pISSN 1229-1153 / eISSN 2465-9223 *J. Food Hyg. Saf.*
Vol. 36, No. 6, pp. 537~545 (2021)
https://doi.org/10.13103/JFHS.2021.36.6.537

Journal of Food Hygiene and Safety
Available online at http://www.foodhygiene.or.kr

추출 방법에 따른 제주산 월동무(*Raphanus sativus* L.)의 향미 화합물 특성 비교 연구

홍성준[1] · 조성민[1] · 윤소정[1] · 정향연[1] · 이영승[2] · 박성수[3] · 송호수[4] · 신의철[1]*

[1]경상국립대학교 식품과학부, [2]단국대학교 식품영양학과
[3]제주대학교 식품영양학과, [4]영산대학교 조리예술학부

A Comparative Research of Taste and Odor Compounds Characteristics in Wintering Radish (*Raphanus sativus* L.) Produced in Jeju Island by Various Extraction Methods

Seong Jun Hong[1], Seong Min Jo[1], Sojeong Yoon[1], Hyangyeon Jeong[1], Youngseung Lee[2], Sung-Soo Park[3], Ho-Su Song[4], Eui-Cheol Shin[1]*

[1]*Department of Food Science, Gyeongsang National University, Jinju, Korea*
[2]*Department of Food Science and Nutrition, Dankook University, Cheonan, Korea*
[3]*Department of Food Science and Nutrition, Jeju National University, Jeju, Korea*
[4]*Division of Culinary Arts, Youngsan University, Busan, Korea*

(Received October 26, 2021/Revised November 23, 2021/Accepted November 30, 2021)

ABSTRACT - This study investigated the characteristics of taste and flavor in various wintering-radish extracts using electronic sensors. Sourness showed the highest sensor value (6.9) in hot brewed extracts of white radish part. Saltiness showed the highest sensor value (8.0) in cold brewed extracts of green radish part. Umami showed the highest sensor value (8.3) in hot brewed extracts of white radish part. Sweetness showed the highest sensor value (6.8) in cold brewed extracts of green radish part. Bitterness showed the highest sensor value (7.5) in espresso extracts of green radish part. A total of 16 volatiles were identified using electronic nose. Among these volatile compounds in radish extracts, methanethiol was found to be the predominant volatile compound. These sensory characteristics in radish extracts can be used as basic research data in the food industry.

Key words : Wintering-radish, Electronic tongue, Electronic nose, Taste, Flavor

무(*Raphanus sativus* L.)는 십자화과 채소류 중 하나이며, 한국, 중국, 일본, 그리고 미국에서 기원전 400년 전부터 재배되고 있다[1,2]. 국내에서 재배되는 무의 대부분은 제주에서 재배되고, 제주산 무는 파종시기와 수확시기에 따라 크게 봄무, 여름무(고랭지무), 가을무, 그리고 겨울무(월동무)로 분류된다[2]. 그 중 월동무는 9월 말부터 10월 초까지 파종하고, 12월부터 이듬해 4월까지 수확을 한다[3]. 국내에서 무의 이용은 주로 배추와 함께 김치의 재료로서 많이 이용되며, 국내 식생활에서 중요한 채소 중 하나로 인식되고 있다[4]. 무는 폴리페놀 화합물, 휘발성 아민류, 휘발성 황화합물, 플라보노이드 화합물, 식이섬유, 그리고 glucosinolates (GLS)와 같이 다양한 생리활성물질들을 함유하고 있고, 이뇨작용, 혈당조절, 니코틴 제거 작용, 소화불량 완화, 그리고 천식 완화와 같은 다양한 생체 기능 효과를 나타낸다[3,4]. 앞선 효과들로 인해 무 추출물에 대한 다양한 연구들이 보고되고 있다[5-8]. 하지만 무 추출물에 대한 향미 특성을 탐색하는 연구는 아직 부족한 실정이다.

무에 함유된 생리활성 물질 중 하나인 GLS는 인체 내 대사 건강에 도움을 줄 뿐만 아니라, 무의 향미 특성에도 관여하는 중요한 물질이다[2]. 한국에서 재배되는 무는 유럽 및 미국에서 재배되는 무에 비해 약 80% 이상 더 많

*Correspondence to: Eui-Cheol Shin, Department of Food Science, Gyeongsang National University, Jinju 52725, Korea
Tel: +82-55-772-3271, Fax: +82-55-772-3279
E-mail: eshin@gnu.ac.kr

Copyright © The Korean Society of Food Hygiene and Safety. All rights reserved. The Journal of Food Hygiene and Safety is an Open-Access journal distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution,and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

은 GLS 함량을 함유하고 있다. 이러한 GLS는 외부 에너지의 자극(분쇄용 강판), myrosinase와 같은 효소에 의한 분해, 그리고 열에 의해 분해되어 sulfide류, cyanate류, 그리고 isocyanate류와 같은 휘발성 함황 화합물로 전환된다[2,3,9]. 휘발성 함황 화합물은 무의 주요 향기성분으로 확인되고, 농도에 따라 이취를 나타낼 수 있다[2]. 또한 GLS의 분해로 인해 생성된 함황 화합물은 향기 특성 뿐만 아니라 맛 특성에 영향을 주는 향미 성분이다[10].

무의 맛과 향을 탐색하는 분석 방법으로 전자 혀와 전자코를 이용한 연구들이 보고 되어져 있다[2]. 전자 혀와 전자코는 인간의 감각을 모방하여 제작한 센서기기이며[11], 비파괴적인 분석방법으로 식품의 향미 특성을 탐색한다[12]. 그리고 패널테스트(panel test)를 통한 향미 특성 분석 방법보다 더욱 경제적이고 빠른시간 내에 분석이 가능하다[11,12]. 이에 본 연구에서는 전자센서 분석기기를 이용하여 추출방법에 따른 무 추출물의 맛 성분 및 향기 성분의 특성을 조사하였다.

