 전구체인 ACSO의 함량과 밀접한 관련이 있다고 보고하였다. Coolong과 Randle(2003)에 따르면, 재배환경이 다른 양파 6종의 휘발성 화합물을 비교하였을 때, 황 함유 화합물의 함량이 재배 환경에 따라 차이를 보인다고 하였으며, ACSO가 환경적인 요인에 의해 합성효율이 달라지면서 이러한 차이가 생겼을 것이라고 서술하였다. 또한 재배 지역의 기온이 높을수록 (Liguori 등, 2017), 재배 시 물 공급이 감소할수록(Randle, 1997) *Allium*속 채소의 2-methyl-2-pentenal, di- 및 trisulfide류 화합물의



**Fig. 2. Comparison of aldehydes (A) and sulfur-containing compounds (B) in Korean wild chive cultivated in an open-field or a greenhouse.**

함량과 향 강도가 증가한다고 알려져 있다. 따라서 본 연구에서도 재배 환경의 영향으로 인해 달래의 황 함유 화합물 함량이 차이를 보인 것으로 생각된다.

피라진류 2-isopropyl-3-methoxypyrazine 및 2-sec-butyl-3-methoxypyrazine의 함량은 노지 재배 달래(19.1과 102.4 ng/g)에서 시설 재배 달래(5.5와 89.1 ng/g)보다 높게 나타났다.

그 밖에 알코올류 화합물 중에서 가장 높은 함량을 보인 2-ethyl-1-hexanol은 *Allium*속 채소에서 휘발성 향기성분으로 동정된 바 있으며(Cozzolino 등, 2021; Hashimoto 등, 1984; Koutidou 등, 2017; Oh 등, 2014; Schmitt 등, 2005), 노지 재배 달래(31.2 ng/g)에서 시설 재배 달래(20.1 ng/g)보다 유의적으로 높은 함량을 보였다( $p < 0.05$ ). 케톤류 중에서 3-hydroxy-2-butanone은 신선한 마늘(Shin 등, 2000)의 휘발성 화합물로 보고된 바 있으며 노지 재배 달래(101.3 ng/g)에서 시설 재배 달래(95.2 ng/g)보다 높은 함량으로 검출되었다. 테펜류 화합물은 노지 재배 달래(12.0 ng/g)에서만 미량 동정되었는데,  $\beta$ -ionone은 *Allium roseum* (장미 부추)의 추출물에서 동정된 바 있다(Khanavi 등, 2004). 기타 화합물 중에서 benzaldehyde는 시설 재배 달래(276.8 ng/g)에서 노지 재배 달래(27.1 ng/g)보다 현저히 높은 함량을 보였는데, 이 화합물은 락고(*Allium chinense*)와 동양마늘(*Allium tuberosum*)의 휘발성 화합물 중에서 두 품종 간의 향 특성을 식별할 수 있는 지표물질로 보고되어 있다(Kusano 등, 2016).

**노지 재배와 시설 재배 달래의 향 특성 비교**

노지재배와 시설재배 달래의 향 특성을 비교하기 위해 달래에서 동정된 22종의 향 활성 화합물(Table 2) 향 특성에 따라 7가지(earthy, green, nutty, pungent, sulfurous, unpleasant, vinegar)로 분류하였고, 향 강도를 의미하는 log<sub>10</sub>FD 값을 합산하여 그 결과를 스파이더 웹으로 나타냈다(Fig. 3). 달래의 7가지 향 특성 중 sulfurous 향 특성이 가장 강하게 감지되었다. 이어서 earthy 그리고 pungent 향 특성 순으로 강하게 감지되었다. Pungent 향 특성은 노지 재배 달래에서 더 강한 특성을 보였다.

