

전자혀와 전자코 분석을 이용한 국내산 무 품종의 감각특성

홍성준¹ · 부창국¹ · 허성욱¹ · 조성민¹ · 정향연¹ · 윤소정¹ · 이영승² · 박성수³ · 신의철^{1,*}
¹경상국립대학교 식품과학부/식품감각인지연구소, ²단국대학교 식품영양학과, ³제주대학교 식품영양학과

Investigation of taste and flavor properties of radish varieties harvested in Korea using electronic tongue and electronic nose

Seong Jun Hong¹, Chang Guk Boo¹, Seong Uk Heo¹, Seong Min Jo¹, Hyangyeon Jeong¹,
Sojeong Yoon¹, Youngseung Lee², Sung-Soo Park³, and Eui-Cheol Shin^{1,*}

¹Department of Food Science/Institute for Food Sensory & Cognitive Science, Gyeongsang National University

²Department of Food Science and Nutrition, Dankook University

³Department of Food Science & Nutrition, Jeju National University

Abstract This study investigated the physicochemical properties and chemosensory characteristics of radish samples. Brix results in *Matdong*-radish showed the highest value (1.5±0.1%), and *Mansahyungdong*-radish showed the lowest. In terms of salinity, *Mansahyungdong*-radish had the highest value (1.2±0.1%), and there were no significant differences among samples except *Mansahyungdong*-radish. In pH analysis, *Cheongjunggowon*-radish had the highest value at 6.69±0.02. The pH in *Mansahyungdong*-radish showed the lowest value at 6.10±0.01. In the electronic tongue, sourness was high in the *Seoho*-radish (8.2), and saltiness was high in the *Matdong*-radish (8.1). Umami was high in the *Seoho*-radish (8.3), and sweetness was high in the *Matdong*-radish (8.1). In the electronic nose, sulfur-containing compounds were high in all the samples. Methanethiol, which represented the odor description of cabbage, garlic, and sulfurous, was abundant in sulfur-containing compounds. Multivariate analysis using physicochemical and chemosensory properties can be used as a database for the food industry.

Keywords: radish, phytochemical properties, chemosensory, principal component analysis, cluster analysis

서 론

무(*Raphanus sativus* L.)는 십자화(Cruciferae)과 식물에 속하며, 기원전 400년전 부터 한국, 일본, 중국, 그리고 미국에서 재배되어 온 작물로써 휘발성 황 화합물을 많이 함유하고 있다. 배추와 함께 김치의 주재료로 사용되고 있다(Bae 등, 2012; Boo 등, 2020; Lee 등, 2009). 무는 배추와 함께 국내 식생활에서 빼놓을 수 없는 중요한 채소로 인식되고 있으며, 무가 가지는 다양한 영양성분인 비타민, 플라보노이드 색소, 페놀 화합물, 방향족 아민류, 방향족 황화합물, glucosinolates, 그리고, 식이섬유가 풍부하게 함유되어 있어서 면류 및 어패류 중독해소, 소화 기능 향상, 신경통 완화, 천식 완화, 이뇨작용, 해열작용, 정장작용, 혈당저하, 니코틴 제거 작용, 그리고 지혈작용과 같은 다양한 생리활성 효과를 가지고 있다(Boo 등, 2020; Lee 등, 2009).

무에 함유된 기능성 성분인 glucosinolates는 재배된 국가에 따라 그 함량이 다양하게 나타나고 있으며, 일반적으로 한국, 일본,

그리고 중국에서 재배되는 무가 미국과 유럽에서 재배되는 무에 비해 약 80% 이상 높은 함량을 가지고 있다고 보고되고 있다(Bae 등, 2012; Diana 등, 1985). 무의 glucosinolates는 분쇄용 강판과 같은 외부 에너지의 자극 및 효소(myrosinase)를 통해 분해되어 강한 향을 나타내는 dimethyl sulfide와 trimethyl sulfide와 같은 함황 화합물 및 isocyanate류로 유리된다(Boo 등, 2020). 앞선 일련의 과정을 통해 생성된 함황 화합물은 무 특유의 향 활성을 나타내고 있고, isocyanate류는 항산화 및 항비만과 같은 다양한 생리활성 기능을 가지고 있다(Dinkova-Kostova 등, 2012). 무에 함유된 isocyanate류 중 4-methyl(thio)-3-butenyl-isocyanate (erucin)은 무에서 비교적 높은 함량을 나타내고 있으며, 체내 섭취 시 강력한 항암 효과를 가지는 sulforaphane과 상호 전환된다(Clarke 등, 2011).

무의 향기 성분 및 맛 성분에 대한 연구는 제주산 월동무의 크기별 맛 성분 및 향기 성분 연구(Boo 등, 2020), 가공 처리에 따른 무의 향기 성분 연구(Coogan과 Wills, 2002), 무에 함유된 이취 저감화 연구(Kim 등, 2019), 그리고 열처리 전과 후에 변화되는 무의 영양학적 특성 및 관능적 특성 검토 연구(Bae 등, 2012)가 보고되었다. 앞선 연구들에도 불구하고 전자혀와 전자코와 같은 전자센서를 이용한 무의 감각적 분석(맛과 향기)에 대한 검토 연구는 아직 부족한 실정이며, 따라서 본 연구에서는 전자센서를 이용하여 국내에서 재배되는 무의 재배 지역 차이에 따른 맛 성분 및 향기 성분의 차이를 비교하였다.