Materials and Methods

실험재료

본 연구에서 사용한 무는 제주 지역에서 2020년 11월에 수확한 월동무를 이용하였고, 월동무의 품종은 청정고원무를 이용하였다. 월동무의 부위는 월동무가 나타내는 색깔에 따라 관능적 특성 차이가 있어 녹색부위와 흰색부위를 분리하여 실험을 진행하였다. 실험 전 부위별 월동무를 추출하기 위해 플라스틱 강판을 사용하여 슬러리(slurry) 상태의 시료를 이용하였다[2]. 슬러리 형태의 시료 15 g과 100 mL의 정제수를 열수 추출기(95°C, 15 min) (CM151GKR, Tefal Co., Haute-Savoie, France), 고온 가압 추출기(95°C, 20 s, 15 bar) (PCM-F18, Planit Co., Malvern, UK), 그리고 콜드브루 추출기(20°C, 3 h 30 min) (BP-DM-CS550, Hured Co., Anyang, Korea)를 이용하여 다양한 추출물들을 제조하였다. 추출물 제조 후 신선한 상태를 유지한 상태로 진행하고자 별도의 보관 과정 없이 전자혀 및 전자코를 이용하여 맛 성분 및 향기 성분을 분석하였다.

전자 혀 분석

부위별 무의 추출물들의 맛 성분을 분석하기 위해 전자혀 시스템(ASTREE II, Alpha MOS, Toulouse, France)을 사용하였고, 총 6회의 반복실험을 진행하였다. 전자 혀에 부착된 총 7개의 센서들 중 인간의 기본 5가지 맛과 관련된(UMS; umami, BRS; bitterness, STS; saltiness, SWS; sweetness, SRS; sourness) 센서들 및 2개의 reference에 관여하는 센서들을 이용하여 무 추출물의 맛 성분을 분석하였다. 전자 혀 분석에 사용된 시료는 추출물 100 mL를 사용하여 분석을 진행하였고, 총 120초 동안 맛 성분 센서에 접촉시킨 후 실험을 진행하였다. 실험 과정 중 발생할 수 있는 시료 간 오염을 방지하기 위해 정제수를 이용하여 세척을 함께 진행하였다. 그리고 전자 혀 분석을 통해 얻은 맛 성분 결과를 이용하여 시료들 간의 맛 성분 패턴은 주성분 분석(principal component analysis; PCA)을 통해 확인하였다[2].

전자 코 분석

부위별 무의 추출물들의 향기 성분을 분석하기 위해 MXT-5 column이 장착된 전자 코 시스템(HERACLES Neo, Alpha MOS, Toulouse, France)을 사용하였고, 실험에 사용된 시료 10 mL를 space vial (22.5 mm × 75 mm, PTFE/silicon septum, aluminum cap)에 넣고, 500 rpm의 속도로 50°C에서 10분 동안 교반 하였다. 이후 자동 시료 채취기를 통해 2,000 μL의 휘발성 향기 성분을 headspace에서 포집하였고, 전자코 injector에 시료를 주입하여 flame ionization detector (FID)로 분석하였다. 실험에 이용된 향기 성분 분석 조건은 Trap absorption temperature 40°C, trap desorption temperature 250°C, 그리고 acquisition time은 227초의 조건에서 진행하였다. 개별 향기성분의 정성을 위해 전자 코에 내장된 Kovat's index library 기반의 AroChemBase (Alpha MOS)를 이용하였고, AroChemBase (Alpha MOS)는 약 80,00여 개의 휘발성 화합물의 정보가 저장되어있다. 향기 성분 분석은 각각 3회씩 실험을 진행하였고, 전자코 분석을 통해 얻은 향기 성분 결과를 이용하여 시료들 간의 향기성분 패턴은 주성분 분석(principal component analysis; PCA)을 이용하여 확인하였다[2].

통계처리

본 연구에서 제시된 실험값은 평균값(mean)과 표준편차(SD)로 나타내었고, 주성분 분석과 군집분석을 통해 샘플에 존재하는 맛 성분과 향기성분 패턴 및 시료들 간 차이도 분석을 진행하였다. 패턴 분석은 XLSTAT software ver. 9.2 (Addinsoft, Paris, France)를 사용하였고, 통계적 접근을 통한 결과값은 종속변수와 독립변수 사이에 상관관계를 bi-plot을 이용하여 제시하였다[2].

Results and Discussion

전자 혀 분석

무 부위별 추출물들의 맛 성분 패턴은 Fig. 1에 나타내었다. 무의 흰색 부위의 경우 추출 방법에 따른 맛 성분의 변화에서 신맛과 단맛은 다른 맛 성분들에 비해 비교적 작은 변화를 확인할 수 있었다. 무 흰색 부위의 신맛은 고온 가압 추출 시 가장 낮은 센서 값을 나타내었고, 열수 추출 시 가장 높은 센서 값을 나타내었다. 짠맛은 콜드 브루 추출물이 가장 높은 센서 값을 나타내었고, 열수 추출물이 가장 낮은 센서 값을 나타내었다. 감칠맛은 열수

