전자 센서를 이용한 브로콜리의 추출별 향미 특성 비교

홍성준¹ · 부창국¹ · 조성민¹ · 윤소정¹ · 정향연¹ · 이영승² · 박성수³ · 신의철¹

¹경상국립대학교 식품과학부/식품감각인지연구소

²단국대학교 식품영양학과

³제주대학교 식품영양학과

A Comparative Research of Flavor Characteristics in Different Methods of Broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica*) Extracts Using Electronic Sensors

Seong Jun Hong¹, Chang Guk Boo¹, Seong Min Jo¹, Sojeong Yoon¹, Hyangyeon Jeong¹,
Youngseung Lee², Sung-Soo Park³, and Eui-Cheol Shin¹

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 and Nutrition, Jeju National University

ABSTRACT This study compared flavor and taste patterns in various broccoli extracts using the electronic nose and electronic tongue. The electronic nose analysis identified a total of 41 volatiles, including 9 acids and esters, 8 alcohols, 6 aldehydes, 6 heterocyclics, 7 hydrocarbons, 5 sulfur-containing compounds, and 2 ketones. The principal component analysis for volatiles demonstrated that principal component 1 (PC1) showed 37.67%, PC2 showed 28.69% and PC3 showed 19.94% variances, respectively. Hot-brewed extracts and espresso extracts were separated by the PC1 and hot-brewed extracts were located on the negative PC1 axis. However, espresso extracts were located on the positive PC1 axis. the cold-brewed extracts of stem and floret were separated by PC2. In the electronic tongue analysis, the sensor values of sourness (SRS) and sweetness (SWS) showed the highest value in the cold-brewed extracts, followed by hot-brewed extracts and espresso extracts, regardless of the broccoli parts. However, the sensor value of umami taste (UMS) showed the highest in the hot-brewed extracts, followed by the cold-brewed extracts and espresso extracts. The sensor value of bitterness (BRS) was high in the hot-brewed extracts and espresso extracts. However, cold-brewed extracts showed low BRS. In the principal component analysis for tastes, PC1 showed a 60.03% variance and PC2 showed a 20.49% variance. Cold-brewed extracts were located on the positive PC1 axis by the SRS and SWS. However, hot-brewed and espresso extracts were mainly affected by the BRS.

Key words: broccoli, volatiles, tastes, electronic nose, electronic tongue

서 론

브로콜리(*Brassica oleracea* var. *italica*)는 대표적인 십자화과 속 작물 중 하나로써 라틴어로 가지(branchium)라는 뜻으로 길은 녹색을 나타내는 특성으로 인해 녹색꽃양배추라고도 불린다. 브로콜리는 매우 낮은 지방이 함유되어 있지만 무기질, 섬유질, 그리고 비타민은 풍부하게 함유되어 있다. 앞선 물질들 이외에도 glucoraphanin이 함유되어 있는데, glucoraphanin은 효소(myrosinase)를 통해 가수분

해 되어 항암, 항산화, 위궤양 예방, 면역력 향상, 항노화, 그리고 피부질환 예방효과를 나타내는 sulforaphane으로 전환된다(Kim 등, 2019b; Lim 등, 2021). 인체 내 긍정적인 효과를 가져 올 수 있는 브로콜리 속 sulforaphane은 제2상 무독화 효소인 quinone reductase와 glutathione S-transferase의 활성을 증가시키고, 이로 인해 암 발생과 관련된 물질대사를 조절하여 항암 효과를 나타낸다(Lim 등, 2021). 다양한 생리활성 효과를 가지는 브로콜리에 관한 연구로는 브로콜리 분말이 첨가된 식빵의 항산화 특성 검토 연구(Lee,

Received 1 July 2021; Revised 3 September 2021; Accepted 3 September 2021

Corresponding author: Eui-Cheol Shin, Department of Food Science, Gyeongsang National University, 33, Dongjinro, Jinju-si, Gyeongnam 52725, Korea, E-mail: eshin@gnu.ac.kr

Author information: Seong Jun Hong (Graduate student), Chang Guk Boo (Graduate student), Seong Min Jo (Student), Sojeong Yoon (Student), Hyangyeon Jeong (Student), Youngseung Lee (Professor), Sung-Soo Park (Professor), Eui-Cheol Shin (Professor)

Copyright © 2021 by The Korean Society of Food Science and Nutrition. All rights Reserved.

This is Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<https://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.

2015), 브로콜리 잎에 함유된 비타민 C 및 무기질 함량 검토 연구(Kim 등, 1999), 그리고 조리가공 방법에 따른 브로콜리 속 sulforaphane의 함량 변화(Kim 등, 1997) 등이 보고되고 있다.

브로콜리는 크게 화퇴(꽃봉오리의 집합체), 줄기, 그리고 잎으로 구분되고 주로 화퇴 부분을 식용으로 많이 이용한다(Lim 등, 2021; Liu 등, 2018). 브로콜리는 β -carotene, violaxanthin, neoxanthin, 그리고 lutein과 같은 carotenoid류에 함유되어 있으며 부위에 따라 서로 다른 함량을 나타낸다. Carotenoid류 이외에도 브로콜리의 색을 나타내는 지용성 색소인 chlorophyll류, sulforaphane으로 전환되는 glucoraphanin과 같은 glucosinolate류, 그리고 비타민 E류 또한 함유되어 있으며 부위에 따라 서로 다른 함량을 가지고 있다(Liu 등, 2018). 브로콜리 부위에 따른 서로 다른 생리활성 물질의 함량으로 인해 화퇴, 줄기, 그리고 잎의 항산화능이 차이가 발생한다(Liu 등, 2018; Lee와 Park, 2005).