*Corresponding author: 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

Received May 12, 2021; revised June 16, 2021;

accepted June 18, 2021

재료 및 방법

실험재료

본 연구에 이용된 품종별 무 샘플인 청정고원무(*Cheongjunggowon-radish*; CGR), 만사형통무(*Mansahyungdong-radish*; MHR), 그리고 맛동무(*Matdong-radish*; MDR)는 제주에서 재배된 품종이며, 서호무(*Seoho-radish*; SHR)는 전남 해남에서 재배된 무 품종을 사용하였다. 실험에 사용된 샘플은 slurry 형태로 제조하여 실험에 사용하였는데, slurry 제조 시 금속에 의한 산화를 방지하고자 가정용 플라스틱 강판을 통해 제조하였다. 또한 향미 변화를 최대한 줄이기 위해 실험 직전에 제조하였다.

감각 지표의 이화학 분석

맛 성분과 관련된 지표를 분석하고자 단맛, 짠맛, 그리고 신맛의 특징을 분석하였다. 측정 전 분석에 방해가 되는 고형분과 미세 particle를 제거하기 위해 여과를 통해 액상의 시료로 전처리를 시행하였다. 당도와 염도는 각각 당도계(PAL- α , Atago Co., Tokyo, Japan)와 염도계(PAL-03S, Atago Co.)를 이용하여 측정하였다. 염도와 당도는 무 추출액 300 μ L를 염도계와 당도계의 prism에 원액을 주입하여 그 값을 확인하였으며, 각각 3회 반복하여 진행하였다. 신맛과 관련성을 가지는 pH 측정은 무 추출액 5 mL와 증류수 45 mL를 혼합한 후 pH meter (ST3100, Ohaus Co., Parsippany, NJ, USA)를 이용하여 측정하였다.

전자혀 분석

전자혀(Electronic tongue, ASTREE, Alpha MOS, Toulouse, France) 분석은 무 추출액 50 mL와 정제수 50 mL를 혼합한 시료를 이용하여 분석을 진행하였고, 전자혀에 부착된 전자 센서를 이용하여 실험을 진행하였다. 전자혀 센서는 인간이 느끼는 5가지의 맛 성분 센서(SRS-sourness, STS-saltiness, UMS-umami, SWS-sweetness, BRS-bitterness)와 2가지의 지표센서(GPS-metallic, SPS-spiciness)를 이용하여 맛 성분을 측정하였고, 1개의 reference electrode (Ag/AgCl)를 이용하여 분석을 진행하였다. GPS와 SPS는 보정 센서값을 위한 지표로 이용되었다. 실험에 사용된 추출액은 전자혀 sampler에 장착한 후 센서를 2분간 추출액에 침지시켰고, 접촉을 통해 개별 맛 성분 센서의 강도를 측정하였다. 그리고 시료 간 오차를 줄이고, 오염을 방지하기 위해 매 분석 시 정제수를 사용하여 개별 맛 성분 센서의 세척 과정을 함께 진행하였다. 각각의 결과값은 맛 성분에 대한 taste pattern으로 확인하였다(Hong 등, 2020).

전자코 분석

전자코시스템(HERACLES Neo, Alpha MOS, Toulouse, France)을 이용하여 품종별 무 시료의 휘발성 화합물을 분석하였고 실험에 사용된 무는 slurry 상태에서 약 1.3 g을 전자코 분석용 50

mL-headspace vial에 넣어 50°C에서 500 rpm 속도로 20분간 교반하면서 휘발성 화합물을 headspace vial에 포화시켰다. 휘발성 화합물 포집은 전자코에 부착된 자동시료 채취기를 이용하여 포집하였고, 2,000 μ L의 휘발성 화합물을 취한 후 전자코에 부착된 gas chromatography injection port에 주입하였다. 분석 조건은 acquisition time은 230초, trap absorption temperature 20°C, 그리고 incubation 50°C에서 10분 동안 분석을 MXT-5 컬럼을 이용하여 진행하였다. 탄소수에 기반을 둔 retention index는 Kovat's index library를 기반으로 하였고, 전자코에 포함된 AroChemBase (Alpha MOS, Toulouse, France)를 사용하여 분리된 피크의 성분을 동정하였으며, 개별 무 시료들은 각각 3회의 반복 분석 결과를 사용하여 odor pattern을 확인하였다(Hong 등, 2020).

통계처리

본 연구의 실험결과는 평균 \pm 표준편차로 제시하였고, 통계적 유의성 검토는 SAS version 9.2 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA) 프로그램을 이용하여 p 값이 0.05 미만일 때 통계적으로 유의하다고 판단하였다. 일원배치 분산분석(one-way analysis of variance)을 시행한 후, 각 샘플 간의 통계적 유의성은 Tukey's multiple range test를 이용하여 진행하였다. 그리고 대표적인 다변량 분석법인 주성분 분석(principal component analysis)과 군집분석(cluster analysis)은 XLSTAT software ver. 2021 (Addinsoft, New-York, NY, USA)를 이용하여 각 샘플과 변수에 대한 패턴 및 샘플 간 차이도를 비교하였다.

결과 및 고찰

감각 지표의 이화학 분석

본 연구에서 확인된 품종별 무의 당도, 염도, 그리고 pH의 결과는 Table 1에 나타내었다. 품종별 무의 당도 범위는 1.0-1.5%의 당도가 확인되었고, 이 중 맛동무 품종이 1.5 \pm 0.1%로 가장 높은 당도를 나타내었다($p < 0.05$). 그리고 서호무 품종이 두 번째로 높은 당도를 나타내었고($p < 0.05$), 청정고원무와 만사형통무가 가장 낮은 당도를 나타내었다($p < 0.05$). 염도의 경우 0.9-1.2%의 범위를 나타내었고, 이 중 맛동무 품종이 1.2 \pm 0.1%로 가장 높은 염도를 나타내었다($p < 0.05$). 반면 맛동무를 제외한 나머지 품종들은 0.9 \pm 0.1%로 유의적인 차이가 발생하지 않았다($p > 0.05$). 품종별 무의 pH는 6.10-6.69의 범위를 나타내었고, 모든 시료들 중 청정고원무가 6.69 \pm 0.02로 가장 높은 pH를 나타내었다($p < 0.05$). 그리고 서호무가 6.57 \pm 0.01로 두 번째 높은 pH 값을 나타내었고($p < 0.05$), 맛동무와 만사형통무가 각각 pH 6.13 \pm 0.01와 6.10 \pm 0.01로 유의적으로 낮은 값을 나타내었다($p < 0.05$).