Earthy 향 특성(흙 냄새 또는 피망 향)에 기여하는 향 활성 화

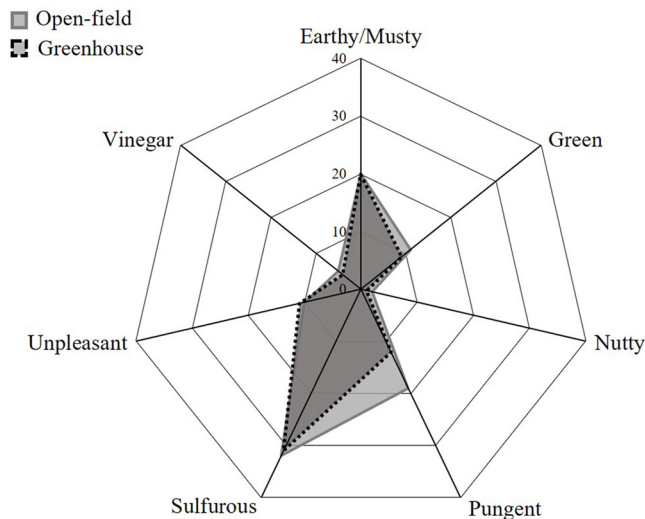
**Table 2.** Aroma-active compounds identified from Korean wild chive cultivated in an open-field or a greenhouse

No	RI <sup>1)</sup>	Compound name	Odor description	log <sub>2</sub> FD <sup>2)</sup>	
				Open-field	Greenhouse
7	900	2-butenal	sweaty	2	1
A	1049	unknown	nutty	2	1
B	1050	unknown	cabbage	ND <sup>3)</sup>	1
18	1072	dimethyl disulfide	sulfurous, cabbage	4	2
9	1081	hexanal	green	3	3
10	1157	2-methyl-2-pentenal	green, pungent	6	4
C	1201	unknown	rotten cabbage	5	5
D	1208	unknown	cooked onion	3	4
E	1225	unknown	rancid	3	3
21	1269	(Z)-1-propenyl methyl disulfide	fresh leek	6	3
F	1272	unknown	green	2	3
22	1294	(E)-1-propenyl methyl disulfide	sulfurous, garlic	2	2
23	1386	dipropyl disulfide	sulfurous, garlic	9	9
24	1392	dimethyl trisulfide	onion-like	7	6
16	1438	2-isopropyl-3-methoxypyrazine	earthy, pea-like	10	10
26	1446	(E)-1-propenyl propyl disulfide	fresh onion, green	7	5
17	1509	2-sec-butyl-3-methoxypyrazine	earthy, musty	10	10
G	1532	unknown	fried onion	2	ND
27	1688	dipropyl trisulfide	meaty, garlic	6	6
H	1777	unknown	fruity	6	3
28	1800	(E)-1-propenyl propyl trisulfide	sour, onion	3	4
I	1821	unknown	fried onion	1	3

<sup>1)</sup>Retention indices were determined on DB-wax using C<sub>7</sub>-C<sub>22</sub> as external reference.

<sup>2)</sup>FD: flavor dilution.

<sup>3)</sup>ND: not detected.



**Fig. 3.** Aroma spider webs of Korean wild chive cultivated in an open-field or a greenhouse.

합물은 2종으로 2-isopropyl-3-methoxypyrazine (no. 16, log<sub>2</sub>FD=10) 과 2-sec-butyl-3-methoxypyrazine (no. 17, log<sub>2</sub>FD=10)이 동정되었

다. 이 화합물들은 달래의 흙냄새에 기여하는 특징적인 향 활성 화합물이었으며, 전체 향 활성 화합물 중에서 가장 강하게 감지되었다.