식품소재로서 브로콜리의 이용은 주로 화퇴 부분을 끓는 물에 데치는 형태의 조리 과정 후 섭취하며, 이러한 가열 과정을 통해 항산화 물질들이 감소할 수 있다(Kim 등, 2009; Lee와 Park, 2005). 그리고 브로콜리즙과 브로콜리 추출물 형태로도 섭취하며, 이 중 브로콜리 추출물은 만성 질환의 예방 효과를 나타내어 다양한 기능성 식품 및 의약품의 소재로 이용되고 있다(Ares 등, 2013; Lim 등, 2021). 브로콜리 추출물에 관한 연구는 고온에서의 브로콜리 부위별 추출물의 항균 및 항산화능 측정(Lee와 Park, 2005), 브로콜리 추출물을 이용한 레드비트 색소의 저장 안정성 향상 연구(Kim 등, 2019b), 그리고 열처리된 브로콜리 추출물의 항염증 효과(Kim, 2019) 등이 보고되었다. 앞선 제시된 연구들과 같이 부위와 열처리 과정에 관한 브로콜리 및 추출물에 관한 이화학적 특성 검토가 대부분이며, 식품소재의 중요한 특성 중 하나인 맛 성분 및 향기 성분에 대한 관능적 특성을 검토한 연구는 미비한 실정이다. 그래서 본 연구에서는 부위별(화퇴 및 줄기)과 추출 방식(열수 추출, 냉수 추출, 그리고 고온가압 추출)에 따른 브로콜리 추출물의 향기 성분과 맛 성분을 전자 센서를 통해 조사하였다.

재료 및 방법

실험 재료

본 연구에 사용된 브로콜리는 제주 지역에서 2021년도에 재배된 브로콜리를 사용하였고, 품종은 SK-3 브로콜리를 사용하였다. 실험에 사용된 브로콜리는 부위에 따라 화퇴 및 줄기로 분류하였고, 실험 전 -20°C 냉동보관을 통해 향기 성분과 맛 성분의 손실을 방지하였다. 브로콜리 추출물은 플라스틱 강판을 이용하여 브로콜리를 슬러리(slurry) 상태로 만든 후 추출하였다. 추출 방법은 브로콜리 슬러리 15 g과 100 mL의 정제수를 콜드브루 추출기(20°C , 3 h 30 min, BP-DM-CS550, Hured Co., Anyang, Korea), 열수 추출

기(95°C , 15 min, CM151GKR, Tefal Co., Haute-Savoie, France), 그리고 고온가압 추출기(95°C , 20 s, 15 bar, PCM-F18, Planit Co., Malvern, UK)를 이용하여 제조하였다. 샘플의 저장 과정에서 발생 가능한 선도저하에 따른 문제를 예방하고자 시간 지체 없이 전자코 및 전자혀 분석을 진행하였다.

전자코 분석

브로콜리 부위별 추출물들의 휘발성 향기 성분을 분석하기 위해 각각의 샘플 10 mL씩 space vial(22.5 mm $\times$ 75 mm, PTFE/silicon septum, aluminum cap)에 넣고, 500 rpm의 속도로 50°C 에서 10분 동안 교반하였다. 자동시료 채취기를 통해 2,000 μL 의 휘발성 향기 성분을 headspace에서 포집했다. 이후 전자코시스템(HERACLES Neo, Alpha MOS, Toulouse, France)을 이용하여 주입하였고, MXT-5 column을 장착한 후 flame ionization detectors(FID)로 분석하였다. Trap absorption temperature 40°C , trap desorption temperature 250°C , 그리고 acquisition time은 227초의 조건에서 휘발성 향기 성분을 분석하였다. 전자코 시스템에 내장된 Kovat's index library 기반의 AroChem Base(Alpha MOS)는 약 80,000여 개 이상의 화합물이 저장되어있고, 이를 통해 분리된 피크의 휘발성 향기 성분을 정성하였다. 전자코 분석은 총 3회 실시하였고, 샘플들 간의 향기 성분 패턴은 주성분 분석(principal component analysis; PCA)을 통해 확인하였다(Hong 등, 2021).

전자혀 분석

브로콜리 부위별 추출물들의 맛 성분을 분석하기 위해 전자혀 분석시스템(ASTREE II, Alpha MOS)을 이용하였다. 전자혀 시스템에서 제공되는 7개의 센서 중에서 2개의 reference에 관여하는 센서(GPS: metallic, SPS: spiciness)와 5가지 맛 성분(UMS: umami, BRS: bitterness, STS: saltiness, SWS: sweetness, SRS: sourness) 센서를 이용하여 분석하였다. 5가지 맛 성분 센서 중 UMS는 감칠맛, BRS는 쓴맛, STS는 짭맛, SWS는 단맛, 그리고 SRS는 신맛과 관련된 맛 성분을 감지하기 위해 사용되었다. 전자혀 분석을 이용한 맛 성분 분석은 각각의 브로콜리 추출물 100 mL를 전자혀 센서를 이용하여 측정하였다. 맛 성분 분석은 120초 동안 전자혀 센서에 접촉시킨 후 분석을 진행하였다. 샘플 간 오염으로 인한 분석 결과의 오류를 방지하기 위해 정제수를 이용하여 분석 과정 중 세척을 함께 진행하였다. 샘플 그룹 간의 맛 성분 패턴은 주성분 분석(PCA)을 통해 확인하였다(Lee 등, 2020).

통계처리

본 연구에서 제시된 실험값은 평균값(mean)과 표준편차(SD)로 나타내었고, 주성분 분석 및 군집 분석을 통해 샘플에 존재하는 향기 성분 및 맛 성분 패턴 분석을 진행하였다.

패턴 분석은 XLSTAT software ver. 9.2(Addinsoft, Paris, France)를 이용하였고, 통계적 접근을 통한 결과값은 종속 변수와 독립변수 사이의 상관관계를 bi-plot을 이용하여 제시하였다(Hong 등, 2021).