당도와 염도는 식품 내 존재하는 당도와 염도의 나타내는 지표로써, 당도 및 염도에 영향을 주는 여러 요소들이 존재하며 그 중, 식품 내 수분함량에 의해 쉽게 변화할 수 있다(Hong 등,

Table 1. Physicochemical properties in four kinds of radish

	SHR	CGR	MHR	MDR
Brix (%)	1.3 \pm 0.1 ^{b1)}	1.1 \pm 0.1 ^c	1.0 \pm 0.1 ^c	1.5 \pm 0.1 ^a
Salinity (%)	0.9 \pm 0.1 ^b	0.9 \pm 0.1 ^b	0.9 \pm 0.1 ^b	1.2 \pm 0.1 ^a
pH	6.57 \pm 0.01 ^b	6.69 \pm 0.02 ^a	6.10 \pm 0.01 ^d	6.13 \pm 0.01 ^c

Data are given as mean \pm SD values from experiments performed in triplicate.

SHR: *Seoho-radish*, CGR: *Cheongjunggowon-radish*, MHR: *Mansahyungdong-radish*, and MDR: *Matdong-radish*, respectively.

¹⁾Mean values with different letters within the same row are significantly different according to Tukey's multiple range test ($p < 0.05$).

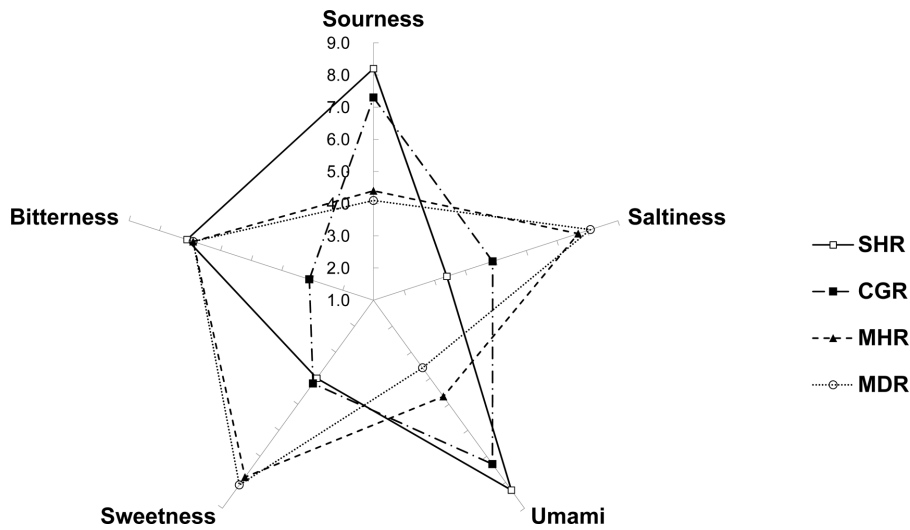


Fig. 1. Plot for taste sensing values in four kinds of radish using electronic tongue. SHR: *Seoho*-radish, CGR: *Cheongjunggowon*-radish, MHR: *Mansahyungdong*-radish, and MDR: *Matdong*-radish, respectively.

2020). 이러한 당도 및 염도의 결과는 품종별 무 시료들의 단맛과 짠맛에 활성에 특징을 나타낼 것으로 판단된다(Hong 등, 2020). 또한 pH는 무의 품질을 판단하는 중요한 요소 중 하나이며, 이러한 pH의 차이는 품종별 무의 총산도 및 유기산의 함량에 의해 영향을 받은 것으로 판단된다(Bae 등, 2020). 그리고 pH는 품질 특성뿐만 아니라 식품의 관능적 특성에도 관련이 있는 것으로 알려져 있다(Hong 등, 2020).

전자혀 분석

전자혀를 이용하여 분석한 품종별 무의 맛 성분을 탐색하였고, 그 결과는 Fig. 1에 나타내었다. 맛성분 결과는 인간이 인지하는 기본 맛 성분(신맛, 짠맛, 감칠맛, 단맛, 쓴맛)에 관련된 센서값을 전자혀 시스템을 통해 확인하였다. 신맛과 관련된 센서값을 확인한 결과 서호무와 청정고원무가 각각 8.2와 7.3의 센서값을 나타내어 상대적으로 높은 결과가 확인되었고, 만사형통무와 맛동무를 분석한 결과 각각 4.4와 4.1의 센서값이 확인되어 상대적으로 낮은 신맛 관련 센서값이 확인되었다. 짠맛과 관련된 센서값 결과는 맛동이 8.1로 모든 시료들 중 가장 높은 센서값을 나타내었으며, 만사형통무가 7.7로 두 번째 높은 센서 결과를 나타내었다. 반면, 청정고원무는 4.9의 센서값이 확인되어 앞선 두 시료(맛동무와 만사형통무)에 비해 상대적으로 낮은 신맛 센서 결과를 나타내었으며, 모든 시료들 중 서호무가 가장 낮은 신맛과 관련된 센서값(3.4)을 나타내었다. 감칠맛과 관련된 센서 결과는 서호무와 청정고원무가 각각 8.3과 7.3으로 만사형통무(4.7) 및 맛동무(3.6)에 비해 비교적 높은 감칠맛 센서값을 나타내었다. 단맛과 관련된 센서값의 경우 서호무와 청정고원무는 각각 4.0 및 4.2로 상대적으로 낮은 센서 결과를 보여주었고, 맛동무 및 만사형통무는 8.1과 7.8의 단맛과 관련된 센서값을 나타내어 상대적으로 높은 센서 결과를 보여주었다. 쓴맛과 관련된 센서 결과는 서호무에서 가장 높은 센서값인 7.1이 확인되었고, 만사형통무와 맛동무에서 센서값 6.9가 확인되었다. 그리고 청정고원무는 3.1의 쓴맛과 관련된 센서값이 확인되어 모든 시료들 중 가장 낮은 센서 결과를 나타내었다.