Sulfurous 향 특성(양파 또는 마늘 향)에 기여하는 화합물은 8종이 감지되었고, 이 중 4종의 화합물이 동정되었다. 동정된 화합물은 dimethyl disulfide (no. 18), dipropyl disulfide (no. 23), dimethyl trisulfide (no. 24) 및 dipropyl trisulfide (no. 27)였다. Dipropyl disulfide (log<sub>2</sub>FD=9)와 dipropyl trisulfide (log<sub>2</sub>FD=6)는 모든 달래에서 동일한 수준으로 강하게 감지되었고, dimethyl disulfide와 dimethyl trisulfide는 노지 재배 달래(log<sub>2</sub>FD=4와 7)에서 시설 재배 달래(log<sub>2</sub>FD=2와 6) 보다 강하게 감지되었다.

Pungent 향 특성(자른 양파의 매운 향)에 기여하는 화합물은 3종이 동정되었다. 동정된 화합물은 2-methyl-2-pentenal (no. 10), (Z)-1-propenyl methyl disulfide (no. 21) 및 (E)-1-propenyl propyl disulfide (no. 26)였는데, 이 중 (Z)-1-propenyl methyl disulfide와 (E)-1-propenyl propyl disulfide는 리크, 양파 및 쪽파에서 자른 양파와 같이 매운 향 특성을 부여하는 화합물로 알려져 있다(Wang 등, 2008; Oh 등, 2014; Nielsen 과 Poll, 2004). 이 화합물들은 노지 재배 달래(log<sub>2</sub>FD=6)에서 시설 재배 달래(log<sub>2</sub>FD=4, log<sub>2</sub>FD=3 그리고 log<sub>2</sub>FD=5)보다 강하게 감지되었다.

Green 향 특성(풀 향)에 기여하는 화합물은 3종이 감지되었고, 1종의 화합물이 동정되었다. 동정된 화합물은 hexanal (no. 8)이

었는데, 달래와 두메 부추의 풀 냄새에 기여하는 주요한 화합물로 보고된 바 있다(Oh 등, 2014; Chung, 2010). 이 화합물은 노지 및 시설 재배 달래에서  $\log_2$ FD값이 3으로 감지되었다.

Unpleasant 향 특성(절인 채소 또는 양배추 냄새)에 기여하는 화합물은 3종 감지되었고, 2종의 화합물이 동정되었다. 동정된 화합물은 (*E*)-1-propenyl propyl trisulfide (no. 28)와 (*E*)-1-propenyl methyl disulfide (no. 22)이었으며, *Allium*속 채소에서 부정적인 향 특성을 갖는 물질로 알려져 있다(Nielsen과 Poll, 2004). (*E*)-1-Propenyl propyl trisulfide와 (*E*)-1-propenyl methyl disulfide의  $\log_2$ FD값은 2-4범위로 비교적 약하게 감지되었지만, 달래의 향미 특성에 영향을 줄 수 있는 중요한 향 활성 화합물로 판단된다. 이 화합물들은 시설 재배 달래( $\log_2$ FD=4와 2)에서 노지 재배 달래( $\log_2$ FD=3과 2)보다 강하게 감지되었다.

이 외에 vinegar 향 특성(식초 냄새 또는 땀 냄새)에 해당하는 화합물 2종(2-butenal 및 unknown E)과 nutty 향 특성에 해당하는 화합물 1종(unknown A)은  $\log_2$ FD값이 3 이하로 약하게 감지되었다.

결론적으로 달래의 향 특성은 재배 환경에 따라 차이를 보였다. 노지 재배 달래가 시설 재배 달래에 비해 전반적인 향 강도가 강했으며, 향 활성 화합물이 더 높은 농도로 존재하였다. 특히 신선하고 긍정적인 양과 향에 기여하는 3종의 화합물(2-methyl-2-pentenal, (*Z*)-1-propenyl methyl disulfide 및 (*E*)-1-propenyl propyl disulfide)의 향 강도가 노지 재배 달래에서 높게 나타났고, *Allium*속 채소에서 이취로 작용할 수 있는 (*E*)-1-propenyl propyl trisulfide의 향 강도는 시설 재배 달래에서 높게 나타났다.

