제주도산 브로콜리 및 단백질 분획물의 감각 특성 분석

쌍편턴¹ · 영 첩¹ · 장유빈¹ · 홍기배¹ · 김창숙² · 고순보³ · 신의철⁴ · 이영승⁵ · 박성수¹

¹제주대학교 식품영양학과, ²제주대학교 분자생명공학부, ³제주도농업기술원
⁴경상국립대학교 식품과학부, ⁵단국대학교 식품영양학과

Analysis of the Sensory Characteristics of Broccoli from Jeju Island & Its Protein Fractions

Chanthorn Sang¹, Jie Rong¹, Yubin Jang¹, Ki-Bae Hong¹, Chang-Sook Kim²,
Sun-Bo Ko³, Eui-Cheol Shin⁴, Youngseung Lee⁵, and Sung-Soo Park¹

¹Department of Food Science and Nutrition and ²Major of Molecular Biotechnology, Jeju National University

³Jeju Agricultural Research & Extension Service

⁴Department of Food Science/Institute for Food Sensory & Cognitive Science, Gyeongsang National University

⁵Department of Food Science and Nutrition, Dankook University

ABSTRACT In this study, we sought to identify the substances involved in the sensory and texture quality characteristics of each variety of Jeju broccoli in order to improve their processing characteristics. First, a purification process was performed on the extracts from the broccoli. Separately, the general components and functional characteristics of each cultivar and part of the broccoli were analyzed and a descriptive analysis was performed. Among the general components, there was a significant difference between the broccoli varieties with regard to the moisture content of the flower buds and the crude fat content in the stems. In the analysis of antioxidant activity, New-tamnagreen (B1) showed significantly higher activity in all areas compared with other varieties. The electronic nose analysis showed that each variety had different unique fragrance components. The descriptive analysis revealed significant differences in the green color of buds and stems between varieties. B1 had the lowest value in buds and SK3-085 (B2) in stems. As a result of principal component analysis (PCA), B1 and B2 showed a close relationship with similar texture characteristics, flower aroma, and sweetness, and the Nokje (B3) showed negative taste-related characteristics. In the descriptive analysis and PCA of the fractions obtained through the purification process of sensory components for each broccoli variety, B1 showed significant characteristics related to flavor and taste components, but no significant variations were observed in the other characteristics.

Key words: Jeju, broccoli, purification, sensory analysis, electronic nose

서 론

브로콜리(*Brassica oleracea* var. *italica*)의 원산지는 지중해 연안(남유럽)으로 20세기 미국에서 급속히 재배를 시작하여 유럽, 미국 등 서양에서 주로 많이 소비되고 있다. 전 세계적으로는 중국과 인도에서 75% 이상을 생산하고 있고, 우리나라에서는 2000년 이후 기능성 채소에 대한 선호도 증가와 함께 브로콜리 재배와 소비가 증가하고 있으며 주로 남제주, 평창, 태백 등에서 재배되고 있다(Lee, 2008;

Kim 등, 2009; Oh와 Lee, 2011). 양배추, 콜리플라워, 케일과 같은 십자화과(Cruciferous family)에 속하는 채소의 일종으로 모란채라고도 하며 꽃봉오리와 줄기를 주로 식용한다. 고유의 향과 식미가 좋으며 칼로리가 적고 비타민 C, indole, sulforaphane, glucosinolate 등의 영양성분이 포함되어 있어 세계 10대 건강식품 중의 하나로 알려져 있다(Fahey 등, 2001; Mahn과 Reyes, 2012; Ares 등, 2013). 또한 십자화과 채소는 지방 성분이 거의 없고 열량이 낮으며, 비타민, 무기질, 식이섬유가 풍부해 암을 예방하는 것으

Received October 25 2021; Revised 1 November 2021; Accepted 10 November 2021

Corresponding author: Sung-Soo Park, Department of Food Science and Nutrition, Jeju National University, 102, Jejudaehak-ro, Jeju-si, Jeju 63243, Korea, E-mail: foodpark@jejunu.ac.kr

Author information: Chanthorn Sang (Graduate student), Jie Rong (Graduate student), Yubin Jang (Student), Ki-Bae Hong (Professor), Chang-Sook Kim (Professor), Eui-Cheol Shin (Professor), Youngseung Lee (Professor), Sung-Soo Park (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.

로 알려져 있다(Steinmetz와 Potter, 1996). 브로콜리의 성분 중 β -carotene, rutin, selenium, glutathione, quercetin 등의 항산화 성분을 다량 함유하고 있어 항동맥경화 및 해독 효소의 유도 효과 또한 보고되고 있다(Lee와 Park, 2005; Kwon 등, 2008; Ravikumar, 2015). 특히 sulforaphane은 브로콜리의 대표적 isothiocyanate로, 고혈압, 심혈관 질환, 암을 예방한다고 알려져 있고, 폐암, 악성의 연골성 종양, 자궁경부암 세포, 세포주기 조절 유전자의 활성화, 혈소판 아데닐레이드 시클라아제, 혈액 순환 개선에 영향을 줄 수 있음이 알려졌다(Bae 등, 2006; Lee와 Kim, 2011; Yu와 Kim, 2011; Jayakumar 등, 2013). 브로콜리의 일반적인 이용 방법은 작은 꽃봉오리가 다발로 이루어진 꽃송이 부위를 주로 식용하고 잎과 줄기는 대부분 버려지고 있으며(Lee와 Park, 2005), 식용 꽃봉오리는 생으로 먹거나 생즙을 만들어 먹으며 식감을 증대시키고 섭취를 용이하게 하기 위해서는 물에 살짝 데쳐 먹기도 한다(Kim 등, 2014). 그러나 브로콜리는 신선 농산물 중에서 호흡률이 매우 높아 수확 후 품질 수명이 짧은 단점을 갖고 있다(Choi 등, 2011). 이러한 단점을 보완하기 위해 다양한 식품개발 연구가 추진되었으며 주로 다양한 가공 방법에 따른 품질 특성에 관한 연구가 수행되었다. 브로콜리 가공 및 품질 특성 연구로는 이유식 재료(Lee 등, 2018), 신선편이 제품(Park과 Lee, 2018), 튀김볼 첨가제(Lee와 Cho, 2018), 유산균 발효물(Lee와 Moon, 2017), 제빵재료(Lee, 2015; Lee, 2012; Lim 등, 2010; Kim과 Cho, 2010), 고추장 재료(Oh 등, 2013), 떡류 재료(Cho, 2009), 쿠키 재료(Lim과 Kim, 2009) 등의 연구가 보고되었다. 브로콜리는 발아 시기, 기후, 토양 등의 환경 특성에 따라 품종과 성분의 특징이 달라지기도 한다. 이 중 제주도에서 개발한 뉴탐라그린은 국내 최초의 브로콜리 종자이며, 저온에서도 안토시아닌 발현이 없고 화구 모양이 우수한 품종이다. 또한, 수입 종자 SK3-085 및 녹제보다 상품률과 구의 무게, 화경의 굵기가 더 높아 품질이 좋고 1개 재배포장 섭취 가능한 면적이 우수하다(Horticulture, 2020).