전자혀 시스템은 별도의 전처리가 요구되지 않고, 비파괴적인 분석법을 이용하여 개별 맛 성분의 특징을 확인 및 인간이 느끼

는 맛에 대한 인지와 관련하여 모방하는 전자센서 기기를 구축하고 있다(Hong 등, 2020). 그리고 전자혀 시스템은 저렴한 비용 및 객관적인 개별 맛 성분 결과를 보여주는 분석 시스템이다(Hong 등, 2020). 이러한 전자혀를 이용하여 최근 Boo 등(2020)의 연구에서 제주산 월동무의 크기에 따른 맛 성분의 차이를 확인하였고, Cho 등(2020)의 연구에서는 마삭줄과 백화등 식물에서 뒤음처리에 따른 향미 성분 차이를 전자센서를 이용하여 보고된 바 있다.

전자코 분석

전자코 시스템을 이용하여 분석한 품종별 무의 휘발성 화합물의 결과는 Table 2에 나타내었다. 모든 품종에서 총 19종의 휘발성 화합물이 분석되었고, 이 중 휘발성 sulfur-containing compounds류 4종, acids와 esters류 4종, alcohols류 2종, aldehydes류 2종, ketones류 4종, heterocyclics류 2종, 그리고 hydrocarbon류 1종이 확인되었다. 모든 휘발성 화합물에서 sulfur-containing compounds류가 상대적으로 가장 높은 함량을 차지하였고, 이 중 cabbage, garlic, sulfurous의 향 활성을 나타내는 methanethiol이 가장 높은 peak area를 나타내었다. 그리고 heterocyclics류와 ketones류가 두 번째 및 세 번째로 높은 함량을 차지하였고, 개별 그룹들에서 pungent, putrid, sour의 향 활성을 나타내는 pyridine 및 fresh, fruity, sweet의 향 활성을 나타내는 γ -decalactone이 상대적으로 높은 peak area를 나타내었다. Acids와 esters류, alcohols류, aldehydes류, 그리고 hydrocarbon류에서 확인된 개별 휘발성 화합물의 수는 차이가 발생하였지만 정량적인 측면에서는 큰 차이가 발생하지 않았다.

이전 연구(Boo 등, 2020)에서 Gas Chromatography/Mass Spectrometry (GC/MS)를 이용하여 제주 월동무의 향기 성분을 분석한 결과를 보면 27종의 sulfur-containing compounds를 확인하였고, 그 중 dimethyl sulfide가 가장 높은 향기 성분을 차지한다고 보고된 바 있다. 본 연구에서 활용된 전자코 결과와 비교해보면 sulfur-containing compounds가 주된 향기 성분이며, acids, alcohols, 그리고 aldehydes 화합물이 미량으로 존재하고 있다는 부분에서 일치하며, 전자코에서 확인된 개별 화합물은 총 18종인데 반해 GC/MS에서는 34종으로 좀 더 다양한 향기 성분의 profile

Table 2. Volatile compounds in four kinds of radish using electronic nose(peak area $\times 10^3$)