## 요 약

본 연구에서는 달래의 특징적인 향 특성을 확인하기 위해 봄에 수확한 노지 재배 달래와 시설 재배 달래를 SAFE법으로 추출하고 GC-MS-O를 통해 휘발성 향기성분을 분석하였다. 달래는 알데하이드류와 황 함유 화합물의 함량이 높았으며, 휘발성 성분으로는 2-methyl-2-pentenal, 2-methyl-2-butenal 및 (*E*)-1-propenyl propyl trisulfide의 함량이 높았다.

달래의 향 특성에 기여하는 주요한 향 활성 화합물은 2-methyl-2-pentenal, (*Z*)-1-propenyl methyl disulfide, dipropyl disulfide, dimethyl trisulfide, (*E*)-1-propenyl propyl disulfide, dipropyl trisulfide, (*E*)-1-propenyl propyl trisulfide, 2-isopropyl-3-methoxypyrazine 및 2-*sec*-butyl-3-methoxypyrazine으로 총 9종이 확인되었다. 2-Isopropyl-3-methoxypyrazine와 2-*sec*-butyl-3-methoxypyrazine은 달래의 흙 냄새에 기여하는 화합물로 가장 강한 향 강도를 보였다. Dipropyl disulfide, dimethyl trisulfide 및 dipropyl trisulfide는 달래의 양파 및 마늘과 같은 향 특성에 기여하는 화합물로 향 강도가 피라진류 다음으로 강했고, 노지 재배 달래에서 시설 재배 달래보다 더 강하게 감지되었다. 2-Methyl-2-pentenal, (*Z*)-1-propenyl methyl disulfide 및 (*E*)-1-propenyl propyl disulfide는 달래에서 자른 양파와 같은 매운 향 특성에 기여하는 화합물로 노지 재배 달래에서 더 높은 함량과 강도를 보였다. (*E*)-1-Propenyl propyl trisulfide 와 (*E*)-1-propenyl methyl disulfide은 절인 야채 및 양배추 냄새에 기여하는 화합물로서 노지 재배 달래에서 낮은 함량과 향 강도를 보였다.

## 감사의 글

본 연구는 본 논문은 농촌진흥청 연구사업(과제번호: PJ01528101)의 지원에 의해 이루어졌으며 이에 감사드립니다.