현재까지 수행되어온 브로콜리 가공에 따른 품질 특성 연구에서는 다양한 식품의 재료로 첨가되거나 브로콜리 부위별 추출물 첨가에 따른 식품 품질 특성을 분석한 연구가 일반적이며, 브로콜리의 다양한 구성성분이 미치는 가공 특성 및 품질 특성에 미치는 영향을 분석한 연구는 찾아보기 어렵다. 따라서 본 연구에서는 제주도산 브로콜리를 활용한 다양한 제품을 개발하기 위한 기초자료를 제공하는 것을 목적으로 브로콜리의 분획물을 다양한 정제조건을 통해 분리하고 각 분획물에 대한 감각 특성을 분석하여 이후 제주도산 브로콜리의 제품 개발 시 구체적인 성분요인별 가공공정의 품질관리를 추진할 수 있는 방안을 제공하고자 연구를 수행하였다.

재료 및 방법

실험재료

본 실험에 사용된 브로콜리는 2021년도 1~2월에 재배된 것으로 제주도산 뉴탐라그린, SK3-085는 제주도 농업기술원의 제공으로 시료로 사용하였으며, 강원도 횡성에서 수확한 녹제 품종은 가락동 농산시장에서 구입하여 비교구로 사용하였다. 정제에 사용된 gel-filtration 충전제는 Sephacryl S-300을, ion-exchange 충전제는 DEAE-sepharose FF와 Q-sepharose FF를 사용하였으며, 충전재 모두 GE Healthcare(Uppsala, Sweden) 제품을 구입하여 사용하였다. Open column은 Bio-Rad Laboratories(Hercules, CA, USA)의 제품을 사용하였다. SDS-PAGE electrophoresis를 위한 marker로는 EZ-Perfect Marker Plus(DoGenBio, Seoul, Korea)와 Biosesang Inc.(Sungnam, Korea) 제품인 30% acrylamide-bis solution, Coomassie brilliant blue G-250을 사용하였다. 이외 실험에 사용한 에탄올 및 phosphate buffer saline, Tris-HCl buffer 등은 특급 이상의 시약을 사용하였다.

시료준비

본 실험에 사용된 브로콜리는 품종에 따라 뉴탐라그린(B1), SK3-085(B2), 녹제(B3) 3가지로 분류하였고, 수분과 영양소의 손실 및 변화를 최소화하기 위해 신문지로 포장하여 0°C의 냉장 온도에서 보관하였다.

브로콜리는 물에 10분간 침지시켜 이물질을 제거한 후 흐르는 물에 깨끗하게 세척한 다음 잎을 다듬어 준비하였다. 손질을 마친 브로콜리는 꽃봉오리와 줄기 부위로 나누어 절단하였으며, 일정한 크기로 잘라 냄비에 약 1 L의 생수를 넣고 90°C에서 3분간 데쳐 차가운 물에 한 번 행구어 사용하였다.

동결건조 및 추출

동결건조 전까지 브로콜리는 지퍼백에 넣어 -20°C에서 품질 변화를 최소화하였다. 냉동상태의 브로콜리는 동결건조기(TFD5503, Ilshin, Siheung, Korea)를 이용하여 약 3주간 건조시킨 후 막자사발에 갈아 18 mesh 체를 통과한 가루를 사용하였다. 세척된 브로콜리를 믹서기에 넣어 잘게 간 후 시료량의 2배에 해당하는 80% 에탄올을 가하여 실온에서 자동교반기(hot plate & stirrer, MS-300HS, Mtops, Seoul, Korea)로 24시간 동안 추출하였다. 추출액은 여과지(Whatman No.1)를 사용하여 감압 여과한 후 40°C의 수욕상에서 감압농축기(rotary vacuum evaporator, N-1300, Eyela, Gyeonggi-do, Korea)로 농축하여 동결건조한 후 분말화시켰다.

성분 정제실험을 위해서는 브로콜리 1 kg을 믹서기에 넣어 잘게 갈아준 다음, petroleum ether 1 L를 첨가하고 2시간 동안 교반하며 탈지 과정을 수행한 후 얻은 탈지 분말 200 g을 0.15 M NaCl을 함유한 10 mM sodium phosphate buffer(pH 7.5) 2 L를 첨가하여 4시간 동안 교반시켜 추출하였다. 이후 용액을 gauge를 통해 거른 후 30,000×g, 20

min 간 대용량 원심분리기(Avanti J-E, Beckman Coulter Inc., Brea, CA, USA)를 이용하여 원심분리한 후 얻은 상등액을 ammonium sulfate 포화침전법을 통해 24시간 동안 포화시켰다. 포화 침전을 진행한 후 위와 같은 방법으로 원심분리(30,000×g, 15 min)하여 얻은 pellet을 dialysis membrane(12 kD MWCO, Spectra/Por, Spectrum Laboratories Inc., Rancho Dominguez, CA, USA)에 넣은 후 flow water, deionized water, 10 mM sodium phosphate buffer의 순으로 투석을 진행하였다.

오픈 컬럼 크로마토그래피 분석

먼저 Sephacryl S-300 gel-filtration column(1.5 cm×50 cm) chromatography를 통해 브로콜리 추출물을 분리하였다. 불용성 물질을 제거하기 위해 투석이 완료된 시료를 원심분리(20,000×g, 10 min)한 후 상등액을 10 mM sodium phosphate buffer로 1 mL/min 속도로 용출시켰으며, 한 시험관당 7 mL씩 모은 후 280 nm에서 spectrophotometer(Eppendorf BioSpectrometer®, Hamburg, Germany)를 사용하여 흡광도를 측정하였다. Gel-filtration chromatogram에서 peak가 형성된 분획을 pool 하여 증류수와 10 mM Tris-HCl buffer(pH 8.0)에 대하여 투석과정을 거친 후 준비된 DEAE-Sepharose FF(녹제) 또는 Q-Sepharose FF(뉴탐라그린, SK-085) column(각 2.5 cm×50 cm)을 통해 분리 과정을 진행하였다. DEAE-Sepharose column은 희분 분리 전 open column에 충전한 후 0.1 N NaOH, 0.1 N HCl, 증류수를 순차적으로 통과시켜 활성화시키고, 10 mM Tris-HCl buffer(pH 8.0)를 500 mL 통과시킨 후 앞서 준비한 희분을 컬럼에 주입하였다. 희분 성분을 컬럼에 흡착시킨 후 용출 buffer에 0 M에서 0.3 M까지 NaCl gradient로 분리한 후 280 nm에서 흡광도를 측정하였다.

SDS-PAGE

전기영동은 Mini PROTEAN 3 Cell(Bio-Rad Laboratories)을 이용하였다. 10% acrylamide separating gel과 4% acrylamide stacking gel을 제조하였으며, 1%의 단백질과 sample buffer를 혼합하여 loading 시료를 제조하였다. Separating gel에 standard protein marker(EZ-Perfect Marker Plus, DoGenBio)와 함께 시료를 loading 하였으며, 100 V에서 약 1시간 30분 동안 단백질을 분리하였다. Loading이 끝난 후 gel은 coomassie brilliant blue R-220 staining solution에서 1시간 30분 염색시켰으며, 염색 후 destaining solution으로 탈색시켰다.