결과 및 고찰

전자코 분석

전자코 분석시스템을 통한 브로콜리의 부위에 따른 추출별 휘발성 향기 성분의 차이는 Table 1에 나타내었다. 모든 샘플에서 acids와 esters류 7종, alcohols류 8종, aldehydes류 6종, heterocyclic compounds 6종, hydrocarbons류 7종, sulfur-containing compounds 5종, 그리고 ketones류 2종이 검출되어 총 41종의 휘발성 향기 성분이 확인되었다. 이 중 브로콜리 화퇴 부위의 콜드브루 추출물은 11종, 열수 추출물은 13종, 그리고 고온가압 추출물은 17종의 휘발성 향기 성분이 검출되었으며, 줄기 부위의 콜드브루 추출물은 13종, 열수 추출물은 11종, 그리고 8종의 휘발성 향기 성분이 검출되었다. 콜드브루 추출의 경우 줄기 부위에서 더 많은 향기 성분이 검출되었지만, 열수를 이용하여 추출한 열수 추출물 및 고온가압 추출물의 경우 화퇴 부위에서 더 많은 향기 성분이 검출되었다.

앞선 향기 성분들 중 acids와 esters류는 줄기 부위의 콜드브루 추출물을 제외한 모든 샘플에서 alcoholic의 odor description을 나타내는 ethyl isobutyrate가 검출되었고, 그중 화퇴 부위의 콜드브루 추출물에서 가장 높은 peak area가 확인되었다. 최근 Lu 등(2019)의 연구에서는 식물 소재에서 휘발성 esters류 중 ethyl isobutyrate를 검출하였지만, 높은 threshold에 의해 식물 소재의 실제 향 발현에 영향을 주는 향기 성분으로는 판단하지 않았다. 또한 Wiczorek 등(2020)의 연구에서 브로콜리의 휘발성 향기 성분 중 esters류를 검출하였지만, 다른 향기 성분들에 비해 상대적으로 낮은 비율을 나타내어 브로콜리의 주요 향기 성분으로 분류되지 않았다. 앞선 연구들을 통해 ethyl isobutyrate의 높은 threshold에 의해 화퇴 부위의 콜드브루 추출물을 제외한 다른 샘플들에서는 향 발현에 거의 영향을 미치지 않을 것으로 판단되며, 상대적으로 높은 peak area가 확인된 화퇴 부위의 콜드브루 추출물에서도 브로콜리의 향 발현으로 판단되는 향을 묘사하지는 않을 것으로 판단된다.

Alcohols류는 alcoholic의 odor description을 나타내는 ethanol과 citrus 및 earthy의 odor description을 나타내는 3-octanol을 제외한 다른 휘발성 alcohols류는 상대적으로 큰 변화를 나타내지 않았다. Ethanol은 화퇴 부위의 콜드브루 추출물에서 가장 높은 peak area를 나타내었지만, 화퇴 부위의 열수 추출물 및 고온가압 추출물에서는 검출되지 않았다. 반면에 줄기에서는 콜드브루 추출물에서 검출되지 않았고, 열수 추출물 및 고온가압 추출물에서 ethanol이 검출되었다. 3-Octanol은 화퇴의 열수 추출물에서 가장 높은

peak area를 나타내었고, 줄기의 열수 추출물 및 고온가압 추출물에서 확인되었다. 반면 브로콜리 부위에 상관없이 콜드브루 추출물에서는 3-octanol이 검출되지 않았다. 앞선 두 alcohols를 제외한 나머지 alcohols류도 콜드브루 추출물에서만 검출된 volatile alcohols류는 열수 및 고온가압 추출물에서 검출되지 않았고, 열수 및 고온가압 추출물에서 확인된 volatile alcohols류는 콜드브루 추출물에서 확인되지 않았다. 브로콜리의 volatile alcohols류는 주요한 향기 성분 중 하나이며, 브로콜리 이외의 십자화과 식물에서도 alcohols류가 확인되었다(Wieczorek 등, 2020; Wieczorek과 Jeleń, 2019).

Aldehydes류는 화퇴의 콜드브루 추출물과 줄기의 열수 추출물을 제외한 모든 브로콜리 추출물에서 acetaldehyde가 검출되었고, 줄기에서 화퇴에 비해 상대적으로 더 높은 peak area가 확인되었다. 모든 volatile aldehydes류 중 2-methylpentanaldehyde가 가장 높은 peak area를 나타내었고, 모든 샘플들 중 줄기의 콜드브루 추출물에서만 2-methylpentanaldehyde가 확인되었다. 2-Methylpentanaldehyde는 식물 소재 중 하나인 표고버섯에서 발견되는 향기 성분이며(Hwang 등, 2021), acetaldehyde는 십자화과 식물 중 하나인 월동무에서 fresh 및 aldehydic의 odor description을 나타내는 물질로 확인하였다(Boo 등, 2020).

Heterocyclics compounds는 2,4,5-trimethylthiazole이 모든 volatile heterocyclics류 중 가장 높은 peak area를 나타내었으며, 오직 화퇴의 콜드브루 추출물에서만 검출되었다. 이와 달리 ambroxide는 줄기의 고온가압 추출물을 제외한 모든 추출물에서 검출되었고, 콜드브루 추출물에 비해 열수 및 고온가압 추출물들에서 상대적으로 낮은 peak area를 나타내었다. Thiazole은 earthy 및 frozen meat과 관련 있는 향 활성을 나타내며, 2,4,5-trimethylthiazole은 중성의 pH에서 L-cysteine이 분해되어 생성된다(Yu 등, 2012). Ambroxide는 oxygenated sesquiterpenes이며, *Cistus salvifolius* 에센셜 오일에서 발견되는 주요한 향기 성분들로 알려져 있다(Pistelli 등, 2019).