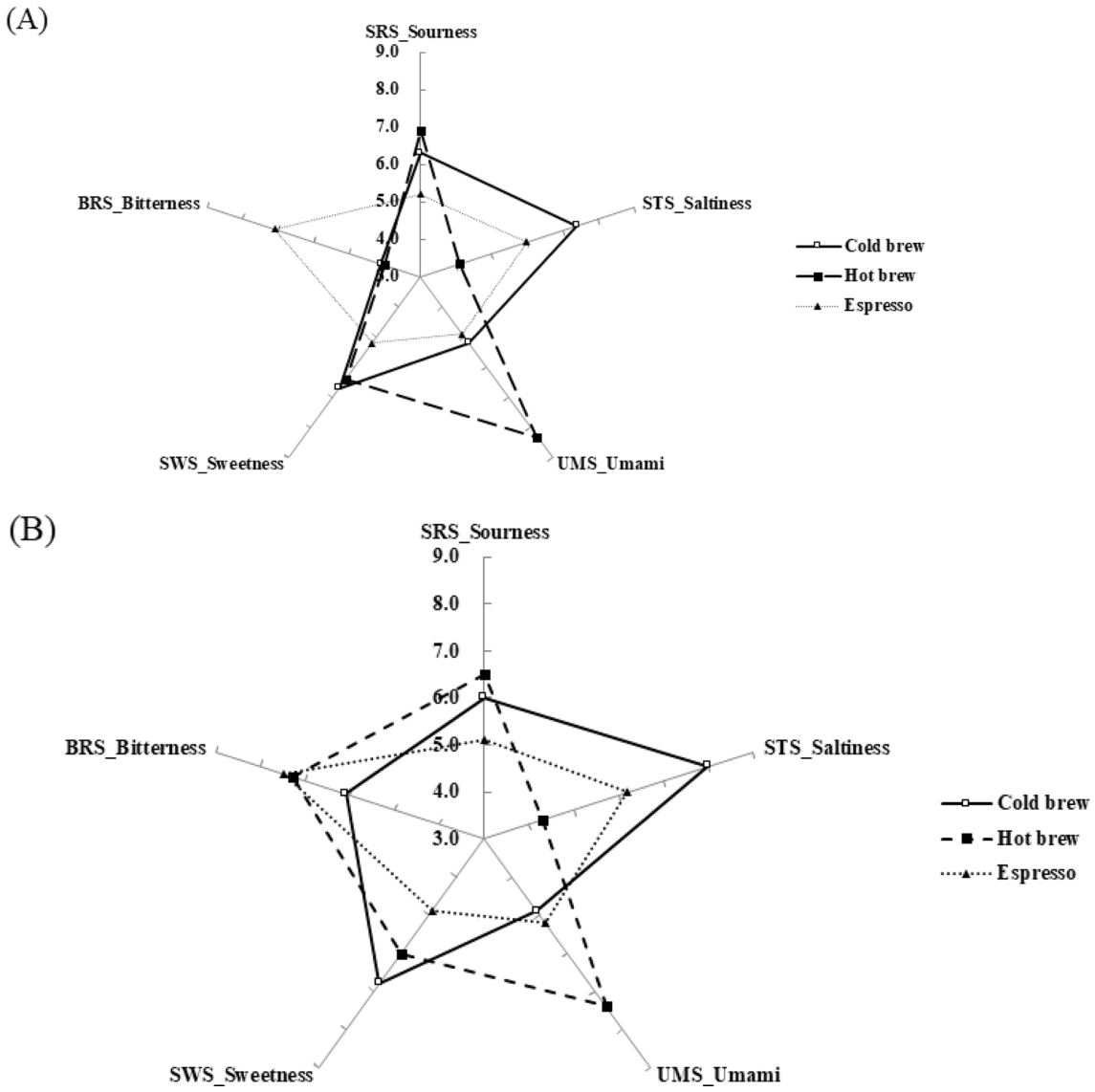

Fig. 1. Taste intensity of radish samples by three different extraction methods using electronic tongue: (A) white part and (B) green part.

추출물이 가장 높은 센서 값을 나타내었고, 콜드 브루 추출물과 고온 가압 추출물들 사이에는 뚜렷한 차이가 발생하지 않았다. 단맛은 콜드 브루 추출물과 열수 추출물이 비교적 높은 센서 값을 나타내었고, 고온가압 추출물이 가장 낮은 센서 값을 나타내었다. 쓴맛의 경우 고온 가압 추출물이 가장 높은 센서값을 나타내었고, 콜드 브루 추출물과 열수 추출물 사이에는 뚜렷한 차이가 발생하지 않았다.

무의 초록색 부위의 경우 짠맛 센서에서 뚜렷한 변화를 확인할 수 있었다. 신맛은 열수 추출물이 가장 높은 센서 값을 나타내었고, 고온 가압 추출물이 가장 낮은 센서 값을 나타내었다. 짠맛은 콜드 브루 추출물이 가장 높은 센서 값을 나타내었고, 열수 추출물이 가장 낮은 센서 값을 나타내었다. 감칠맛은 열수 추출물이 가장 높은 센서 값을 나타내었고, 콜드 브루 추출물과 고온 가압 추출물 사이에는 뚜렷한 차이가 발생하지 않았다. 단맛은 콜드 브루 추출물과 열수 추출물이 비교적 높은 센서 값을 나타내었고, 그 중 콜드 브루 추출물이 가장 높은 센서 값을 나타내었다. 반면에 고온 가압 추출물은 가장 낮은 센서 값을 나타내었다. 쓴맛은 고온 가압 추출물과 열수 추출물에서 높은 센서 값이 확인되었고, 콜드 브루 추출물에서 가장 낮은 센서 값이 확인되었다.