BCA assay

Bicinchoninic acid(BCA) 시약을 이용한 단백질 정량 Pierce kit(Thermo Fisher, Waltham MA, USA)을 사용하여 단백질을 정량하였다. 먼저 diluted albumin(BSA) stand-

ard와 BCA working agent(WR)를 준비하고, 각각의 표준시료와 미지시료를 따로 각자의 micro plate를 잘 흔들어 섞은 다음 커버 플레이트를 덮고 30분간 37°C에서 보온 처리하였다. 보온 후에는 상온까지 plate를 식히고, 평판 리더(plate reader)로 562 nm에서의 흡광도를 측정하였다. 모든 표준시료와 미지시료의 흡광도에서 대조시료의 평균 흡광도를 뺀 다음 각각의 BSA standard의 평균 흡광도와 $\mu\text{g}/\mu\text{L}$ 농도를 그래프로 나타내 표준곡선을 그려 미지시료 각각의 단백질 농도를 계산하였다.

일반성분 분석

일반성분 분석으로 수분함량, 조단백질 함량, 조지방 함량, 조회분 함량을 측정하였으며 AOAC법(2005)에 준하여 실시하였다. 수분은 105°C 상압가열건조법으로 분석하였고 조단백질은 micro Kjeldahl법, 조지방은 Soxhlet 추출법, 조회분은 550°C 직접회화법을 이용하여 분석하였다.

DPPH assay

DPPH 라디칼 소거능은 Blois 방법(1958)을 일부 변형하여 측정하였다. 250 mL의 갈색병에 DPPH(2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl)를 이용하여 DPPH 용액을 제조하였다. 96 well plate에 시료 30 μL 를 먼저 가한 후 0.2 mM DPPH를 넣고 잘 혼합하여 암소에서 30분간 반응시켰다. 517 nm에서 흡광도계(SpectraMaxiD3 Multi-Mode Microplate Reader, Molecular Devices, Seoul, Korea)를 이용하여 흡광도를 측정한 후 아래의 식으로 소거능을 계산하여 radical scavenging activity(%)로 나타내었다.

$$\text{DPPH radical scavenging activity (\%)} = [1 - (\text{흡광도}_{\text{sample}} - \text{흡광도}_{\text{control}})] \times 100$$

전자코 분석

브로콜리의 휘발성 향기성분을 확인하기 위해 전자코시스템(HERACLES Neo, Alpha MOS, Toulouse, France)을 이용하였다. 슬러리 상태의 브로콜리 약 2 g을 전자코 분석용 50 mL-headspace vial에 넣어 50°C에서 500 rpm 속도로 20분간 교반하여 vial에 포화시켰다. 휘발성 화합물의 포집은 전자코에 부착된 자동시료채취기를 이용하였고 휘발성 화합물 2,000 μL 를 취해 전자코에 장착된 MXT-1701 컬럼을 사용하여 gas chromatography injection port에 주입하였다. 분석조건은 acquisition time 230초, trap absorption temperature 20°C, incubation 50°C에서 10분으로 설정하여 진행하였다. Retention index는 Kovat's index library를 기반으로 하였으며 전자코에 부착된 AroChem Base(Alpha MOS)를 사용하여 분리된 피크의 성분을 동정하였다. 각 시료의 3 반복 분석 결과를 사용하여 odor pattern을 확인하였고, 주성분분석(principal component analysis, PCA)을 통해 시료 간의 패턴분석을 실시하였다.

묘사분석

묘사분석은 실제 실험을 실시한 단국대학교 기관생명윤리위원회에서 IRB 승인(승인번호: DKU2020-05-017)을 받은 후 IRB 절차에 따라 진행되었다. 묘사분석을 위한 훈련 기간은 총 4주로 주당 1~2회에 2시간씩 훈련을 실시하였다. 먼저 기본 맛 강도에 대한 훈련을 실시하였으며, 이는 단맛, 짠맛, 신맛, 쓴맛, 감칠맛에 대해 1부터 15점까지의 시료 배합비를 이용하여 만든 시료를 제공하는 방식으로 진행하였다. 강도 평가에 어느 정도 적응되었을 때 기본 맛의 강도를 임의로 제시하여 응답률이 80% 이상을 나타내는 수준에 달할 때까지 반복하여 진행하였다. 훈련을 받은 6명의 패널 요원을 선정하여 품종에 따른 브로콜리의 특성을 평가하였다. 평가는 정량적 묘사분석 방법을 이용하였으며, 평가 시료는 부위를 나눈 브로콜리 원물과 분자량에 따른 분획물을 사용하였으며, 난수표를 참고하여 만든 세자리의 랜덤코드가 적힌 플라스틱 컵에 무작위 순서로 제공하였다. 실험은 2 반복으로 진행되었으며 평가항목은 꽃봉오리는 외관(appearance), 향(aroma), 맛(taste), 조직감(texture)으로 구성된 16가지 특성을, 줄기는 13가지 특성을 평가하였다. 분획물의 경우 향(aroma), 맛(taste)으로 구성된 총 6가지 특성을 평가하였다. 각 항목은 15점 척도를 사용하여 점수가 높을수록 특성이 강한 것으로 해석하였다.

통계처리

실험결과는 평균±표준편차로 나타내었으며, XLSTAT software version 2012 for windows(Addinsoft Inc., Paris, France)를 사용하여 분산분석(ANOVA)을 시행하였다. 분석 후 Tukey 방법을 사용하여 5% 수준에서 시료 간의 유의성을 검증하였다. 브로콜리의 품종별 특성들의 상관관계를 분석하기 위해 주성분분석(PCA)을 실시하였다.

결과 및 고찰

컬럼 크로마토그래피 및 분자량

제주도산 뉴탐라그린, SK3-085와 강원도 황성산 녹제품종을 포함한 3종류의 브로콜리 시료에 대한 분쇄 및 탈지 과정을 통해 얻은 각각의 추출물을 침전시킨 후 투석과정을 거쳐 평형화된 시료를 원심분리하여 gel filtration chromatography를 통해 각각의 peak를 분리하였다(Fig. 1). 얻은 peak들은 전기영동을 이용해 포함된 성분의 분자량을 비교하였다. 고분자 분획과 저분자 분획으로 분류하였다. SDS-PAGE 분석의 결과에서 제주도산 SK3-085와 뉴탐라그린 품종의 공통되는 메인 밴드는 70, 45, 37, 27 kDa 영역에 밴드가 주로 나타나나 SK3-085에만 90, 22 kDa 밴드가 나타나고, 강원도산 녹제에는 메인 밴드가 75, 45, 37, 29, 22 kDa 부근 밴드가 나타나 품종별 메인 밴드의 위치가 모두 일치하지는 않았으며 전반적으로 100 kDa 이하의 분자량 밴드가 주로 나타남을 알 수 있었다. 3종류 브로콜리의