Compounds	RT ¹ (RI ²)	Sensory description	SHR	CGR	MHR	MDR
Sulfur-containing compounds (4)						
Methanethiol	15.73(452)	Cabbage, Garlic, Sulfurous	59.57 \pm 23.79 ^{b3)}	165.39 \pm 19.09 ^a	153.98 \pm 9.85 ^a	53.22 \pm 16.92 ^b
Ethanethiol	18.58(515)	Garlic, Onion, Sulfurous	0.18 \pm 0.18 ^a	0.13 \pm 0.03 ^a	0.17 \pm 0.10 ^a	0.10 \pm 0.01 ^a
Dimethyl disulfide	40.20(774)	Cabbage, Garlic, Sulfurous	0.11 \pm 0.01 ^b	0.17 \pm 0.01 ^a	0.09 \pm 0.00 ^{bc}	0.07 \pm 0.01 ^c
Dimethyl sulfoxide	44.74(814)	Alliaceous, Garlic, Sulfurous	0.16 \pm 0.03 ^{bc}	0.40 \pm 0.05 ^a	0.21 \pm 0.01 ^b	0.12 \pm 0.02 ^c
Acid and esters (4)						
Ethyl acrylate	31.78(704)	Fruity, Sour, Acrid	0.07 \pm 0.06 ^a	0.15 \pm 0.02 ^a	0.07 \pm 0.02 ^a	0.08 \pm 0.00 ^a
Heptanoic acid	72.54(1156)	Cheese, Rancid, Sour	0.19 \pm 0.09 ^b	0.43 \pm 0.10 ^a	0.17 \pm 0.02 ^b	0.07 \pm 0.06 ^b
Decyl acetate	85.90(1407)	Fresh, Fruity, Oily	0.18 \pm 0.07 ^a	0.18 \pm 0.01 ^a	0.09 \pm 0.02 ^a	0.06 \pm 0.06 ^a
Octyl caprylate	101.78(1758)	Fruity, Oily	0.07 \pm 0.01 ^a	0.09 \pm 0.02 ^a	0.10 \pm 0.01 ^a	0.09 \pm 0.02 ^a
Alcohols (2)						
Fenchol	69.88(1112)	Lemon, Rooty, Sweet	0.15 \pm 0.03 ^{bc}	0.38 \pm 0.04 ^a	0.23 \pm 0.03 ^b	0.14 \pm 0.02 ^c
<i>trans</i> -Carveol	76.14(1217)	Green, Oily	0.57 \pm 0.10 ^b	0.89 \pm 0.08 ^a	0.40 \pm 0.03 ^c	0.19 \pm 0.03 ^d
Aldehydes (2)						
4-Heptanal	53.72(900)	Fishy, Green, Sweet	0.56 \pm 0.18 ^a	0.73 \pm 0.38 ^a	0.61 \pm 0.37 ^a	0.19 \pm 0.04 ^a
Cinnamaldehyde	80.66(1300)	Pungent, Spicy, Sweet	0.36 \pm 0.05 ^a	0.36 \pm 0.01 ^a	0.22 \pm 0.04 ^b	0.21 \pm 0.07 ^b
Ketones (4)						
Butan-2-one	22.16(596)	Cheese, Fruity, Sweet	0.41 \pm 0.02 ^a	0.17 \pm 0.05 ^b	0.08 \pm 0.01 ^{bc}	0.05 \pm 0.04 ^c
1,5-Octadienone	61.34(990)	Earthy, Musty	0.30 \pm 0.01 ^b	0.52 \pm 0.08 ^a	0.25 \pm 0.03 ^b	0.25 \pm 0.09 ^b
Methylacetophenone	73.94(1179)	Floral, Hay, Sweet	0.50 \pm 0.14 ^{ab}	0.62 \pm 0.03 ^a	0.31 \pm 0.01 ^{bc}	0.23 \pm 0.03 ^c
γ -Decalactone	89.02(1474)	Fresh, Fruity, Sweet	5.37 \pm 0.45 ^a	3.13 \pm 2.22 ^{ab}	1.33 \pm 0.66 ^b	0.41 \pm 0.15 ^c
Heterocyclic compounds (2)						
Pyridine	37.72(754)	Pungent, Putrid, Sour	24.18 \pm 9.70 ^b	55.32 \pm 9.54 ^a	34.24 \pm 4.69 ^b	20.87 \pm 6.82 ^b
Ambroxide	105.06(1831)	Amber, Sweet	1.21 \pm 0.26 ^a	1.25 \pm 0.14 ^a	1.30 \pm 0.13 ^a	1.27 \pm 0.08 ^a
Hydrocarbon (1)						
Isopropyl cinnamate	91,54(1530)	Balsamic	0.33 \pm 0.04 ^b	0.36 \pm 0.05 ^{ab}	0.41 \pm 0.03 ^{ab}	0.44 \pm 0.01 ^a

Data are given as mean \pm SD values from experiments performed in triplicate.

SHR: *Seoho*-radish, CGR: *Cheongjunggowon*-radish, MHR: *Mansahyungdong*-radish, and MDR: *Matdong*-radish, respectively.

¹RT: retention time (sec) ²RI: retention indices. ³Mean values with different letters within the same row are significantly different according to Tukey's multiple range test ($p < 0.05$).

을 제공하고 있다. 이러한 분석차이는 향기 성분의 흡착과 검출 방식의 차이로 인해 발생하는 것으로 판단된다. 하지만 전자코의 경우 좀 더 인간의 후각 반응과 좀 더 유사한 것으로 알려져 있다(Boo 등, 2020).

전자코는 전자혀와 같이 비파괴적인 분석 방법을 이용하며, 전자코 시스템에 내장된 화학 센서를 통해 신속하게 휘발성 화합물을 분석한다. 본 연구에서 총 19종의 휘발성 화합물이 확인되었고, 이 중 모든 시료들에서 휘발성 sulfur-containing compounds가 가장 많은 향기 성분이 확인되었다. 전자코 시스템을 통해 확인된 모든 휘발성 화합물들 및 sulfur-containing compounds 중 cabbage, garlic, 그리고 sulfurous와 관련된 odor description을 나타내는 methanethiol이 가장 높은 함량을 나타내었다. 휘발성 함량 화합물은 무에서 가장 많은 함량을 차지하며, 무의 관능적 특성에 가장 큰 영향을 미치는 물질로 알려져 있다(Boo 등, 2020). 앞선 Boo 등(2020)의 연구에서 무의 관능적 특성에 영향을 주는 휘발성 화합물을 검토하였고, 그 결과 황 화합물의 개수 및 함량이 높은 경향을 확인할 수 있었다. 휘발성 함량 화합물은 무의 주요 향기 성분 및 향 활성에 높은 영향을 나타내며(Boo 등,

2020), methanethiol은 황냄새를 나타내는 화합물로서 다른 휘발성 화합물의 전구체 역할을 담당하고 있다(Li 등, 2013). 본 연구에서 함량 화합물들 중 dimethyl sulfide가 확인되었고, dimethyl sulfide는 무의 향 활성을 나타내는 중요한 물질로서 methanethiol 분해 및 미생물의 분해 작용에 의해 생성되는데, 농도의 dimethyl sulfide는 인간에게 불쾌한 향기 이미지로 인식되는 것이 일반적이다(Li 등, 2013).