다변량 분석을 이용한 맛 성분의 패턴 분석

전자 혀를 이용하여 무 부위 및 추출방법에 따라 변화된 맛 성분 차이를 다변량 분석을 통해 확인하였다. 주성분 분석(Fig. 2A)을 통해 무 추출물의 맛 성분 패턴의 결과는 PC1에서 58.21%의 variance가 확인되었고, PC2에서 35.16%의 variance가 확인되어 총 93.37%의 variance가 확

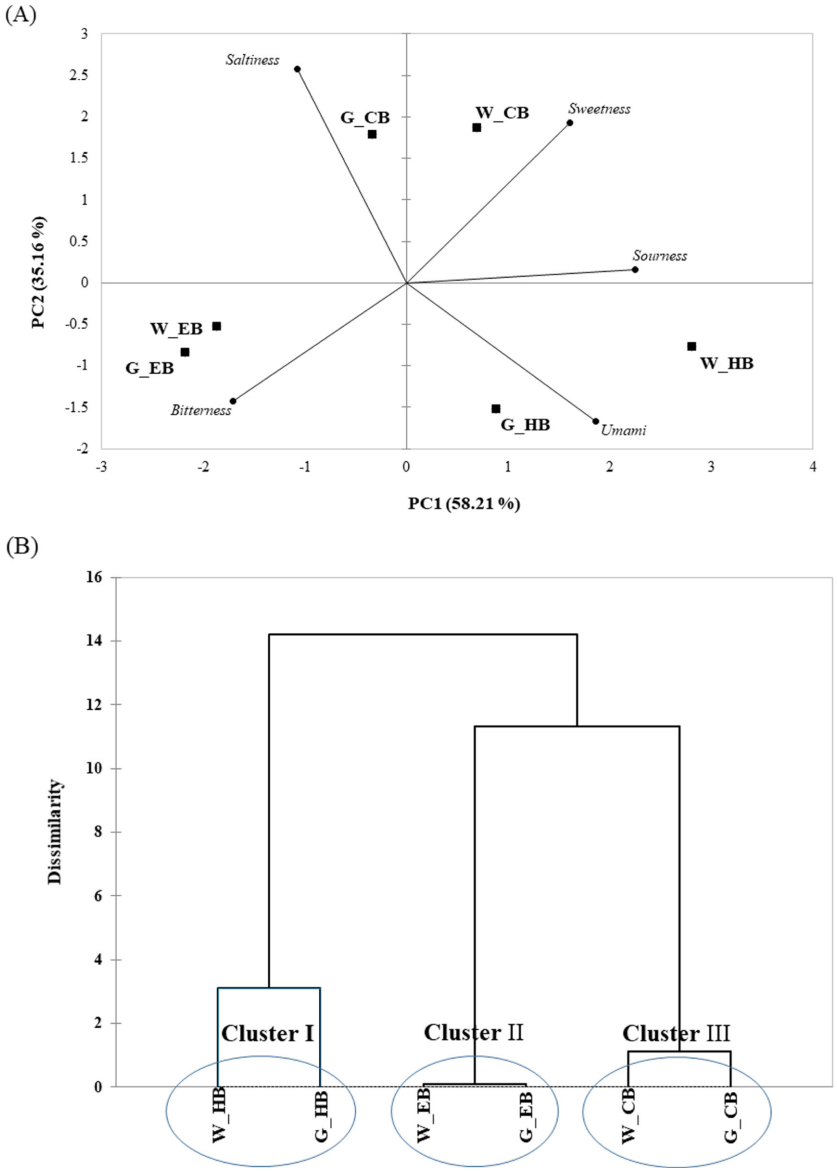

Fig. 2. Taste pattern of white and green radish parts by three different extraction methods : (A) PCA score plot and (B) Clusteranalysis. W: white, G: green, CB: cold brew, HB: hot brew, EB: espresso

인되었다. 무 부위에 상관없이 추출방법에 따라 상대적으로 더 영향을 받았다. 콜드 브루 추출물들은 PC1 기준으로 양(+)의 방향에 위치하였고, 고온 가압 추출물들과 열수 추출물들은 PC1 기준으로 음(-)의 방향에 위치하였다. 무 흰색 부위의 콜드 브루 추출물은 단맛에 영향을 받아 PC1과 PC2 기준으로 모두 양(+)의 방향에 위치하였고, 무 초록색 부위의 콜드 브루 추출물은 짠맛의 영향을 받아 PC1과 PC2 기준으로 각각 양(+)과 음(-)의 방향에 위치하였다. 부위에 상관없이 고온 가압 추출물들은 쓴맛에 영향을 받아 PC1과 PC2 기준으로 모두 음(-)의 방향에 위치하였다. 앞선 고온 가압 추출물들은 다른 추출물들에 비해 상대적으로 부위에 따른 맛 패턴 차이가 낮은 것으로 확인되었다. 무 초록색 부위의 열수 추출물은 감칠맛의 영향을 받아 PC1 기준으로 양(+)의 방향에 위치하였고, PC2 기준으로 음(-)의 방향에 위치하였다. 무 흰색 부위의 열수 추출물의 경우 무 초록색 부위와 비슷한 방향에 위치하였지만 감칠맛과 신맛에 약한 영향을 받았다. 군집분석(Fig. 2B)의 경우 열수 추출물들이 cluster I으로 분류되었고, 고온 가압 추출물들이 cluster II로 분류되었다. 그리고 콜드 브루 추출물들이 cluster III로 분류되었다. 본 연구에서 주성분 분석과 군집분석은 전자혀 분석을 이용한 맛 성분 결과가 미치는 추출물 간의 유사도에 대한 정보를 제시하였다고 판단된다.

전자코 분석

무 부위 및 추출 방법에 따른 휘발성 향기 성분의 변화는 전자코를 이용하여 측정하였고, 그 결과는 Table 1에 나타내었다. 무 추출물들에서 acids와 esters류 2종, alcohols류 5종, aldehydes류 2종, heterocyclic compounds류 3종, hydrocarbons류 2종, 그리고 sulfur-containing compounds류 2종을 포함하여 총 16개의 휘발성 향기 성분이 확인되었으며, 이 중 alcohols류가 가장 많은 휘발성 향기 성분으로 검출되었다.