Hydrocarbons compounds는 브로콜리의 부위별 또는 추출 방법에 따른 향기 성분의 뚜렷한 변화가 나타나지 않았고, 모든 향기 성분 중 green의 odor description을 나타내는 β -pinene이 가장 높은 peak area를 나타내었다. β -Pinene은 오직 화퇴의 고온가압 추출물에서만 검출되었다. β -Pinene은 식물의 향 또는 green과 관련된 향 활성을 나타내는 향기 성분이며, 항산화와 항염증 효과를 나타내는 물질이다(Kim 등, 2018). 여성의 경우 β -pinene을 흡입하게 되면 전두엽의 absolute fast α -wave를 증가시켜 심신 안정과 부교감신경 활성의 효과를 가져올 수 있다(Kim 등, 2018). 대부분의 hydrocarbons compounds는 다른 향기 성분들과 비교해 볼 때 매우 높은 thresholds를 가지고 있어 높은 함량에도 불구하고 대부분 실제 향 활성을 나타내지 않는다(Song 등, 2018; Li 등, 2013). 그리고 β -pinene 또

Table 1. Volatile compounds in various broccoli extracts using electronic nose

Compounds	RT ⁽¹⁾ (RI ²)	Sensory description	(Peak area × 10 ³)			
			Floret		Stem	
			Cold-brew	Hot-brew	Cold-brew	Hot-brew
Acids and esters (7)						
Diethyl ether	16.31 (464)	Etheral	0.73±0.01	0.16±0.05	ND ³⁾	ND
Diisopropyl ether	22.18 (596)	Etheral	ND	ND	ND	ND
Acetic acid	22.19 (596)	Acetic, sour	ND	ND	0.04±0.03	ND
Ethyl isobutyrate	37.69 (753)	Alcoholic	26.67±0.05	1.30±0.08	ND	2.66±0.07
Ethyl butyrate	43.46 (802)	Acetone, sweet	ND	ND	ND	ND
Butyl propanoate	54.38 (908)	Earthy, sweet, rum	ND	ND	0.09±0.04	ND
Butanoic acid, dodecyl ester	101.60 (1,755)	Fatty, fruity, rancid	ND	ND	0.04±0.03	ND
Alcohols (8)						
Methanol	15.04 (436)	Alcoholic	ND	0.23±0.03	ND	0.23±0.01
Ethanol	15.08 (437)	Alcoholic	0.99±0.08	ND	ND	0.13±0.01
2-Methyl-2-propanol	16.36 (466)	Camphor	ND	ND	ND	0.08±0.01
2-Propanol	17.47 (490)	Alcoholic	0.08±0.01	ND	ND	ND
1-Hexanol	49.74 (862)	Green, floral	0.18±0.02	ND	ND	ND
3-Octanol	61.47 (991)	Citrus, earthy	ND	1.71±0.33	ND	0.16±0.04
Cymen-8-ol	73.94 (1,179)	Citrus, floral, sweet	ND	ND	0.11±0.01	ND
Geranol	78.28 (1,257)	Citrus, floral, sweet	ND	ND	0.09±0.04	ND
Aldehydes (6)						
Acetaldehyde	13.66 (405)	Aldehydic, fresh	ND	0.04±0.04	0.18±0.15	0.25±0.01
2-Methylpropanal	18.60 (516)	Fresh, green, aldehydic	0.14±0.01	ND	0.15±0.11	ND
2-Methylpentanal	37.79 (754)	Etheral, green	ND	ND	9.52±8.27	ND
2,4-Hexadien-1-al	54.12 (905)	Citrus, green, vegetable	0.07±0.01	ND	ND	ND
(E,E)-2,4-Nonadienal	76.01 (1,215)	Green	ND	0.22±0.03	ND	ND
trans-4,5-Epoxy-(E)-2-decenal	85.62 (1,402)	Aldehydic, citrus, green	ND	ND	ND	ND
Heterocyclic compounds (6)						
Furan	17.44 (490)	Etheral	ND	ND	ND	ND
2,4,5-Trimethylthiazole	61.32 (990)	Green, vegetable	1.71±0.41	ND	ND	0.06±0.06
Camphor	73.85 (1,178)	Green, leafy	ND	0.11±0.03	ND	ND
Indole	80.96 (1,307)	Sweet, floral	ND	0.08±0.07	ND	ND
Myristicin	91.36 (1,527)	Mild	ND	ND	0.27±0.14	0.19±0.03
Ambroxide	104.92 (1,828)	Paper, sweet	0.83±0.23	0.64±0.21	0.75±0.15	0.68±0.20
Hydrocarbons (7)						
2-methylbutane	16.34 (465)	Pleasant	ND	ND	ND	ND
Pentane	16.66 (472)	Alkane	ND	0.18±0.05	0.13±0.11	ND
Hexane	22.32 (599)	Alkane	0.07±0.01	ND	ND	ND
Nonane	54.20 (906)	Alkane, fusel	ND	ND	ND	ND
β-Pinene	61.00 (986)	Green	ND	ND	0.07±0.01	ND
1,2,8 para-Menthatriene	69.73 (1,110)	Sulfurous, terpenic	ND	0.10±0.01	ND	ND
1,3,8 para-Menthatriene	69.84 (1,112)	Sulfurous	ND	ND	ND	ND
Sulfur-containing compounds (5)						
Methanethiol	15.03 (436)	Cabbage, sulfurous	ND	0.25±0.03	0.45±0.06	0.14±0.01
Dimethyl disulfide	17.30 (487)	Vegetable, sulfurous, green	ND	1.30±0.02	0.21±0.25	0.22±0.02
Ethanethiol	18.60 (516)	Sulfurous	ND	ND	ND	ND
Pentanethiol	45.08 (817)	Sulfurous, vegetable	ND	ND	0.56±0.03	ND
Bis(2-methyl-3-furanyl disulfide	91.40 (1,528)	Onion	0.24±0.08	ND	0.07±0.01	ND
Ketones (2)						
2-(5H)-Furanone	54.14 (905)	Butter	ND	ND	ND	0.07±0.01
3-Octanone	61.46 (991)	Fresh, sweet	ND	ND	2.67±0.51	ND

Data are expressed as mean±SD values from experiments performed in triplicate.

¹⁾RT: retention time (s). ²⁾RI: retention index. ³⁾ND: not detected.