## References

- Abe K, Hori Y, Myoda T. Characterization of key aroma compounds in aged garlic extract. *Food Chem.* 312: 126081 (2020)
- Ahn EM, Jang TH, Baek NI. Development of biologically active compounds from edible plant sources-III. Isolation of flavonoid-glycoside from the *Allium monanthum* Max. *Appl. Biol. Chem.* 43: 314-316 (2000)
- Ariyama K, Nishida T, Noda T, Kadokura M, Yasui A. Effects of fertilization, crop year, variety, and provenance factors on mineral concentrations in onions. *J. Agric. Food Chem.* 54: 3341-3350 (2006)
- Bacon JR, Moates GK, Ng A, Rhodes MJC, Smith AC, Waldron KW. Quantitative analysis of flavour precursors and pyruvate levels in different tissues and cultivars of onion (*Allium cepa*). *Food Chem.* 64: 257-261 (1999)
- Boelens M, de Valois PJ, Wobben HJ, van der Gen A. Volatile flavor compounds from onion. *J. Agric. Food Chem.* 19: 984-991 (1971)
- Boscher J, Auger J, Mandon N, Ferary S. Qualitative and quantitative comparison of volatile sulphides and flavour precursors in different organs of some wild and cultivated garlics. *Biochem. Syst. Ecol.* 23: 787-791 (1995)
- Brodnitz, MH, Pascale JV. Thiopropanal S-oxide: a lachrymatory factor in onions. *J. Agric. Food Chem.* 19: 269-272 (1971)
- Buttery RG, Guadagni DG, Ling LC. Volatile components of baked potatoes. *J. Agric. Food Chem.* 24: 1125-1131 (1973)
- Buttery RG, Seifert RM, Guadagni DG, Ling LC. Characterization of some volatile constituents of bell peppers. *J. Agric. Food Chem.* 17: 1322-1327 (1969)
- Carson JF, Wong FF. The volatile flavor components of onions. *J. Agric. Food Chem.* 9: 140-143 (1961)
- Chetschik I, Granvogel M, Schieberle P. Comparison of the key aroma compounds in organically grown, raw West-African peanuts (*Arachis hypogaea*) and in ground, pan-roasted meal produced thereof. *J. Agric. Food Chem.* 56: 10237-10243 (2008)
- Chung MS. Volatile compounds of the cultivated dumebuchu (*Allium senescens* L. var. *senescens*). *Food Sci. Biotechnol.* 19: 1679-1682 (2010)
- Coolong TW, Randle WM. Temperature influences flavor intensity and quality in Granex 33' onion. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 128: 176-181 (2003)
- Cozzolino R, Malorni L, Martignetti A, Picariello G, Siano F, Forte G, De Giulio B. Comparative analysis of volatile profiles and phenolic compounds of four Southern Italian onion (*Allium cepa* L.) landraces. *J. Food Compos. Anal.* 103990 (2021)
- Ferary S, Auger J. What is the true odour of cut *Allium*? Complementarity of various hyphenated methods: Gas chromatography-mass spectrometry and high-performance liquid chromatography-mass spectrometry with particle beam and atmospheric pressure ionization interfaces in sulphenic acids rearrangement components discrimination. *J Chromatogr. A.* 750: 63-74 (1996)
- Hashimoto S, Miyazawa M, Kameoka H. Volatile flavour components of *Allium grayi* Regel. *J. Sci. Food Agric.* 35: 353-356 (1984)
- Khanavi M, Hadjiakhoondi A, Amin G, Amanzadeh Y, Rustaiyan A, Shafiee A. Comparison of the volatile composition of stachys persica Gmel. and stachys byzantina C. Koch. oils obtained by hydrodistillation and steam distillation. *Z. Naturforsch. C.* 59: 463-467 (2004)
- Kim KM, Park SK, Kim CK, Oh JY. Characteristics of natural habitats to *Allium monanthum* in South Korea. *Korean J. Breed. Sci.* 42: 381-389 (2010)
- Koutidou M, Grauwet T, Van Loey A, Acharya P. Impact of processing on odour-active compounds of a mixed tomato-onion puree. *Food Chem.* 228: 14-25 (2017)
- Kusano M, Kobayashi M, Iizuka Y, Fukushima A, Saito K. Unbiased profiling of volatile organic compounds in the headspace of *Allium* plants using an in-tube extraction device. *BMC Res. Notes.* 9: 1-12 (2016)
- Kwon OC, Woo KS, Kim TM, Kim DJ, Hong JT, Jeong HS. Physicochemical characteristics of garlic (*Allium sativum* L.) on the