Fig. 1. Gel-filtration column chromatogram and gel electrophoresis data of 3 broccolis (A~C). Sephacryl S-300 gel filtration column (1.5 cm×50 cm) chromatogram. Sodium dodecyl sulfate polyacrylamide gel electrophoresis (SDS-PAGE) data for pooled fractions isolated from gel-filtration column chromatography. The left lane (kDa) is the molecular weight standard protein marker ladder. (A) Jeju New-Tamnagreen, (B) Jeju SK3-085, (C) Kangwon Nokjae.

gel-filtration chromatography의 main peak 분획을 주입하여 NaCl gradient로 분리한 ion-exchange chromatography(DEAE-, Q-Sepharose)의 결과에서는 각각 하나의 peak로 분리되어(Fig. 2) 그 peak 성분에 대한 묘사분석 등을 수행하였다. 브로콜리에 대한 정제과정을 수행한 연구들은 sulforaphane(Han과 Row, 2011)과 peroxydases(Thongsook과 Barrett, 2005) 등 특정 성분 정제에 국한되며, 특히 국내산 브로콜리에서 관능 관련 물질을 동정하기 위한 연구는 찾아보기 어려워 관련 연구가 필요할 것으로 판단된다.

BCA assay를 통한 단백질량 측정실험(data not shown)에서 뉴탐라그린은 전체 단백질량 5.88 mg/mL로 다른 제주도산 품종인 SK3-085(5.69 mg/mL), 강원도산 녹제(3.4

Fig. 2. Ion-exchange column chromatograms of 3 broccolis (A~C). The eluents from gel-filtration chromatographies were injected to DEAE-Sephacrose or Q-Sephacrose columns (2.5 cm×50 cm each), and each elution were performed by NaCl gradient (0~0.3 M) in 10 mM Tris-HCl, pH 8.0. (A) New-Tamnagreen, (B) SK3-085, (C) Nokjae.

mg/mL)보다 많았으며 녹제가 가장 적은 단백질을 함유하고 있었다. 이 결과는 일반성분 분석의 브로콜리 줄기 부

분의 총 단백질량 함유 경향과 유사하였다.

일반성분 분석

브로콜리의 일반성분 분석 결과는 Table 1에 나타내었다. 꽃봉오리는 수분함량 85.5~89.0%, 조단백질 함량 3.12~4.30%, 조지방 함량 0.93~1.47%, 조회분 함량 1.14~1.31%로 나타났다. 줄기는 수분함량 90.5~91.5%, 조단백질 함량 2.04~2.26%, 조지방 함량 0.26~0.29%, 조회분 함량 1.44~1.77%였다. 국가표준식품성분표(RDA, 2021)에 따르면 데친 브로콜리의 경우 수분함량이 90.7%, 단백질 2.8%, 지질 0.31%, 회분 0.85%로 수분이 가장 많이 차지하고 있는데, 이는 실험 결과와 비교하여 약간의 차이를 보이나 전반적으로는 유사했다. 꽃봉오리의 경우 조지방, 조회분 함량에서, 줄기의 경우에는 조단백, 조회분 함량에서 유의적 차이가 보이지 않았다. 반면 꽃봉오리의 경우 조지방, 조회분 함량에서, 줄기의 경우에는 조단백, 조회분 함량에서 유의적 차이가 보이지 않았다. 그러나 꽃봉오리의 경우 수분함량에서, 줄기의 경우 조지방의 분석 결과에서는 서로 유의적인 차이($P<0.05$)가 보였다. 조회분에서도 회화 과정 중 일부 무기물들이 완전 연소되지 않았거나 인산염, 황산염과 같은 다른 형태로 바뀌거나 휘발하여 순수한 회분으로 정의할 수 없기에 더 정확한 결과를 위해선 미리 함량에 영향을 주는 성분들을 추출 및 분리하는 등 추가적인 단계가 필요하다. 또한, 브로콜리는 꽃봉오리보다 줄기 부분에서 수분과 조회분의 함량이 더 높았는데, 식물에서는 줄기를 통해 물이나 무기양분이 이동하기 때문에 다른 부위보다 수분함량이 높은 것이라 생각된다(Hong, 2005).

DPPH assay

DPPH 라디칼 소거 활성은 B1이 각각 60.10%, 54.82%로 모든 부위에서 유의적으로 가장 높은 항산화 활성을 가졌다(Table 1). 즉, B1이 다른 품종의 브로콜리보다 sulforaphane, ascorbic acid, β -카로틴 등과 같이 항산화 효과가 있는 물질을 더 많이 함유하기 때문이라고 생각된다. 특히 sulforaphane은 항산화 효과는 물론 산화적 손상에 의한 유전자 변형을 막아주고 위암 발생을 저해하는 역할을 하여

Table 1. Proximate components and DPPH radical scavenging activity of 3 different broccoli cultivars

Sample		Compositions (%)				DPPH radical scavenging activity
		Total moisture	Total crude protein	Total crude fat	Total crude ash	
Flower bud	B1	89.039±0.614 ^{a1)2)}	3.122±0.226 ^b	0.932±0.211 ^a	1.225±0.004 ^a	60.10±2.97 ^a
	B2	88.117±0.130 ^b	3.938±0.330 ^a	1.297±0.113 ^a	1.308±0.092 ^a	48.26±0.89 ^b
	B3	85.498±0.165 ^c	4.298±0.364 ^a	1.472±0.409 ^a	1.140±0.010 ^a	42.28±1.76 ^c
Stem	B1	91.351±0.035 ^{ab}	2.260±0.268 ^a	0.294±0.005 ^a	1.773±0.173 ^a	54.82±0.92 ^a
	B2	91.507±0.014 ^a	2.039±0.564 ^a	0.279±0.002 ^b	1.546±0.140 ^a	53.05±0.59 ^a
	B3	90.504±0.775 ^b	2.130±0.093 ^a	0.255±0.003 ^c	1.440±0.203 ^a	44.40±1.59 ^b

B1: New-Tamnagreen, B2: SK3-085, B3: Nokjae.

¹⁾Mean±standard deviation.

²⁾Means with different letters in the same column are significantly different ($P<0.05$).