Acids와 esters류는 ethyl isobutyrate와 methyl cinnamate를 포함하여 총 2종의 휘발성 향기 성분이 검출되었고, 이 중 ethyl isobutyrate는 모든 추출물에서 검출되었다. 무 흰색 부위의 경우 콜드 브루 추출물에서 가장 높은 함량이 확인되었고, 열수 및 고온 가압 추출물에서 유의적으로 낮은 함량이 확인되었다(P<0.05). 반면에 무 초록색 부위의 경우 무 흰색 부위보다 유의적으로 낮은 함량이 확인되었다(P<0.05). 무 흰색 부위의 콜드브루 추출물에서 검출된 ehtyl isobutyrate는 모든 향기성분들 중 두 번째로 높은 함량이 확인되었다. 앞선 연구에서 ethyl isobutyrate는 과일과 관련된 향 활성을 나타낸다고 보고하였지만[13], 무와 같은 십자화과 채소에서는 주요한 향기성분으로 분류되지 않는다[14]. 앞선 콜드 브루 추출물에서 발견된 높은 함량에도 불구하고 ehtyl isobutyrate는 무 추출물에서 실제 향 활성에 직접적인 영향을 주지 않은 것으로 판단된다.

Alcohols류는 모든 샘플들에서 총 5개의 휘발성 향기성분이 검출되었고, 이 중 무 흰색 부위의 콜드 브루 추출물에서 가장 많은 휘발성 alcohols류가 검출되었다. 휘발성 alcohols류 중 ethanol이 무 초록색 부위의 열수 추출물에서 가장 높은 함량이 검출되었고, 무 초록색 부위의 고온 가압 추출물과 무 흰색 부위의 열수 추출물 순으로 ethanol이 검출되었다. 그리고 무 흰색 부위의 콜드 브루 추출물, 무 초록색 부위의 콜드 브루 추출물, 그리고 열수 추출물에서 모두 methyl engenol이 검출되었고, 이 중 무 흰색 부위의 콜드 브루 추출물에서 가장 높은 함량이 검출되었다. 일반적으로 휘발성 alcohols류는 fatty acids의 분해에 의해 생성되는 화합물이다[15]. 휘발성 alcohols류 무 및 브로콜리와 같은 십자화과 채소에서 검출되지만 이들 식품 소재들에서 실제 향에 관여하는 주요 향기성분으로는 분류되지 않는다[2]. 이를 통해 본 연구에서도 휘발성 alcohols류가 검출되었지만 무 부위 및 추출방법에 따른 추출물들의 향 활성에는 직접적인 영향을 미치지 않을 것으로 판단된다.

Heterocyclic compounds류는 indole, myristicin, 그리고 ambroxide를 포함하여 총 3종의 휘발성 향기성분이 확인되었고, 무 흰색 부위의 콜드 브루 추출물에서는 heterocyclic compounds가 검출되지 않았다. 반면에 무 초록색 부위의 고온 가압 추출물에서는 3종의 heterocyclic compounds 모두 검출되었고, 유의적으로 가장 높은 함량이 확인되었다. Myristicin은 무 흰색 부위의 콜드 브루 추출물을 제외한 모든 추출물들에서 발견되었고, 추출물들 사이에는 유의적인 차이가 나타나지 않았다(P>0.05). Ambroxide는 무 흰색 부위의 열수 추출물, 무 초록색 부위의 콜드 브루 추출물과 고온 가압 추출물에서 검출되었고, 세 종류의 추출물들에서 유의적인 차이가 발생하지 않았다(P>0.05). Heterocyclic compounds는 무와 같은 십자화과 채소 이외에도 다양한 식물 소재에서 발견되는 휘발성 향기 성분이고[2,3], 식물의 향 활성에 직접적인 영향을 주는 주요한 향기 성분으로 여겨진다[2,14]. 본 연구에서 무 흰색 부위의 콜드 브루 추출물을 제외한 시료들에서 heterocyclic compounds가 검출되었다. Heterocyclic compounds는 낮은 thresholds를 가지고 있는데[16,17], 이런 특성으로 인해 본 연구에서 발견된 해당 향기 성분들이 추출물의 향 활성에 영향을 줄 것으로 판단된다.

Sulfur-containing compounds류는 methanethiol과 ethanethiol을 포함하여 총 2종의 휘발성 향기 성분이 검출되었고, 이 중 methanethiol은 무 초록색 부위의 콜드브루 추출물을 제외한 모든 추출물들에서 발견되었다. 모든 시료들 중 무 흰색 부위의 콜드브루 추출물에서 methanethiol이 가장 높은 함량을 나타내었고, 무 초록색 부위의 열수 추출물과 콜드브루 추출물에서는 가장 낮은 함량을 나타내었다. Ethanethiol은 모든 시료들 중 무 흰색 부위의 열수 추출물에서만 발견되었다. 본 연구에서 무 흰색 부위의 경우 콜드 브루 추출물에서 유의적으로 높은 함량이 발견되었고(P<0.05), 열수 및 고온가압 추출물에서는 유의적으로 낮은 함량이 발견되었다(P<0.05). 이를 통해 높은 온도의 물을 이용한 추출방법은 methanethiol의 함량을 감소시키는 것으로 생각된다. 그리고 무 흰색 부위에서 발견된 methanethiol이 무 초록색 부위에서 발견된 함량보다 유의적으로 높았고(P<0.05), 이는 methanethiol은 무 흰색에 유의적으로 더 높은 함량을 함유하는 것으로 판단된다. Methanethiol은 무의 실제 향을 나타내는 주요한 향기 성분들 중 하나이며, 열에 의해 쉽게 분해될 수 있다[18,19]. 본 연구에서도 무 흰색 부위에서 열수로 추출된 열수 및 고온 가압 추출물에서 콜드 브루 추출물에 비해 유의적으로 낮은 함량이 확인되었고(P<0.05), 이는 열에 의한 methanethiol의 분해로 판단된다.