한 높은 threshold를 가지는 향기 성분이며, 실제 식물 소재에서 검출되어도 향 활성에 영향을 주지 않을 가능성이 높다 (Song 등, 2018; Kim 등, 2019a). 이런 β -pinene의 특성으로 인해 hydrocarbons류 중 가장 높은 peak area가 확인되었지만, 화뢰의 고온가압 추출물의 실제 향 활성에는 적은 영향을 줄 것으로 예상된다.

Sulfur-containing compounds는 화뢰의 콜드브루 추출물과 고온가압 추출물을 제외한 모든 추출물에서 methanethiol과 dimethyl disulfide가 검출되었다. 화뢰의 콜드브루 추출물에서는 bis(2-methyl-3)furyl disulfide가 검출되었고, 화뢰의 고온가압 추출물에서는 ethanethiol과 pentanethiol이 검출되었다. 브로콜리의 실제 향을 나타내

는 향기 성분들은 대부분 sulfur-containing compounds로 알려져 있다(Wieczorek 등, 2020; Xu 등, 2021; Lv 등, 2017). Dimethyl disulfide는 십자화과 채소에서 대표적인 향기 성분이며, 브로콜리의 주요한 향기 성분이다(Boo 등, 2020; Wieczorek 등, 2020). Dimethyl disulfide는 낮은 threshold로 인해 낮은 농도에서도 향 활성을 나타낸다(Boo 등, 2020). 이러한 dimethyl disulfide는 고농도 시 이취를 나타내는 특징이 있고, glucosinolates의 분해로 생성된다(Boo 등, 2020). Methanethiol 또한 브로콜리에서 발견되며 피클의 향을 나타내는 향기 성분으로 알려져 있다(Wieczorek 등, 2020; Xu 등, 2021). 이러한 methanethiol은 미생물 또는 지질분해에 의해 dimethyl disulfide로 전환

Fig. 1. Interrelationship between each sample and each volatile compound using PCA analysis. (A) Plot for PC1-PC2 and (B) Plot for PC1-PC3.

Fig. 2. Dendrogram of samples based on the volatile profiles using cluster analysis.

되는 전구체로도 알려져 있다(Li 등, 2013).

Ketones류는 적은 함량에도 불구하고 낮은 thresholds를 가지는 향기 성분이며, 이러한 특성으로 인해 낮은 함량에도 불구하고 향 활성을 나타낼 가능성이 큰 화합물이다(Song 등, 2018). 모든 샘플들 중 줄기의 콜드브루 추출물에서만 fresh 및 sweet의 odor description을 나타내는 3-octanone이 검출되었고, 2.67 ± 0.51 의 peak area($\times 10^3$)를 나타내었다. 이는 브로콜리 추출물에서 모든 향기 성분 중 ethyl isobutyrate와 2-methylpentanaldehyde를 다음으로 높은 peak area를 가지는 향기 성분(3-octanone)으로 확인되었다. Kim 등(2019a)의 연구에서 ketones류는 열에 의해 쉽게 분해되는 특성을 나타내었고, 열처리하지 않은 식물 소재에서 가장 높은 함량을 나타내었다. 그리고 Wu 등(2021)의 연구에서 3-octanone이 실제 fresh, sweet 뿐만 아니라 herbal의 향기를 나타낸다는 보고가 확인하였다.

다변량 분석을 통한 휘발성 향기 성분의 패턴 분석

전자코 시스템을 통해 확인된 부위 및 추출 방법에 따른 브로콜리의 휘발성 향기 성분의 차이는 다변량 분석법인 주성분 분석(Fig. 1A, B) 및 군집 분석(Fig. 2)을 이용하여 개별 샘플의 향기 성분 패턴 변화를 확인하였다. 총 7개 그룹의 휘발성 향기 성분 그룹 중 6개 그룹의 휘발성 향기 성분들만이 PC1과 PC2에서 유의적 상관성을 나타내었다. 반면 hydrocarbons류는 PC1과 PC2에서 매우 낮은 variances를 나타내었고, PC3에서 비교적 낮은 variance가 확인되었다. 주성분 분석을 통해 브로콜리 추출물의 휘발성 향기 성분 패턴을 확인한 결과, PC1에서 37.67%의 variance를 나타내었고, PC2에서 28.60%, 그리고 PC3에서 19.94%의 var-

iance를 나타내어 총 86.21%의 variances가 확인되었다. 열수 및 고온가압 추출물은 PC2 기준으로 양(+)의 방향에 위치하였고, 화퇴 부위의 추출물(열수 추출물, 고온가압 추출물)이 줄기의 추출물(열수 추출물, 고온가압 추출물)에 비해 상대적으로 더 상단에 위치하였다. 반면 콜드브루 추출물들은 PC2 기준으로 음(-)의 방향에 위치하였다. 콜드브루 추출물의 경우 주로 PC1에 의해 분리되었다. 화퇴의 콜드브루 추출물은 heterocyclic compounds, acids와 esters류, 그리고 sulfur-containing compounds에 의해 PC1 기준으로 음(-)의 방향에 위치하였다. 반면 줄기의 콜드브루 추출물은 aldehydes류와 ketones류에 의해 PC1 기준으로 양(+)의 방향에 위치하였다. 열수 추출물과 고온가압 추출물 또한 PC1에 의해 분리되었고, 그중 줄기의 열수 추출물은 alcohols류에 의해 PC1 기준으로 음(-)의 방향에 위치하였다. 그러나 열수 및 고온가압 추출물들은 PC1 기준으로 콜드브루 추출물에 비해 상대적으로 더 낮은 variances가 확인되었다. 앞선 주성분 분석에서 확인된 추출물들의 휘발성 향기 성분 패턴의 변화와 같이 줄기의 열수 및 고온가압 추출물들 사이의 차이도가 모든 샘플 중 상대적으로 가장 낮은 차이도를 나타내었고, 콜드브루 추출물들 사이의 차이도가 모든 샘플 중 상대적으로 가장 높은 차이도를 나타내었다.