항암 예방 소재로서 연구되기도 한다(Zhang 등, 2003). 또한, sulforaphane은 화뢰의 성숙 단계에 따라서 그 함량이 달라질 수 있는데, 주로 화뢰가 형성되어 오밀조밀하게 모여 있어 수확이 이루어지는 적숙기(mature stage)에 가장 많이 함유되어 있다(Kwon 등, 2008). 때문에 B1의 화뢰만이 적숙기에 해당하여 sulforaphane의 함량이 가장 높아 항산화 활성에도 영향을 미친 것이 아닐까 생각된다. B2와 B3는 꽃봉오리보다 줄기의 항산화 활성이 높은 반면 B1의 경우 꽃봉오리의 환원력이 더 높다. 실제로 Kim 등(2009)의 연구에서 줄기보다 꽃 부위의 라디칼 소거 능력이 높게 측정된 것과 동일한 결과이다. 또한, 이들은 생 브로콜리보다 브로콜리를 조리하였을 때 라디칼 소거능이 낮아지거나 높아진다고 밝혔는데, Hwang과 Kim(2011)의 연구에서도 배추가 끓이거나 찌는 조리과정을 거친 후 더 높은 라디칼 소거능을 보였다. 이처럼 식품 속 여러가지 생리활성 물질은 조리과정 중 다양하게 변화한다는 것을 알 수 있다. 특히 폴리페놀 같은 경우 발효 시 양적인 변화와 더불어 효소의 활성이 증가하는 것처럼(Nardi 등, 2002) 브로콜리의 조리 여부도 DPPH 라디칼 소거 활성에 영향을 미칠 수 있다.

전자코 분석

전자코시스템을 활용한 브로콜리의 휘발성 향기성분 분석결과는 Table 2에 표시하였다. 또한 각 시료의 3 반복 분석결과를 사용하여 odor pattern을 확인하였고, 주성분 분석을 통해 시료 간의 패턴 분석을 실시한 결과는 Fig. 3에 표시하였다. 우선 브로콜리는 총 4그룹의 17가지 향기성분을 확인할 수 있었으며, 황을 포함하는 성분 중 양배추 향과

황 향을 나타내는 methanethiol이 높게 나타났으며 파(혹은 마늘) 향과 함께 황 향을 나타내는 2-methylthiophene의 함량도 높은 수치를 나타내었다. Methanethiol은 브로콜리 특유의 불쾌한 냄새를 유발하는 성분 중 하나로 산소가 없는 혐기성 조건에서 더욱 증가한다(Forney와 Jordan, 1999). 휘발성 향기성분을 가장 많이 함유하는 것은 B2 품종이었으며, B3가 가장 낮은 것을 확인할 수 있었다. 발사믹과 같은 신향을 나타내는 acids and esters에 속하는 향기성분의 경우 B2에서 가장 높게 나타났으며, alcohol 성분의 대부분은 B1에서 높게 나타났다. 이로 보아 브로콜리는 품종에 따라 각기 지니는 고유한 향성분이 다른 것을 알 수 있다. 하지만 특이하게 양배추 향을 대표하는 bis-(2-furylmethyl) disulfide는 모든 품종에서 0.08의 값으로 동일한 것을 볼 수 있었다.

묘사분석

브로콜리의 꽃봉오리와 줄기에 대한 품종별 묘사분석의 결과는 Table 3, Table 4에 각각 나타내었다. ANOVA 분석 결과 꽃봉오리는 16개의 관능 특성 중 유일하게 녹색에서 유의적인 차이가 나타났다. 뉴탐라그린이 가장 낮은 값을, 녹색이 가장 높은 녹색 값을 나타내었다. 줄기의 경우 역시 녹색에서 유의적으로 차이가 나타났고 SK3-085가 다른 시료보다 현저히 낮았다. 본래 뉴탐라그린이 SK3-085가 청록색인 것에 비해 초록색이며, 녹색은 저온에서 꽃봉오리의 색이 자줏빛으로 변한다는 기존의 데이터와 반대의 결과이다(Ko 등, 2008). 이는 기온에 따른 품종별 브로콜리의 색 변화에 관한 추가적인 연구가 필요하다는 것을 간접적으로

Table 2. Volatile components of 3 different broccoli cultivars using electronic nose

Compounds	RT ¹⁾ (RI ²⁾	Sensory description	B1	B2	B3
Acids and esters (3)					
Acetic acid	37.11 (779)	Acetic, Acidic	0.17	0.20	0.05
2-Ethylhexyl acetate	76.07 (1,281)	Earthy	0.06	0.48	0.07
Amyl cinnamate	105.37 (1,942)	Balsamic	1.49	1.51	1.32
Alcohols (5)					
2-Propanol	21.15 (601)	Acetone, Alcoholic	0.70	0.61	0.34
1-Penten-3-ol	38.61 (792)	Green, Vegetable	1.13	0.62	0.26
3-Hexen-1-ol	56.69 (979)	Green, Vegetable	6.37	1.51	1.05
Glycerol	73.39 (1,231)	Bitter	0.07	0.08	0.18
Methyl eugenol	90.77 (1,600)	Spicy, Sweet	0.61	0.62	0.62
Heterocyclic compounds (3)					
2-Methylfuran	23.55 (634)	Acetone	0.06	0.07	0.12
α -Terpinene	64.71 (1,087)	Citrus, Etheral	1.48	1.77	0.82
Caprolactam	88.01 (1,535)	Spicy	0.58	0.51	0.46
Sulfur-containing compounds (6)					
Methanethiol	16.61 (495)	Cabbage, Sulfurous	19.32	53.06	14.77
Ethanethiol	19.98 (575)	Earthy, Sulfurous	9.96	16.12	1.42
1-Propanethiol	26.03 (667)	Alliaceous, Cabbage	0.39	0.19	0.02
2-Methylthiophene	42.16 (826)	Alliaceous, Sulfurous	65.60	250.41	41.81
3-Methyl-2-butene-1-thiol	47.30 (875)	Sulfurous	0.67	0.43	0.10
Bis-(2-furylmethyl)disulfide	100.66 (1,832)	Cabbage	0.08	0.08	0.08

B1: New-Tamnagreen, B2: SK3-085, B3: Nokjae.

¹⁾RT: retention time. ²⁾RI: retention index.

Fig. 3. PCA pattern of volatile components of 3 different broccoli cultivars using electronic nose. ¹⁾B1: New-Tamna-green, B2: SK3-085, B3: Nokjae.

보여준다. 이처럼 브로콜리는 안토시아닌 색의 발현 정도 등 고유한 형태적 특성에 따라 품종마다 다른 색을 가진다 (Korea Seed & Variety Service, 2017). 그 외에도 브로콜리에는 항산화 작용을 나타내는 주황 빛깔의 β -카로틴 등 원물의 색에 영향을 줄 수 있는 영양성분이 존재하기 때문에 품종별로 외관에 차이가 나타날 수 있다. 또한, 조리된 양배

Table 3. Mean values of descriptive sensory attributes of 3 different cultivars of broccoli flower bud

Attribute		Sample		
		B1	B2	B3
Appearance	Green color	11.1 ^{c(1)2)}	11.9 ^b	13.7 ^a
	Uniformity	11.5 ^a	10.9 ^a	11.1 ^a
	Denseness	9.9 ^a	8.8 ^a	8.8 ^a
Aroma	Grassy/Leafy aroma	7.3 ^a	6.6 ^a	7.3 ^a
	Floral aroma	2.3 ^a	2.2 ^a	1.9 ^a
	Sulfur aroma	3.4 ^a	3.0 ^a	3.4 ^a
Taste	Sweetness	1.1 ^a	1.1 ^a	1.0 ^a
	Astringent	1.9 ^a	1.8 ^a	2.0 ^a
	Bitterness	2.3 ^a	2.1 ^a	2.6 ^a
	Cooked-cabbage flavor	3.5 ^a	3.5 ^a	3.4 ^a
Texture	Hardness	6.6 ^a	6.8 ^a	6.6 ^a
	Chewiness	6.0 ^a	6.5 ^a	6.4 ^a
	Cohesiveness	3.0 ^a	2.7 ^a	2.9 ^a
	Fibrousness	2.6 ^a	2.5 ^a	2.4 ^a
	Moisture release	3.6 ^a	3.6 ^a	3.5 ^a
	Crunchiness	1.4 ^a	1.6 ^a	1.1 ^a

B1: New-Tamna-green, B2: SK3-085, B3: Nokjae.