앞선 향기 성분들을 제외한 나머지 향기성분인 hydrocarbons류는 무의 향기 성분에서 발견되지만, 주요한 향기 성분으론 간주되지 않는다[2]. 그리고 hydrocarbons류는 높은 thresholds를 가지기 때문에 식품소재에서 hydrocarbon이 발견되어도 실제 사람이 후각으로 인지하는 향을 나타내지는 않는다[16]. 따라서 본 연구에서 발견된 두 가지 향기 성분 또한 부위 및 추출방법에 따른 향 활성과는 큰 관련이 없을 것으로 판단된다.

Table 1. Volatile compound profiles in various radish extracts using electronic nose (Peak area × 10^3)

Volatile compounds	RT[1] (RI[2])	Sensory description	White			Green		
			Cold brew	Hot brew	Espresso	Cold brew	Hot brew	Espresso
Acids and Esters (2)								
Ethyl isobutyrate	37.72(753)	Alcoholic, Ethereal	10.87±2.80[a3]	3.82±0.49[bc]	4.20±0.70[bc]	0.12±0.04[d]	0.80±0.06[cd]	0.78±0.06[cd]
Methyl cinnamate	85.76(1,407)	Cinnamon,Sweet	ND[4]	ND	0.05±0.04[a]	ND	ND	ND
Alcohols (5)								
Ethanol	14.49(423)	Alcoholic, Ethanol	ND	0.06±0.02[c]	ND	ND	0.20±0.03[a]	0.13±0.01[b]
Phenol	61.41(991)	Acid, Phenolic	0.13±0.04[a]	ND	ND	ND	ND	ND
Fenchol	69.83(1,112)	Dry, Earthy	ND	0.07±0.01[a]	ND	ND	ND	ND
2-Phenylethanol	69.91(1,113)	Floral	0.03±0.03[a]	ND	ND	ND	ND	ND
Methyl eugenol	85.62(1,404)	Clove, Fresh	0.09±0.01[a]	ND	ND	0.05±0.01[ab]	0.06±0.05[ab]	ND
Aldehydes (2)								
Acetaldehyde	15.00(435)	Aldehydic, Etheral, Fresh	ND	ND	ND	0.09±0.01[a]	ND	ND
Decanal	76.13(1,218)	Citrus, Green, Aldehydic	0.06±0.01[a]	ND	ND	ND	ND	ND
Heterocyclic compounds (3)								
Indole	79.89(1,288)	Earthy, Floral	ND	ND	0.05±0.05[ab]	ND	0.06±0.01[a]	0.06±0.01[a]
Myristicin	91.23(1,527)	Woody	ND	0.31±0.01[a]	0.32±0.01[a]	0.29±0.01[a]	0.30±0.01[a]	0.32±0.01[a]
Ambroxide	104.75(1,834)	Amber, Dry	ND	1.15±0.10[a]	ND	1.12±0.12[a]	ND	1.19±.0.06[a]
Hydrocarbons (2)								
Octane	45.00(817)	Alkane, Sweet	ND	ND	ND	0.03±0.03[a]	ND	ND
Tridecane	79.97(1,289)	Citrus, Alkane	0.05±0.01[a]	ND	ND	ND	ND	ND
Sulfur-containing compounds (2)								
Methanethiol	15.69(450)	Sulfurous, Cabbage	14.54±1.32[a]	4.12±0.03[b]	5.44±0.30[b]	ND	0.25±0.01[c]	0.19±0.01[c]
Ethanethiol	18.59(515)	Earthy, Sulfurous	ND	0.13±0.01[a]	ND	ND	ND	ND

[1]RT: retention time (sec.).
[2]RI: retention index.
[3]Means with different superscripts (a-c) of each volatiles are significantly different at $P<0.05$ by a Turkey's multiple rage test.
[4]ND: Not detected.

다변량 분석을 이용한 향기성분의 패턴 분석

전자 코를 이용하여 무 부위 및 추출 방법에 따라 변화된 향기 성분 차이를 다변량 분석을 통해 확인하였다. 주성분 분석(Fig. 3A)을 통해 무 추출물의 향기성분 패턴의 결과는 PC1에서 50.04%의 variance가 확인되었고, PC2에서 19.14%의 variance가 확인되어 총 69.18%의 variance가 확인되었다. 무 흰색 부위의 콜드 브루 추출물과 나머지 샘플들은 PC1을 통해 분리되었다. 부위에 관계없이 고온 가압 추출물들과 무 초록색 부위의 열수 추출물이 PC2 기준으로 양(+)의 방향에 위치하였고, 콜드 브루 추출물들과 무 흰색 부위의 열수 추출물이 PC2 기준으로 음(-)의 방향에 위치하였다. 무 흰색 부위의 콜드 브루 추출물은 ethyl isobytyrate methanethiol, phenol, decanal, tridecane, 그리고 2-phenylethanol의 영향을 받아 PC1과 PC2 기준으로 각각 양(+)과 음(-)의 방향에 위치하였다. 반면에 무 흰색 부위의 고온 가압 추출물과 무 초록색 부위의 열수 추출물은 indole의 영향을 받아 PC1과 PC2 기준으로 각각 음(-)과 양(+)의 방향에 위치하였다. 무 초록색 부위의 고온 가압 추출물은 myristicin의 영향을 받아 앞선 두 추출물들과 유사한 방향에 위치하였다. 무 흰색 부위의 열수 추출물과 무 초록색 부위의 콜드 브루 추출물은 주로 ambroxide의 영향을 받아 PC1과 PC2 기준으로 모두 음(-)