다변량 분석을 이용한 무 품질특성 분석

본 연구에서 확인된 이화학적 특성(당도, 염도, pH) 및 관능적 특성(맛 성분, 향기 성분) 다변량 분석법 중 하나인 주성분 분석(PCA)을 이용하여 개별 시료에 주요한 영향을 주는 variables를 탐색하였고, 개별 시료들의 variables에 의해 분리된 결과 패턴은 Fig. 2에 나타내었다. PCA를 통해 확인된 분리 패턴 결과는 PC1에서 67.93%의 variance가 확인되었고, PC2에서 23.27%의 variance가 확인되었다. 품종별 무 시료들은 주로 PC1의 영향에 의해 구분되었고, 청정고원무와 서호무는 PC1을 기준으로 양(+)의 방향에 위치하였다. 반면 만사형동무와 맛동무는 PC1을 기준

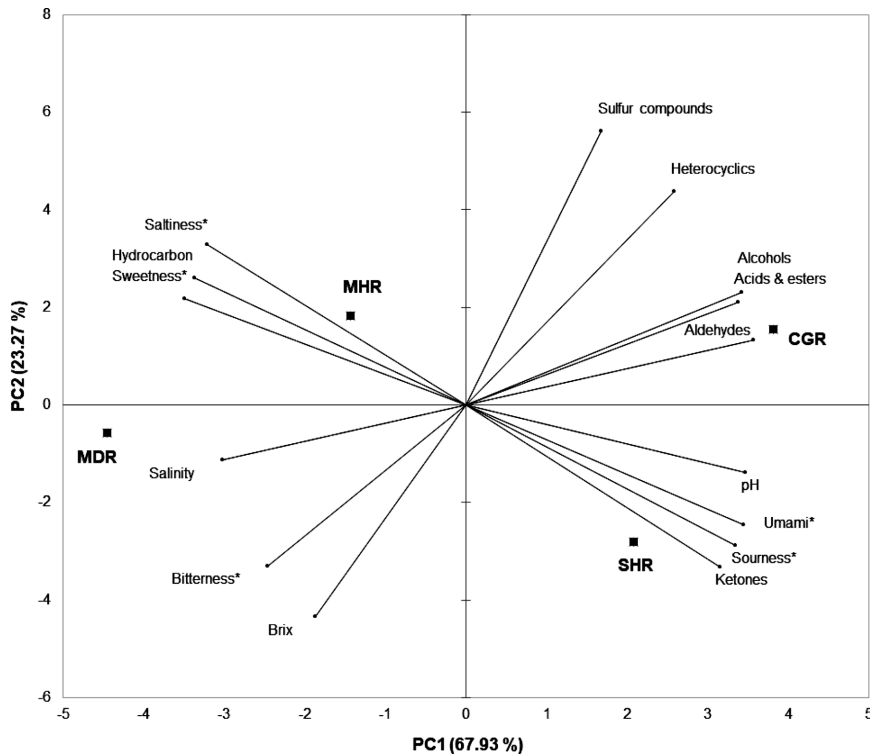


Fig. 2. Principal component analysis of sensory and chemical parameters in various radish varieties. SHR: *Seoho*-radish, CGR: *Cheongjunggowon*-radish, MHR: *Mansahyungdong*-radish, and MDR: *Matdong*-radish, respectively. Symbol (*) corresponds taste sensor parameters.

으로 음(-)의 방향에 위치하였다. PC1 뿐만 아니라 PC2에 의해서도 개별 품종들의 분리가 확인되었고, 청정고원무 및 만사형통무는 PC2 기준으로 양(+)의 방향 그리고 서호무 및 맛동무는 음(-)의 방향에 위치하였다. 본 연구에서 확인된 개별 variables의 영향을 확인하기 위해 loading plot을 이용하여 패턴 결과를 확인하였다. 청정고원무는 휘발성 alcohols류, acids와 esters류, 그리고 aldehydes류 화합물에 의해 제1사분면에 위치하였고, 이들 세 가지의 variables는 모든 시료들 중 청정고원무에서 상대적으로 가장 높은 함량을 나타내었다. 그리고 이들 variables에서 cheese, rancid, 그리고 sour의 odor description을 나타내는 heptanoic acid, green과 oily의 odor description을 나타내는 *trans*-carveol, 그리고 fishy, green, 그리고 sweet의 odor description을 나타내는 4-heptanal이 청정고원무의 분리에 영향을 미친 개별 휘발성 화합물(alcohols류, acids와 esters류, aldehydes류) 그룹에서 가장 높은 함량을 차지하였다. 만사형통무는 청정고원무와 달리 휘발성 화합물(hydrocarbons류)의 영향뿐만 아니라 맛 성분(saltiness, sweetness)센서 결과값의 영향에 의해 분리되어 제2사분면에 위치하였다. 만사형통무의 variables 중 하나인 hydrocarbons류에서 balsamic과 관련된 odor description을 나타내는 isopropyl cinnamate이 확인되었다. 해당 휘발성 화합물은 만사형통무의 맛 성분(saltiness, sweetness)에 영향을 줄 수 있다고 판단되지만, 높은 threshold를 가지는 hydrocarbons류의 특징에 의해 isopropyl cinnamate이 만사형통무의 향 활성화에는 거의 영향을 미치지 않을 것으로 판단된다(Li 등, 2013). 맛동무는 제3사분면에 위치하였고, 여러 variables 중 salinity (염도)의 영향에 의해 분리되었다. 맛동무의 염도 결과는 모든 시료들 중 가장 높은 염도를 나타내었다($p < 0.05$). 그리고 서호무의 경우 주로 휘발성 ketones류와 맛 성분(sourness, umami) 센서에 의해 분리되어 제4사분면에 위치