¹⁾Each value represents the means of sensory intensities using a 15-point scale.

²⁾Means with different letters in the same row are significantly different ($P<0.05$).

추맛(cooked-cabbage flavor)은 뉴탐라그린이 가장 강하게 나타났으며 조직감 특성 중 경도(hardness), 씹힘성(chewiness), 수분감(moisture release)에서 품종 간에 유의적인 차이를 나타내었다. 경도와 씹힘성의 경우 녹제가 다른 시료에 비해 유의적으로 높았고, SK3-085가 가장 낮은 값을 보여 서로 유의적인 차이를 보였다. 줄기의 일부분이라 볼 수 있는 화경의 굵기가 품종에 따라 다른데, 굵기가 짧고 굵을수록 조직감의 강도가 강한 것으로 보인다(Ko-

Table 4. Mean values of descriptive sensory attributes of 3 different cultivars of broccoli stem

Attribute		Sample		
		B1	B2	B3
Appearance	Green color	7.8 ^{a(1)2)}	5.5 ^b	7.6 ^a
Aroma	Grassy/Leafy aroma	7.2 ^a	5.1 ^a	6.5 ^a
	Floral aroma	2.2 ^a	2.0 ^a	2.0 ^a
	Sulfur aroma	4.3 ^a	3.6 ^a	3.9 ^a
Taste	Sweetness	1.7 ^a	1.8 ^a	1.3 ^a
	Astringent	2.0 ^a	1.9 ^a	2.4 ^a
	Bitterness	1.9 ^a	2.2 ^a	2.1 ^a
	Cooked-cabbage flavor	5.7 ^a	4.7 ^b	5.0 ^{ab}
Texture	Hardness	8.0 ^b	7.8 ^b	9.4 ^a
	Chewiness	8.0 ^{ab}	7.6 ^b	8.9 ^a
	Cohesiveness	4.5 ^a	4.3 ^a	3.9 ^a
	Fibrousness	3.5 ^a	2.7 ^a	3.8 ^a
	Moisture release	3.2 ^{ab}	3.6 ^a	2.5 ^b
	Crunchiness	1.6 ^a	1.5 ^a	2.4 ^a

B1: New-Tamna-green, B2: SK3-085, B3: Nokjae.

¹⁾Each value represents the means of sensory intensities using a 15-point scale.

²⁾Means with different letters in the same row are significantly different ($P<0.05$).

Fig. 4. PCA analysis obtained from sensory attributes of 3 different cultivars for (A) broccoli flower bud and (B) broccoli stem. B1: New-Tamnagreen, B2: SK3-085, B3: Nokjae.

rea Seed & Variety Service, 2017). 반대로 수분감은 녹제가 가장 낮았는데, 이는 앞선 일반성분 분석 결과에서 녹제의 수분함량이 가장 낮은 점과 일치하였다. 녹제는 세포 내에 수분 대신 다당류로 구성된 섬유질 등의 조직감을 나타내는 성분을 더 많이 함유함으로써 수분감과 달리 경도와 씹힘성은 높은 값을 보인 것으로 판단된다. 하지만 아직까지 브로콜리의 섬유질과 조직감 사이의 관련성을 규명한 연구는 부족한 실정으로 추가적인 연구가 필요한 것으로 사료된다.

PCA 분석 결과(Fig. 4) 꽃봉오리는 제1주성분(F1)이 58.98%, 제2주성분(F2)이 41.02%로 총 변동의 100.00%를 설명한다. F1에 대하여 뉴탐라그린과 SK3-085는 양의 방향에 위치하여 조밀함, 섬유성, 경도, 아삭함 등의 조직감 특성과 밀접한 관계를 나타내었고, 녹제의 경우 음의 방향에 위치하여 녹색, 쓴맛, 짙은맛 등의 특성을 강하게 나타낸다. 또한, SK3-085가 경도와 가장 가까이 위치하였는데, 이는 기기적 조직감 분석을 통해 경도, 섬유성 등의 품종별 브로콜리가 가지는 고유한 조직감에 관한 추가적인 연구를 실시하여 관계를 검증하는 것이 필요하다고 판단된다. F2에 대

해서는 뉴탐라그린이 음의 방향에 위치하여 조밀함 및 균일성 등을 잘 나타내었고, SK3-085와 녹제는 양의 방향에 위치하여 녹색과 경도, 씹힘성 등의 특성이 강하게 드러났다. 줄기는 F1이 58.83%, F2이 41.17%로 역시 총 변동의 100.00%가 설명되었다. 역시 뉴탐라그린과 SK3-085는 양의 방향에 위치하여 꽃향, 단맛, 수분감 등의 특성을 강하게 나타내었고 녹제는 짙은맛, 경도, 씹힘성, 아삭함의 특성을 나타내며 음의 방향에 위치하였다. 또한, 조직감 관련 특성이 강하게 나타난 것을 볼 수 있었는데, 이는 줄기도 품종에 따른 조직감에 관한 추가적인 연구가 필요하다는 것을 의미한다.

브로콜리의 정제과정을 통해 분리된 분획물에 대한 묘사 분석 결과는 Table 5에 표시하였다. 품종별 브로콜리 분획물의 ANOVA 분석결과 뉴탐라그린의 경우 풀 향, 양배추 향과 같은 향 관련 항목에서 분획물 간에 유의적인 차이가 나타났다. 가장 높은 분자량을 가지는 NG1이 각각 2.63, 2.50으로 다른 분획물에 비해 유의적으로 높은 값을 가져 향을 가장 강하게 나타내었다. 이는 분자량이 브로콜리가 가지는 향미 성분과 관련성이 있다는 것을 보여준다. Guichard(2002)에

Table 5. Mean values of descriptive sensory attributes for the fractions of 3 different broccoli cultivars according to the molecular weight

Attribute		Sample						
		NG1	NG2	NG3	SK1	SK2	SK3	NJ1
Aroma	Grassy/Leafy	2.63 ^{a1)2)}	1.13 ^b	1.17 ^b	1.54 ^a	1.79 ^a	1.71 ^a	0.92
	Cabbage	2.50 ^a	1.29 ^b	1.08 ^b	2.00 ^a	2.25 ^a	2.33 ^a	0.83
Taste	Sweetness	0.75 ^a	0.96 ^a	0.96 ^a	0.79 ^a	1.04 ^a	0.75 ^a	0.92
	Bitterness	2.08 ^a	1.17 ^a	1.46 ^a	1.75 ^a	1.50 ^a	1.67 ^a	1.17
	Astringent	1.75 ^a	1.00 ^a	1.83 ^a	1.75 ^a	1.63 ^a	1.58 ^a	1.54
	Cooked-cabbage flavor	2.13 ^a	1.38 ^a	1.79 ^a	2.29 ^a	2.46 ^a	1.79 ^a	1.29

NG: New-Tamnagreen, SK: SK3-085, NJ: Nokjae and each number (1~3) means the samples with the highest, medium, and lowest molecular weight, respectively.