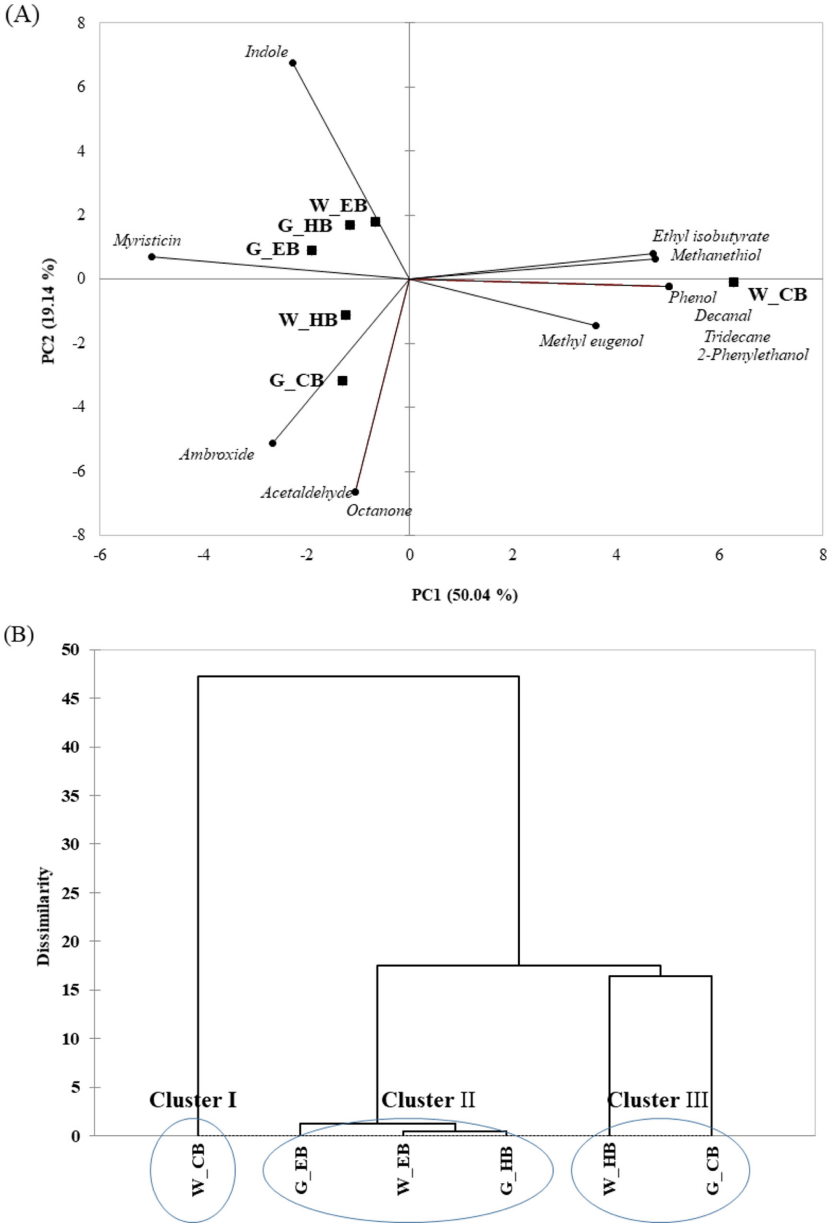

Fig. 3. Flavor pattern of white and green radish parts by three different extraction methods: (A) PCA score plot and (B) cluster analysis. W: white, G: green, CB: cold brew, HB: hot brew, EB: espresso.

의 방향에 위치하였다. 주성분 분석 결과 무 흰색 부위의 콜드 브루 추출물을 제외한 추출물들 사이의 향기 성분 패턴 변화는 뚜렷한 차이가 발생하지 않았다. 군집분석(Fig. 3B)의 경우 무 흰색 부위의 콜드 브루 추출물이 cluster I으로 분류되었고, 부위에 관계없이 고온 가압 추출물들과 무 흰색 부위의 열수 추출물이 cluster II로 분류되었다. 그리고 무 흰색 부위의 열수 추출물과 무 초록색 부위의 콜드 브루 추출물은 cluster III로 분류되었다. 무 흰색 부위의 콜드 브루 추출물과 다른 시료들의 차이도가 상대적으로 가장 높은 것으로 확인되었다. 군집분석의 결과를 통해 콜드 브루 추출물을 제외한 나머지 추출물에서는 무 부위에 따른 뚜렷한 차이가 확인되지 않았으며, 모든 샘플들에서 추출방법에 향기성분 패턴의 변화는 무 흰색 부위의 콜드 브루 추출물을 제외한 샘플들에서 뚜렷한 차이가 확인되지 않았다.

Acknowledgments

본 논문은 농촌진흥청 연구사업(PJ01496201)의 지원에 의해 이루어진 것임.

국문요약

본 연구는 전자 센서를 이용하여 다양한 추출방법에 따른 무 추출물들의 향미 특성을 조사하였다. 무의 신맛은 무 흰색 부위의 열수 추출물이 6.9의 센서 값을 나타내어 가장 높았다. 신맛은 8.0의 센서 값을 나타내어 무 초록색 부위의 콜드 브루 추출물이 가장 높았다. 감칠맛은 무 흰색 부위의 열수 추출물이 8.3의 센서 값을 나타내어 가장 높았다. 단맛은 무 초록색 부위의 콜드 브루 추출물이 6.8의 센서 값으로 가장 높은 값을 나타내었고, 쓴맛은 무 초록색 부위의 고온 가압 추출물이 7.5의 센서 값으로 가장 높은 값을 나타내었다. 전자코를 이용하여 무 추출물들에서 총 16개의 휘발성 향기성분을 확인하였다. 무 추출물 속 휘발성 향기성분들 중 methanethiol이 주요한 향기성분으로 확인되었다. 본 연구에서 확인된 결과들은 무 추출물의 향미 특성에 대한 기초 연구 자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