다변량 분석법을 통한 식물 부위에 따른 휘발성 향기 성분 패턴 분석은 최근 Hong 등(2021)의 연구에서 회향의 부위에 따른 향기 성분을 차이를 확인하였다. 그리고 Boo 등(2020)의 연구에서 십자화과 채소 중 하나인 제주산 월동무의 크기에 따른 향기 성분 패턴 차이를 확인하였고, Cordoba 등(2019)의 연구에서 커피 원두의 종류보다 추출 온도와 같은 추출 방법이 커피의 향기 특성에 더 큰 영향을 발생시

키는 것을 확인하였다. 본 연구에서도 추출 방법에 따른 향기 성분 프로파일의 변화를 확인하였고, 십자화와 채소 및 브로콜리의 실제 향기 활성(Boo 등, 2020; Lv 등, 2017)에 기여하는 volatile sulfur-containing compounds 중 methanethiol과 dimethyl disulfide의 변화가 확인되었다. 모든 샘플들 중 화퇴의 열수 추출물과 줄기의 콜드브루 추출물에 함유된 methanethiol과 dimethyl disulfide이 다른 추출물들에 비해 상대적으로 높은 peak area를 나타내었고, 이는 생브로콜리 향 활성이 상대적으로 높게 나타날 것으로 판단된다. Dimethyl disulfide가 고농도로 함유되었을 때 이미와 이취를 발생시킬 수 있다(Boo 등, 2020). 따라서 이들 추출물은 다른 추출물들에 비해 기호도가 상대적으로 낮을 것으로 판단된다.

전자혀 분석

전자혀 분석시스템을 통한 브로콜리의 부위에 따른 추출별 맛 성분의 차이는 Fig. 3에 나타내었다. 전자혀 분석시스템을 통해 확인된 신맛과 관련된 센서값은 브로콜리 부위에 상관없이 콜드브루, 열수, 그리고 고온가압 추출 순으로 높은 센서값이 확인되었다. 짠맛과 관련된 센서값은 화퇴의 경우 열수 추출물에서 가장 높은 센서값을 나타내었고, 고온가압 추출물에서 가장 낮은 센서값을 나타내었다. 반면 줄기의 경우 콜드브루 추출물에서 가장 높은 센서값을 나타내었고, 고온가압 추출물에서 가장 낮은 센서값을 나타내었다. 감칠맛과 관련된 센서값은 부위에 상관없이 열수, 콜드브루, 그리고 고온가압 추출물 순으로 높은 센서값을 나타내었다. 쓴맛과 관련된 센서값은 열수 및 고온가압 추출물에서 높은 센서값을 나타내었고 이에 비해 콜드브루 추출물에서 가장 낮은 센서값이 확인되었다.

전자혀 분석은 높은 객관성 및 재현성을 가지며 식물 소재

부위에 따른 맛 성분 차이를 확인하는 것이 가능하다(Hong 등, 2021). 최근 Boo 등(2020)의 연구에서 십자화와 채소(무)의 맛 성분을 분석하였고, 크기에 따른 맛 성분 차이를 확인하였다. 본 연구에서 확인된 전자혀 맛 성분 센서값 결과를 통해 브로콜리 부위보다는 추출 방법이 브로콜리 추출물의 맛 성분에 상대적으로 더 큰 영향을 미쳤다고 판단된다. 본 연구에서 확인된 맛 성분 센서값의 결과는 브로콜리의 부위에 함유된 아미노산, disodium inosinate(IMP), disodium guanylate(GMP), disodium adenylate(AMP), 유리당, 나트륨, 및 수소이온에 따른 영향과 추출 방법에 따른 앞선 성분들의 추출 정도가 변화하였다고 판단된다. 최근 Kim 등(2019a)의 연구에서 볶음 과정에 따른 백하수오의 아미노산 변화가 전자혀 맛 성분 센서값의 결과에 영향을 줄 수 있는 것을 확인하였고, Wang 등(2021)의 연구에서 IMP, GMP, AMP, 그리고 monosodium glutamate와 전자혀의 감칠맛과 관련된 센서값이 서로 양의 상관 관계를 나타내는 것을 확인하였다. 또한 Lee 등(2020)의 연구에서 pH와 전자혀의 신맛과 관련된 센서값 사이의 상관관계 및 유리당 함량과 전자혀의 단맛과 관련된 센서값 사이의 상관관계를 확인하였다.

다변량 분석을 통한 맛 성분의 패턴 분석

전자혀 시스템을 통해 확인된 부위 및 추출 방법에 따른 브로콜리의 맛 성분 차이는 다변량 분석법인 주성분 분석(Fig. 4) 및 군집 분석(Fig. 5)을 이용하여 개별 샘플의 맛 성분 패턴 변화를 확인하였다. 주성분 분석을 통해 브로콜리 추출물의 맛 성분 패턴을 확인한 결과, PC1에서 65.03%의 variance를 나타내었고, PC2에서 20.49%의 variance를 나타내어 총 85.52%의 variance를 나타내었다. 부위에 상관없이 콜드브루 추출물들은 PC1 기준으로 양(+)의 방향에 위치하였고, 신맛과 단맛에 관련된 센서 결과에 주로 영향을 받았다. 반면 화퇴의 콜드브루 열수 추출물을 제외한 나머지

Fig. 3. Taste profiles in various broccoli extracts using electronic tongue.

Fig. 4. Interrelationship between each sample and each taste compound using PCA analysis.

Fig. 5. Dendrogram of samples based on the taste profiles using cluster analysis.