¹⁾Each value represents the means by 6 panels using 15-point scale.

²⁾Means with different letters for each cultivar in a row means significantly different ($P < 0.05$).

Fig. 5. PCA analysis obtained from sensory attributes for the fractions of 3 different broccoli cultivars according to the molecular weight. NG: New-Tamna-green, SK: SK3-085, NJ: Nokjae and each number (1 ~ 3) means the samples with the highest, medium, and lowest molecular weight, respectively.

따르면 단백질이 맛 화합물과 결합하여 식품의 향미를 내고 그것을 인식하도록 하는 데 상당한 영향을 미친다고 보고하였다. 따라서 단백질 추출물은 분자량에 따라 화합물의 구성 및 함량이 변화하여 향미의 강도가 달라질 수 있다고 생각된다. 하지만 현재까지 분자량 크기에 따른 브로콜리의 특성에 관한 연구는 미비하므로 추가적인 연구가 필요해 보인다. 나머지 맛 관련 항목(단맛, 쓴맛, 떼은맛, 조리된 양배추맛)에서는 유의적인 차이가 나타나지 않았다. 또한, 뉴탐라그린 외에 SK3-085, 녹색 품종에서는 분자량에 따라 특성 강도에 유의적인 차이가 없었다. 이는 품종에 따라 분획물 간의 차이가 클수도 혹은 작을수도 있다는 것을 뜻한다. 따라서 품종별로 브로콜리의 분획물도 각기 다른 특성을 갖는다고 판단할 수 있다.

브로콜리 분획물의 PCA 분석결과는 Fig. 5에 표시하였다. 그 결과에서 제1주성분(PC1)과 제2주성분(PC2)은 각각 68.60%, 14.43%로 총 변동의 83.04%를 설명하였다. 뉴탐라그린 pool 1과 SK3-085 pool 1, 3는 PC1에 대해 양의 방향, PC2에 대해 음의 방향에 위치하여 떼은맛과 쓴맛에 높은 상관성을 보였으며, SK3-085의 pool 2는 PC2에 대해 양의 방향인 제1사분면에 위치하여 양배추 향, 조리된 양배추맛의 특성과 상대적으로 가깝게 나타난 것을 볼 수 있다. 또한, 뉴탐라그린 pool 2, 3의 경우 단맛의 특성을 강하게 나타내는 것으로 보이며, 그에 비해 녹색제는 제3사분면에 위치하여 모든 특성에 대해 가장 낮은 상관성을 보였다. 이를 통해 품종에 따라 각각 고유한 특성을 가진다는 것을 알 수 있다.

제주도산 뉴탐라그린 신품종이 다른 품종에 비하여 항산화 활성과 관능 특성에서 우위적 결과를 보여 이후 가공 특성의 보완 연구 및 기타 브로콜리의 감각 특성에 대한 추가 비교 연구가 필요할 것으로 판단된다.

요 약

본 연구에서는 제주도산 브로콜리의 가공 특성 증진을 목표로 브로콜리의 품종별 풍미와 향기 품질 특성에 관여하는 물질 동정 및 가공 처리 과정에서의 관련 물질의 손실 및 변성을 최소화하기 위한 기술 개발을 추진하기 위하여 처리조건을 달리한 브로콜리의 품종별 일반성분 및 기능 특성 분석과 관능 성분의 추출 및 정제 후 묘사분석 등을 진행하였다. 우선 제주도산 브로콜리를 비교구와 함께 분쇄, 탈지, 추출 과정을 통해 얻은 추출물에 대하여 정제과정을 수행하고 분획물에 대한 분석을 수행하였다. 이와는 별도로 브로콜리의 품종 및 부위별 일반성분 및 기능 특성을 분석하고 묘사분석을 실시하였다. 일반성분 중 꽃봉오리는 수분함량에서, 줄기에서는 조지방의 함량에서 품종별로 유의적 차이가 있었다. 항산화 활성에서는 뉴탐라그린이 타 품종과 비교하여 모든 부위에서 유의적으로 높은 활성을 보였다. 전자코 분석에서는 품종별로 고유한 향 성분이 다르게 나타났다. 묘사분석에서는 꽃봉오리와 줄기에서도 녹색에서 유의적인 차이가 나타났으며, 뉴탐라그린이 꽃봉오리에서 가장 낮은 값을, 줄기에서는 SK3-085가 가장 낮았다. PCA의 결과 뉴탐라그린과 SK3-085에서 조직감 특성 및 꽃향, 단맛 등과 밀접한 관계를 보였고, 녹색제는 부정적 맛과 관련된 특성이 나타났다. 브로콜리의 품종별 관능 성분의 정제과정을 통해 얻은 분획물에 대한 묘사분석과 PCA의 분석에서는 뉴탐라그린이 향 관련 유의적 특성과 맛 성분과 관련된 특성을 보였으나 다른 특성에 대하여는 유의적 차이를 찾을 수 없었다.