하였고, pH 또한 서호무의 분리 패턴 결과에 영향을 주는 variable로 확인되었다. 서호무의 분리에 영향을 준 variables 중 fresh, fruity, 그리고 sweet의 odor description을 나타내는 γ -decalactone이 휘발성 ketones류 화합물에서 가장 높은 함량을 차지하였고, pH는 모든 시료들 중 두 번째로 높은 결과를 나타내었다. pH 측정의 지표인 수소이온(H^+) 농도는 인간이 신맛을 감지할 때 영향을 주며, 이러한 pH와 신맛의 상관관계에 의해 본 연구에서도 pH가 전자혀의 신맛과 관련된 센서에 영향을 주었다고 판단된다(Kim 등, 2004). 하지만 pH와 인간이 느끼는 신맛의 정도는 비교적 낮은 양의 상관관계를 나타내므로 본 연구에서도 pH의 결과 값과 전자혀 센서에서의 신맛과 관련된 센서 값 사이에서 높은 양의 상관관계를 나타내지 않았다고 생각된다(Kim 등, 2004). 그러므로 서호무에서 발견된 휘발성 화합물 및 pH의 결과가 함께 서호무의 맛 성분(sourness, umami)에 영향을 주었다고 판단된다. 본 연구에서 확인된 주성분 분석(PCA) 결과 무의 중요한 휘발성 화합물인 황화합물에 의한 분리는 발생하지 않았다.

품종별 무의 군집분석(CA)의 결과는 Fig. 3에 나타내었다. 먼저 Fig. 3(a)에서는 전자혀를 통해 확인된 맛 성분에 의해 크게 2개의 그룹으로 분리가 확인되었다. 만사형통무와 맛동무가 매우 높은 유사도를 보이며 하나의 그룹을 형성하였고, 서호무와 청정고원무가 다른 그룹을 형성하였으며 유사도는 앞선 그룹보다는 다소 낮게 확인되었다. 본 결과를 통해 같은 무라도 해도 품종과 지역에 따라서 맛성분의 차이를 다변량 분석을 통해 확인이 가능하다는 것을 확인할 수 있었다. Fig. 3(b)의 경우 전자코를 통해 확인된 향기 성분을 통해 제주 품종인 만사형통무와 맛동무 사이에 상대적으로 낮은 차이도를 나타내는 그룹과 서호무와 청정고원무 사이에 상대적으로 낮은 차이도를 나타내면서 형성된 또 다른 그룹을 확인할 수 있었다. 앞에 전자혀에서 언급된 내용

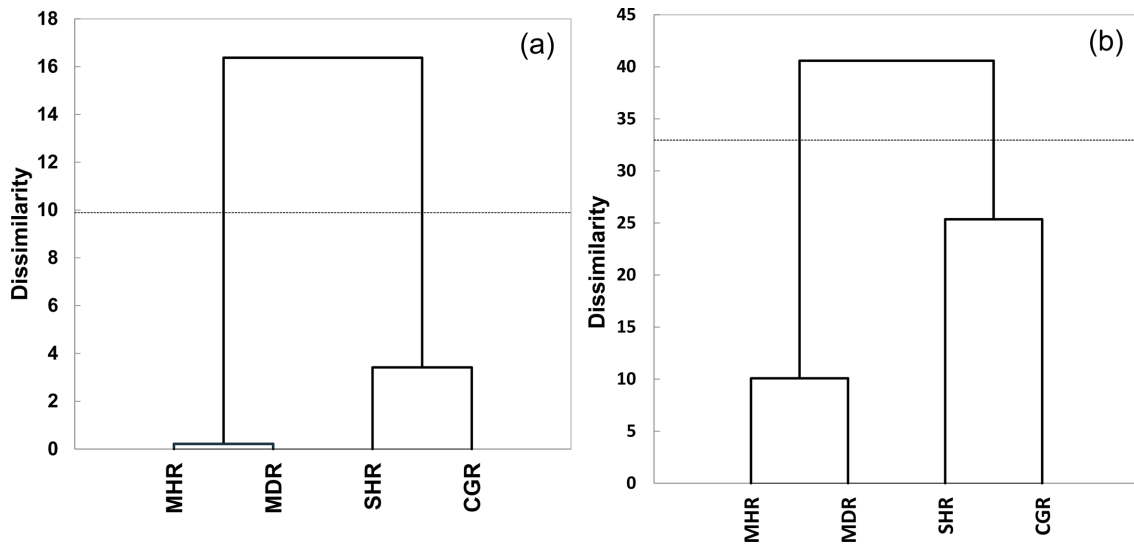


Fig. 3. Agglomerative hierarchical clustering analysis of sensory and chemical parameters in various radish varieties (a) taste (e-tongue) and (b) flavor (e-nose). SHR: *Seoho*-radish, CGR: *Cheongjunggowon*-radish, MHR: *Manshyungdong*-radish, and MDR: *Matdong*-radish, respectively.

과 같이 전자코와 전자혀에서 분석된 맛과 향에 대한 결과를 군집분석을 통해 품종 간의 차이와 유사도를 분류할 수 있다는 것을 확인할 수 있었다. 또한 관련 문헌을 보면 주성분 분석을 이용하여 제주산 무의 크기에 따른 관능적 특성 차이를 주성분 분석을 활용하여 보고한 연구가 있으며(Boo 등, 2020), 품종별 차이에 따른 땅콩의 지방산 조성 차이를 주성분 분석과 군집분석을 이용하여 시료 간 차이를 비교한 연구도 보고되고 있다(Shin 등, 2010a; Shin 등, 2010b).