열수 및 고온가압 추출물들은 PC1 기준으로 음(-)의 방향에 위치하였고, 쓴맛과 관련된 센서 결과에 주로 영향을 받았다. PC1과 달리 PC2 축을 통한 샘플 사이의 분리는 부위에 따른 분리가 확인되었다. 브로콜리 줄기의 추출물들은 PC2 기준으로 양(+)의 방향에 위치하였고, 브로콜리 화퇴의 추출물들은 음(-)의 방향에 위치하였다. 감칠맛과 관련된 센서 결과는 샘플들 사이의 차이를 발생시키는데 주요한 영향을 발생시키지 않았다. 맛 성분 결과를 이용하여 확인된 군집 분석의 결과는 브로콜리의 부위에 따른 맛 성분 차이보다

는 추출 방법(콜드브루 추출)에 따른 차이가 상대적으로 더 낮은 것이 확인되었다. 반면 더 높은 온도의 용매로 추출한 열수 및 고온가압 추출물의 경우 브로콜리 부위에 따른 추출보다 추출 방법에 따른 차이가 상대적으로 더 큰 영향을 주었다고 판단된다.

전자혀 시스템을 통한 맛 성분 결과는 맛 성분 센서를 이용하여 샘플들 사이의 패턴 분석을 가능하게 한다(Hong 등, 2021). 이러한 맛 성분을 이용한 패턴 분석에 관련된 연구는 건조 방법에 따른 로부스타 커피의 맛 성분 패턴 분석 연구

가 보고되었고(Dong 등, 2019), 화퇴의 부위에 따른 맛 성분 패턴 결과 차이에 대한 연구가 보고되었다(Hong 등, 2021). 최근 Cordoba 등(2019)의 연구에서 식물 소재의 종류보다는 추출 방법이 더 큰 영향을 미치는 것을 발견하였다. 본 연구에서 콜드브루 추출물과 열수 및 고온가압 추출물의 맛 성분 패턴 차이가 확인되었다. 콜드브루 추출물들은 부위에 상관없이 다른 추출물에 비해 유사한 맛 성분 패턴을 나타내었다. 그러나 열수 및 고온가압 추출물들 사이에는 추출 방법보다는 브로콜리 부위에 따른 맛 성분 유사도가 상대적으로 더 높게 확인되었다. 이를 통해 브로콜리를 고온의 용매로 추출 시 추출 방법보다 추출에 사용되는 부위가 맛 성분 결과에 더 큰 영향을 줄 것이라고 판단된다. 본 연구에서 향기 성분을 바탕으로 진행된 주성분 분석의 경우 총 86.21% variances가 확인되었고, 맛 성분을 바탕으로 진행된 주성분 분석의 경우 총 85.52% variances가 확인되었다. 총 variances의 경우 85% 이상의 영역에서 variances가 확인되었을 때 샘플들 사이의 분리가 타당성을 가지게 된다고 할 수 있다(Zhang 등, 2021). 이에 향기 성분의 경우 총 86.21%의 variances가 확인되었고, 또한 맛 성분의 경우에도 총 80% 이상의 variances가 확인되었다. 따라서 다양한 추출 방법에 따른 영향은 브로콜리의 향기 성분보다 맛 성분에서 상대적으로 높은 변화를 야기한다고 생각된다. 그리고 이에 대한 맛 성분의 변화 중 쓴맛이 높게 확인된 줄기의 열수 추출물과 고온가압 추출물이 다른 추출물들에 비해 소비자 기호도 측면에서 부정적인 영향을 미칠 것으로 판단된다(Sharafi 등, 2013).

요 약

본 연구는 브로콜리 화퇴 및 줄기의 추출 방법에 따른 향기 성분과 맛 성분을 전자코와 전자혀를 이용하여 확인하였다. 전자코에서 확인된 향기 성분의 결과와 전자혀에서 확인된 맛 성분 결과를 토대로 다변량 분석을 진행하였다. 전자코 분석시스템을 통해 확인된 브로콜리 추출물의 향기 성분 결과는 acids와 esters류 7종, alcohols류 8종, aldehydes류 6종, heterocyclic compounds 6종, hydrocarbons류 7종, sulfur-containing compounds 5종, 그리고 ketones류 2종이 검출되어 총 41종의 휘발성 향기 성분이 확인되었다. 전자코에서 확인된 향기 성분의 결과를 토대로 주성분 분석 및 군집 분석을 진행하였다. 주성분 분석의 경우 열수 및 고온가압 추출물들이 PC2에 의해 분리되어 상단에 위치하였다. 반면 화퇴의 콜드브루 추출물은 heterocyclic compounds, acids와 esters류, 그리고 sulfur-containing compounds에 의해 분리되어 PC1과 PC2 기준으로 각각 음(-)의 방향에 위치하였다. 반면 줄기의 콜드브루 추출물은 aldehydes류와 ketones류에 의해 분리되어 PC1 기준으로 양(+)의 방향에 위치하였고, PC2 기준으로 음(-)의 방향에 위치하였다. 전자혀 분석시스템을 통해 확인된 브로콜리 추

출물의 맛 성분 패턴 결과는 PC1에 의해 화퇴의 열수 추출물을 제외한 열수 및 고온가압 추출물들이 분리되어 왼쪽에 위치하였고, 콜드브루 추출물들은 주로 신맛과 단맛 센서에 의해 분리되어 PC1 기준으로 오른쪽에 위치하였다. 그리고 PC2에 의해 브로콜리 부위에 따른 분리가 나타났으며, 추출 방법에 상관없이 모든 줄기의 추출물들은 PC2 기준으로 상단에 위치하였다. 반면 화퇴의 추출물들은 PC2 기준으로 하단에 위치하였다. 본 연구에서 확인된 향기 성분 및 맛 성분 결과는 브로콜리의 부위 및 추출 방법에 따른 관능적 특성에 대한 기초연구 자료로서 활용이 가능할 것으로 판단된다.