Conflict of interests

The authors declare no potential conflict of interest

ORCID

Seong Jun Hong https://orcid.org/0000-0001-6531-2564
Seong Min Jo https://orcid.org/0000-0003-1341-8759
Sojeong Yoon https://orcid.org/0000-0002-1896-1534
Hyangyeon Jeong https://orcid.org/0000-0003-4615-8447
Youngseung Lee https://orcid.org/0000-0001-8542-8724
Sung-Soo Park https://orcid.org/0000-0003-0319-6670
Ho-Su Song https://orcid.org/0000-0003-3933-5863
Eui-Cheol Shin 0000-0003-4243-4643

References

1. Bae, R.N., Lee, Y.K., Lee, S.K., Changes in nutrient levels of aqueous extracts from radish (*Raphanus sativus* L.) root during liquefaction by heat and non-heat processing. *Kor. J. Hort. Sci. Technol*., **30**, 409-416 (2012).
2. Hong, S.J., Boo, C.G., Lee, J., Hur, S.W., Jo, S.M., Jeong, H., Yoon, S., Lee, Y., Park S.S., Shin, E.C., Chemosensory approach supported-analysis of wintering radishes produced in Jeju island by different processing methods. *Food Sci. Biotechnol.*, **30**, 1033-1049 (2021).
3. Boo, C.G., Hong, S.J., Lee, Y., Park, S.S., Shin, E.C., Quality characteristics of wintering radishes produced in Jeju island using E-Nose, E-Tongue, and GC-MSD Approach. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.,* **49,** 1407-1415. (2020).
4. Hong, S.J., Boo, C.G., Heo, S.U., Jo, S.M., Jeong, H., Yoon, S., Lee, Y., Shin, E.C., Investigation of taste and flavor properties of radish varieties harvested in Korea using electronic tongue and electronic nose. *Korean J. Food Sci. Technol*., **53**, 375-381 (2021).
5. Kim, H.K., The effects of heated radish extract on the prevention of ulcerative colitis inflammation. *J. Conv. Cult. Technol*., **5**, 317-326 (2019).
6. Lee, S.H., Hwang, I.G., Lee, Y.R., Joung, E.M., Jeong, H.S., Lee, H.B., Physicochemical characteristics and antioxidant activity of heated radish (*Raphanus sativus* L.) extracts. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr*., **38**, 490-495 (2009).
7. Song, Y.B., Choi, J.S., Lee, J.E., Noh, J.S., Kim, M.J., Cho, E.J., Song, Y.O., The antioxidant effect of hot water extract from the dried radish (*Raphanus sativus* L.) with pressurized roasting. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr*., **39**, 1179-1186 (2010).
8. Sung, N.Y., Park, W.Y., Kim, Y.E., Cho, E.J., Song, H., Jun, H.K., Park, J.N., Kim, M.H., Ryu, G.H., Byun, E.H., Increase in anti-oxidant components and reduction of off-flavors on radish leaf extracts by extrusion process. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr*., **45**, 1769-1775 (2016).
9. Dinkova-Kostova, A.T., Kostov, R.V., Glucosinolates and isothiocyanates in health and disease. *Trends Mol. Med*., **18**, 337-347 (2012).
10. Bell, L., Oloyede, O.O., Lignou, S., Wagstaff, C., Methven, L., Taste and flavor perceptions of glucosinolates, isothiocyanates, and related compounds. *Mol. Nutr. Food Res*., **62**, e1700990 (2018).
11. Liu, D., Li, S., Wang, N., Deng, Y., Sha, L., Gai, S., Liu, H., Xu, X., Evolution of taste compounds of Dezhou braised

chicken during cooking evaluated by chemical analysis and an electronic tongue system. *J. Food Sci*., **82**, 1076-1082 (2017).
12. Dong, W., Hu, R., Long, Y., Li, H., Zhang, Y., Zhu, K., Chu, Z., Comparative evaluation of the volatile profiles and taste properties of roasted coffee beans as affected by drying method and detected by electronic nose, electronic tongue, and HS-SPME-GC-MS. *Food Chem*., **272**, 723-731 (2019).
13. Kohno, Y., Makino, T., Kanakubo, M., Effect of phase behavior for ionic liquid catalysts with reactants/products on reactivity of esterification from long-chain fatty alcohols and fatty acids. *Fluid Phase Equilibria*, **490**, 107-113 (2019).
14. Blažević, I., Mastelić, J., Glucosinolate degradation products and other bound and free volatiles in the leaves and roots of radish (*Raphanus sativus* L.). *Food Chem*., **113**, 96-102 (2009).
15. Yin, X., Lv, Y., Wen, R., Wang, Y., Chen, Q., Kong, B., Characterization of selected Harbin red sausages on the basis of their flavour profiles using HS-SPME-GC/MS combined with electronic nose and electronic tongue. *Meat Sci*., **172**, 108345 (2021).
16. Lee, J., Cho, J.J., Hong, S.J., Kim, D.S., Boo, C.G., Shin, E.C., Platycodon grandiflorum roots: A comprehensive study on odor/aroma and chemical properties during roasting. *J. Food Biochem.*, **44**, e13344 (2020).
17. Zhang, L., Hu, Y., Wang, Y., Kong, B., Chen, Q., Evaluation of the flavour properties of cooked chicken drumsticks as affected by sugar smoking times using and electronic nose, electronic tongue, and HS-SPME/GC-MS. *LWT*., **140**, 110764 (2021).
18. Li, C., Wu, J., Li, Y., Dai, Z., Identification of the aroma compounds in stinky mandarin fish (*Siniperca* chuatsi) and comparison of volatiles during fermentation and storage. *Int. J. Food Sci*., **48**, 2429-2437 (2013).
19. Oerlemans, K., Barrett, D.M., Suades, C.B., Verkerk, R., Dekker, M., Thermal degradation of glucosinolates in red cabbage. *Food Chem*., **95**, 19-29 (2006).