- high temperature and pressure treatment. Korean J. Food Sci. Technol. 38: 331-336 (2006).
- Landshuter J, Lohmüller EM, Knobloch K. Purification and characterization of a CS-lyase from ramson, the wild garlic, *Allium ursinum*. Planta. medica. 60: 343-347 (1994)
- Lanzotti V. The analysis of onion and garlic. J. Chromatogr. A. 1112: 3-22 (2006)
- Lee TB. Coloured flora of Korea. Hayangmunsa, Seoul, Korea. pp. 701-707 (2003)
- Lee HY, Jeong EJ, Jeon SY, Cho MS, Cho WJ, Kim HD, Cha YJ. Comparison of volatile flavor compounds of domestic onions harvested in various regions. J. Korean Soc. Food Sci. Nutr. 37: 1609-1614 (2008)
- Lee SN, Kim NS, Lee DS. Comparative study of extraction techniques for determination of garlic flavor components by gas chromatography-mass spectrometry. Anal. Bioanal. Chem. 377: 749-756 (2003)
- Liguori L, Califano R, Albanese D, Raimo F, Crescitelli A, Matteo MD. Chemical composition and antioxidant properties of five white onion (*Allium cepa* L.) landraces. J. Food Qual. 6873651. (2017)
- Luning PA, Carey AT, Roozen JP, Wichers HJ. Characterization and occurrence of lipoxygenase in bell peppers at different ripening stages in relation to the formation of volatile flavor compounds. J. Agric. Food Chem. 43: 1493-1500 (1995)
- Mondy N, Duplat D, Christides JP, Arnault I, Auger J. Aroma analysis of fresh and preserved onions and leek by dual solid-phase microextraction—liquid extraction and gas chromatography mass spectrometry. J. Chromatogr. A. 963: 89-93 (2002)
- Neta ERD, Miracle RE, Sanders TH, Drake MA. Characterization of alkylmethoxypyrazines contributing to earthy/bell pepper flavor in farmstead cheddar cheese. J. Food Sci. 73: 632-38 (2008)
- Nielsen GS, Poll L. Determination of odor active aroma compounds in freshly cut leek (*Allium ampeloprasum* var. Bulga) and in long-term stored frozen unblanched and blanched leek slices by gas chromatography olfactometry analysis. J. Agric. Food Chem. 52: 1642-1646 (2004)
- Oh M, Bae SY, Chung MS. Volatile compounds of essential oils from *Allium senescens* L. var. *senescens*. Korean J. Food Cook. Sci. 28: 143-148 (2012)
- Oh TS, Kim CH, Cho YK, Kim SM, Kim PH, Shin DI. *Allium monanthum* flavors, biological activity and characteristics according to collecting in different region. J. Korea Acad. Coop. Soc. 15: 5176-5185 (2014)
- Pickering GJ, Karthik A, Inglis D, Sears M, Ker K. Determination of ortho- and retronasal detection thresholds for 2-isopropyl-3-methoxypyrazine in wine. J. Food Sci. 72: S468-S472 (2007)
- Randle WM. Onion flavor chemistry and factors influencing flavor intensity. pp. 41-52. In: Flavor chemistry and antioxidant properties. Risch SJ, Ho CT (ed). American Chemical Society, Washington, DC (1997)
- Ryu SS. Studies on traditional buddhist temple food 1. Kimchi in buddhist temple. Korean J. Food Nutr. 9: 516-520 (1996)
- Schmitt B, Schulz H, Storsberg J, Keusgen M. Chemical characterization of *Allium ursinum* L. depending on harvesting time. J. Agric. Food Chem. 53: 7288-7294 (2005)
- Schreyen L, Dirinck P, Van Wassenhove F, Schamp N. Volatile flavor components of leek. J. Agric. Food Chem. 24: 336-341 (1976)
- Shin D, Lee Y, Kim J. Changes in quality of garlic during frozen storage. Korean J. Food Sci. Technol. 32: 102-110 (2000)
- Sok DE, Kim MR, Lee KJ. Effect of sulfur compounds from fresh and fermented cruciferous vegetables on GST induction. Acta. Hort. 706: 159-166 (2004)
- Wagner R, Czerny M, Bielohradsky J, Grosch W. Structure-odour-activity relationships of alkylpyrazines. Z. Lebensm. Unters. Forch. 208: 308-316 (1999)
- Wang Y, Raghavan S, Ho CT. Process flavors of *Allium* vegetables. pp. 200-226. In: Fruit and vegetable flavour: Recent advances and future prospects. Brückner B, Wyllie SG. Woodhead Publishing, Cambridge, UK. (2008)
- Yoo KS, Pike LM. Determination of flavor precursor compound S-alk (en) yl-L-cysteine sulfoxides by an HPLC method and their distribution in *Allium* species. Sci. Hortic. 75: 1-10 (1998)