감사의 글

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

REFERENCES

- Ares AM, Nozal MJ, Bernal J. Extraction, chemical characterization and biological activity determination of broccoli health promoting compounds. *J Chromatogr A*. 2013. 1313:78-95.
- 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*. 2020. 49:1407-1415.
- Cordoba N, Pataquiva L, Osorio C, Moreno FLM, Ruiz RY. Effect of grinding, extraction time and type of coffee on the physicochemical and flavour characteristics of cold brew coffee. *Sci Rep*. 2019. 9:8440. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-44886-w>
- Dong W, Hu R, Long Y, Li H, Zhang Y, Zhu K, et al. 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*. 2019. 272:723-731.
- 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*. 2021. 50:384-394.
- Hwang IS, Chon SY, Bang WS, Kim MK. Influence of roasting temperatures on the antioxidant properties, β -glucan content, and volatile flavor profiles of shiitake mushroom. *Foods*. 2021. 10:54. <https://dx.doi.org/10.3390/foods10010054>
- Kim DS, Lee JT, Hong SJ, Cho JJ, Shin EC. Thermal cycled effect of comprehensive changes in the flavor/taste of *Cynanchi wilfordii*. *J Food Sci*. 2019a. 84:2831-2839.
- Kim HK. The anti-inflammatory effects of heat-treated broccoli extract. *The Journal of the Convergence on Culture Technology*. 2019. 5:397-404.
- Kim JH, Kang JY, Ko EB, Kim JY. Enhancement of storage stability of red beet pigment using broccoli extracts. *Korean J Food Sci Technol*. 2019b. 51:610-614.
- Kim JY, Park SH, Lee KT. Sulforaphane content and antioxidative effect of cooked broccoli. *J East Asian Soc Diet Life*. 2009. 19:564-569.
- Kim M, Sowndhararajan K, Park SJ, Kim S. Effect of inhalation of isomers, (+)- α -pinene and (+)- β -pinene on human electro-

- encephalographic activity according to gender difference. *Eur J Integr Med*. 2018. 17:33-39.
- Kim MR, Kim JH, DS Wi, Na JH, Seok DE. Volatile sulfur compounds, proximate components, minerals, vitamin C content, and sensory characteristics of the juices of kale and broccoli leaves. *J Korean Soc Food Sci Nutr*. 1999. 28:1201-1207.
- Kim MR, Lee KJ, Kim HY. Effect of processing on the content of sulforaphane of broccoli. *Korean J Soc Food Sci*. 1997. 13:422-426.
- Lee HS, Park YW. Antioxidant activity and antibacterial activities from different parts of broccoli extracts under high temperature. *J Korean Soc Food Sci Nutr*. 2005. 34:759-764.
- Lee J, Hong SJ, Cho JJ, Boo CG, Kim DS, Shin EC. Peanut coffee: enhancement of nutritional, physicochemical, and sensory characteristics in coffee brewed with conventional and high-oleic peanut extracts. *Foods*. 2020. 9:1664. <https://doi.org/10.3390/foods9111664>
- Lee SH. Quality and antioxidant properties of white breads enhanced with broccoli (*Brassica oleracea* L.) powder. *Korean J Food Cook Sci*. 2015. 31:614-622.
- 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*. 2013. 48:2429-2437.
- Lim KG, Han JH, Lee MH. Quality characteristics of bread added with broccoli sprout powder using geumgang wheat and micro organisms during storage. *Culi Sci & Hos Res*. 2021. 27(4):12-22.
- Liu M, Zhang L, Ser SL, Cumming JR, Ku KM. Comparative phytonutrient analysis of broccoli by-products: the potentials for broccoli by-product utilization. *Molecules*. 2018. 23:900. <https://doi.org/10.3390/molecules2304900>
- Lu Y, Chi Y, Lv Y, Yang G, He Q. Evolution of the volatile flavor compounds of Chinese horse bean-chili-paste. *LWT*. 2019. 102:131-135.
- Lv J, Wu J, Zuo J, Fan L, Shi J, Gao L, et al. Effect of Se treatment on the volatile compounds in broccoli. *Food Chem*. 2017. 216:225-233.
- Pistelli L, Reidel RVB, Parri F, Morelli E, Pistelli L. Chemical composition of essential oil from plants of abandoned mining site of Elba island. *Nat Prod Res*. 2019. 33:143-147.
- Sharafi M, Hayes JE, Duffy VB. Masking vegetable bitterness to improve palatability depends on vegetable type and taste phenotype. *Chemosens Percept*. 2013. 6:8-19.
- Song G, Dai Z, Shen Q, Peng X, Zhang M. Analysis of the changes in volatile compound and fatty acid profiles of fish oil in chemical refining process. *Eur J Lipid Sci Technol*. 2018. 120:1700219. <https://doi.org/10.1002/ejlt.201700219>
- Wang K, Zhuang H, Bing F, Chen D, Feng T, Xu Z. Evaluation of eight kinds of flavor enhancer of umami taste by an electronic tongue. *Food Sci Nutr*. 2021. 9:2095-2104.
- Wieczorek MN, Jeleń HH. Volatile compounds of selected raw and cooked *Brassica* vegetables. *Molecules*. 2019. 24:391. <https://doi.org/10.3390/molecules24030391>
- Wieczorek MN, Majcher M, Jeleń H. Comparison of three extraction techniques for the determination of volatile flavor components in broccoli. *Foods*. 2020. 9:398. <https://doi.org/10.3390/foods9040398>
- Wu S, Yang J, Dong H, Liu Q, Li X, Zeng X, et al. Key aroma compounds of Chinese dry-cured Spanish mackerel (*Scomberomorus niphonius*) and their potential metabolic mechanisms. *Food Chem*. 2021. 342:128381. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128381>
- Xu X, Bi S, Lao F, Chen F, Liao X, Wu J. Comprehensive investigation on volatile and non-volatile metabolites in broccoli juices fermented by animal- and plant-derived *Pediococcus pentosaceus*. *Food Chem*. 2021. 341:128118. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128118>
- Yu AN, Tan ZW, Wang FS. Mechanism of formation of sulphur aroma compounds from L-ascorbic acid and L-cysteine during the Maillard reaction. *Food Chem*. 2012. 132:1316-1323.
- 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 an electronic nose, electronic tongue, and HS-SPME/GC-MS. *LWT*. 2021. 140:110764. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110764>