요 약

본 연구는 다양한 국내에서 재배되는 무의 품종 차이에 따른 이화학적 특성 및 관능적 특성을 관찰하였고, 이를 위해 당도, 염도, pH, 전자혀 및 전자코 분석을 진행하였다. 네 가지 품종 중 맛동무가 가장 높은 당도를 나타내었고, 만사형통무가 가장 낮은 당도를 나타내었다. 염도의 경우 맛동무가 가장 높은 염도를 나타내었고, 맛동무를 제외한 나머지 시료들의 경우 품종 간 차이가 발생하지 않았다. pH의 경우 서호무가 가장 높은 pH를 나타내었고, 청정고원무와 만사형통무가 가장 낮은 pH를 나타내는 것을 확인하였다. 전자혀 센서를 통해 확인된 맛 성분의 결과는 서호무와 청정고원무가 신맛과 관련된 센서값이 대체로 높은 것을 확인할 수 있었고, 만사형통무와 맛동무가 대체로 낮은 것을 확인할 수 있었다. 반면 짠맛과 관련된 센서의 결과는 만사형통무와 맛동무가 높은 센서 값을 나타내었고, 서호무와 청정고원무가 대체로 낮은 센서 값을 나타내었다. 감칠맛과 관련된 센서는 서호무와 청정고원무가 대체로 높은 값을 나타내었고, 만사형통무와 맛동무가 대체로 낮은 값을 나타내었다. 그리고 단맛과 관련된 센서 결과는 서호무와 청정고원무가 낮은 센서 값을 나타내었고, 만사형통무와 맛동무가 낮은 센서 값을 나타내었다. 그리고 전자코를 이용하여 휘발성 화합물을 분석하였고, 그 결과 모든 품종의 무에서 휘발성 황황화합물인 methanthiol이 가장 높은 함량을 나타내었다. 이화학적 특성 및 관능적 특성을 이용하여 시료들의 패턴을 주성분 분석을 통해 확인하였고, 그 결과 청정고원무는 휘발성 aldehydes류, acids와 esters류, 그리고 alcohols류

화합물이 variables로 확인되었다. 만사형통무는 전자혀의 짠맛과 관련된 센서, 단맛과 관련된 센서, 그리고 휘발성 hydrocarbons류가 variables로 확인되었다. 맛동무는 염도의 결과에 의해 다른 시료들과 구분되는 위치를 나타내었고, 서호무는 휘발성 ketones류 화합물, 신맛과 관련된 센서, 감칠맛과 관련된 센서, 그리고 pH가 variables로 확인되었다. 앞선 이화학적 특성 및 관능적 특성의 결과를 이용하여 시료 간 차이를 군집분석을 통해 확인하였고, 만사형통무와 맛동무가 시료 간 상대적으로 낮은 차이도를 나타내었다. 그리고 서호무와 청정고원무가 시료 간 상대적으로 낮은 차이도를 나타내었다. 본 연구의 결과는 국내에서 재배되는 품종별 무의 이화학적 특성과 관능적 특성에 대한 기초 자료로써 검토 및 활용이 가능할 것으로 판단된다.

감사의 글

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

References

- Bae EJ, Kim CW, Lim BR, Gang GY, Her YY, Park YS, Jeong ST. Quality characteristics of grape varieties for making wine. *J. East Asian Soc. Diet. Life.* 30(1): 51-58 (2020)
- Bae R, Lee YK, Lee SK. 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(4): 409-416 (2012)
- Boo CG, Hong SJ, Lee YS, Park SS, Shin EC. 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(12): 1407-1415 (2020)
- Cho JJ, Hong SJ, Boo CG, Youn MY, Lee SM, Shin EC. Comparison between asiatic jasmine and white-flower asian jasmine in quality characteristics during the parching process. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 49(7): 704-715 (2020)
- Clarke JD, Hsu A, Riedl K, Bella D, Schwartz SJ, Stevens JF, Ho E. Bioavailability and inter-conversion of sulforaphane and erucin in human subjects consuming broccoli sprouts or broccoli supple-

- ment in a cross-over study design. *Pharmacol. Res.* 64(5): 456-463 (2011)
- Coogan RC, Wills RBH. Effect of drying and salting on the flavour compound of Asian white radish. *Food Chem.* 77: 305-307 (2002)
- Diana GC, Daxenbichler ME, Vanette CH. Glucosinolates in radish cultivars. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 110: 634-638 (1985)
- Dinkova-Kostova AT, Rumen VK. Glucosinolates and isothiocyanates in health and disease. *Trends Mol. Med.* 18(6): 337-347 (2012)
- Hong SJ, Cho JJ, Boo CK, Youn MY, Lee SM, Shin EC. Comparison of physicochemical and sensory properties of bean sprout and peanut sprout extracts, subsequent to roasting. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 49(4): 356-369 (2020)
- Kim UK, Breslin PAS, Reed D, Drayna D. Genetics of human taste perception. *J. Dent. Res.* 83: 448-453 (2004)
- Kim B, Cho YJ, Kim M, Hurh B, Baek HH. Changes in volatile flavor compounds of radish fermented by lactic acid bacteria. *Korean J. Food Sci. Technol.* 51: 324-329 (2019)
- Lee SH, Hwang IG, Lee YR, Joung EM, Jeong HS, Lee HB. Physicochemical characteristics and antioxidant activity of heated radish (*Raphanus sativus* L.) extracts. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 38: 490-495 (2009)
- 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. Technol.* 48: 2429-2437 (2013)
- Shin EC, Craft BD, Pegg RB, Phillips RD, Eitenmiller RR. Chemometric approach to fatty acid profiles in runner-type peanut cultivars by principal component analysis (PCA). *Food Chem.* 119: 1262-1270 (2010a)
- Shin EC, Pegg RB, Phillips RD, Eitenmiller RR. Commercial Runner peanut cultivars in the USA: fatty acid composition. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.* 112: 195-207 (2010b)