감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 연구사업(PJ01496201)과 2020년도

제주대학교 학술진흥연구비 지원사업에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

REFERENCES

- AOAC. Official methods of analysis. 18th ed. Association of Officiating Analytical Chemists, Gaithersburg, MD, USA. 2005. p 112-113.
- 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.
- Bae SJ, Kim GY, Yoo YH, Choi BT, Choi YH. Modulation of cell cycle regulators by sulforaphane in human hepatocarcinoma HepG2 cells. *J Life Sci*. 2006. 16:1235-1242.
- Blois MS. Antioxidant determinations by the use of a stable free radical. *Nature*. 1958. 181:1190-1200.
- Cho KR. Quality characteristics of *Seolgidaeok* added with broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica* Plen.) powder. *Korean J Food Nutr*. 2009. 22:229-237.
- Choi JW, Lee WM, Kwak JH, Kim WB, Kim JK, Lee SK, et al. Recent research status of postharvest management of broccoli. *J Korean Soc Int Agric*. 2011. 23:497-502.
- Fahey JW, Zalcman AT, Talalay P. The chemical diversity and distribution of glucosinolates and isothiocyanates among plants. *Phytochemistry*. 2001. 56:5-51.
- Forney CF, Jordan MA. Anaerobic production of methanethiol and other compounds by *Brassica* vegetables. *HortScience*. 1999. 34:696-699.
- Guichard E. Interactions between flavor compounds and food ingredients and their influence on flavor perception. *Food Rev Int*. 2002. 18:49-70.
- Han D, Row KH. Separation and purification of sulforaphane from broccoli by solid phase extraction. *Int J Mol Sci*. 2011. 12:1854-1861.
- Hong SH. Development and application of enriched study program on plant tissue—Focused on root. *The Journal of Elementary Education*. 2005. 10:47-59.
- Horticulture. 2020 Jeju-style broccoli “New Tamna Green” contributes to increasing income for farmers. 2020 Dec 2 [cited 2021 Oct 19]. Available from: <http://www.hortitimes.com/news/articleView.html?idxno=26400>
- Hwang ES, Kim GH. Different cooking methods for Korean cabbage and their effect on antioxidant activity and carotenoid and tocopherol contents. *Korean J Food Cook Sci*. 2011. 27:713-721.
- Jayakumar T, Chen WF, Lu WJ, Chou DS, Hsiao G, Hsu CY, et al. A novel antithrombotic effect of sulforaphane via activation of platelet adenylate cyclase: ex vivo and in vivo studies. *J Nutr Biochem*. 2013. 24:1086-1095.
- Kim CH, Cho KR. Quality characteristics of sponge cakes made with different quantities of broccoli powder. *Korean J Food Sci Technol*. 2010. 42:459-467.
- 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 MS, Lee YS, Kwon HY, Kim JS, Sohn HY. Antioxidative, antimicrobial, and anti-proliferative activities of the floret and stalk of broccoli (*Brassica oleracea* L.). *Korean J Microbiol Biotechnol*. 2014. 42:58-66.
- Ko SB, Kim SB, Ko TS, Kang SK, Ko SJ, Ko MH, et al. Selection of optimal cultivars of broccoli for fall and winter season production in Jeju. *Proceeding of The First Asian Horticultural Congress (AHC 2008)*. 2008 Dec 11-13. Jeju, Korea. p 24.
- Korea Seed & Variety Service. 2017 Application for the protection of variety. 2017 [cited 2021 Oct 19]. Available from: <https://www.seed.go.kr/seed/270/subview.do?enc=Zm5jdDF8QEB8JTJGaW50ZXJ3b3JrJTJGc2VIZCUyRjclMkYxMzcwODclMkZwcm90ZWNoaW9uRmFybVZpZXcuZG8lM0ZwYWdlJTNEMSUyNnBhZ2UyJTNEMSUyNmZpbmRDcm9wQ2wlm0QIMjZmaW5kQ3JvcFNlYkNsJTNEJTI2ZmluZGFndE RvYyUzRCUyNmZpbmRDcm9wTm0lM0QIMjZmaW5kVmFyaWV0eU5tJTNEJUVCJTg5JUJ0JUVEJTGzJTkwJUVCJTIEJlUJDUVBjUjU3JUJ4JUVCJUE2JUJwJTl2ZmluZENodWxObSUzRCUyNmZpbmRSZ3RObSUzRCUyNmZpbmRHcnRObSUzRCUyNmZpbmRDdHVsTm8yJTNEJTI2ZmluZENodWxObzMiM0QIMjZmaW5kQXBlbm8lM0QIMjZmaW5kU3RObSUzRCUyNmZpbmRjbm0aWFlsJTNEJTI2>
- Kwon YD, Ko EY, Hong SJ, Park SW. Comparison of sulforaphane and antioxidant contents according to different parts and maturity of broccoli. *Korean J Hort Sci Technol*. 2008. 26:344-349.
- Lee HJ. Antioxidant activity and characteristics of pound cakes prepared with *Coriandrum sativum* L. leaves powder and broccoli's stem powder. *Korean J Food Nutr*. 2012. 25:436-446.
- 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 SH. Quality and antioxidant properties of white breads enhanced with broccoli (*Brassica oleracea* L.) powder. *Korean J Food Cook Sci*. 2015. 31:614-622.
- Lee SO. The story of agricultural products (35)—Broccoli. *Life and Agrochemicals*. 2008. 29(5):48.
- Lee WK, Kim SJ. Sulforaphane-induced apoptosis was regulated by p53 and caspase-3 dependent pathway in human chondrosarcoma, HTB-94. *J Life Sci*. 2011. 21:851-857.
- Lee YD, Cho SC. Improving preservation of udong fried-balls by using broccoli extract. *Food Eng Prog*. 2018. 22:192-198.
- Lee YD, Moon GS. Growth inhibition of *Clostridium difficile* by fermented broccoli with *Leuconostoc mesenteroides*. *J Food Hyg Saf*. 2017. 32:531-535.
- Lee YK, Park JY, Bae HW, Chung AR, Chang YH. Physicochemical properties of weaning food using roasting-treated cereals and granule-treated vegetables. *J Korean Soc Food Sci Nutr*. 2018. 47:1312-1319.
- Lim EJ, Kim JY. Quality characteristics of cookies added with broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica* Plenck) powder. *J East Asian Soc Diet Life*. 2009. 19:210-215.
- Lim EJ, Lee HS, Lee YH. Physical and sensory characteristics of sponge cake with added broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica* Plenck) powder. *J East Asian Soc Diet Life*. 2010. 20:873-880.
- Mahn A, Reyes A. An overview of health-promoting compounds of broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica*) and the effect of processing. *Food Sci Technol Int*. 2012. 18:503-514.
- Nardi M, Fieze-Vandal C, Tailliez P, Monnet V. The EstA esterase is responsible for the main capacity of *Lactococcus lactis* to synthesize short chain fatty acid esters *in vitro*. *J Appl Microbiol*. 2002. 93:994-1002.
- Oh JB, Lee HJ. Effect of cake improver on antioxidant activity and properties characteristics of pound cakes prepare using broccoli stem powder. *Korean J Food Nutr*. 2011. 24:567-576.
- Oh YS, Baek JW, Park KY, Hwang JH, Lim SB. Physicochemical and functional properties of *Kochujang* with broccoli leaf powder. *J Korean Soc Food Sci Nutr*. 2013. 42:675-681.
- Park JJ, Lee WY. Reduction in *Listeria monocytogenes* on fresh-cut broccoli by chlorine dioxide with ultrasonication. *Korean*

- J Food Preserv. 2018. 25:755-762.
- Ravikumar C. Therapeutic potential of *Brassica oleracea* (broccoli) – A review. Int J Drug Dev Res. 2015. 7:9-10.
- Rural Development Administration (RDA). The composition of blanched broccoli. Korean Standard Food Composition Table. 2021 [cited 2021 Sep 30]. Available from: <http://koreanfood.rda.go.kr/kfi/fct/fctFoodSrch/list>
- Steinmetz KA, Potter JD. Vegetables, fruit, and cancer prevention: a review. J Am Diet Assoc. 1996. 96:1027-1039.
- Thongsook T, Barrett DM. Purification and partial characterization of broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica*) peroxidases. J Agric Food Chem. 2005. 53:3206-3214.
- Yu SM, Kim SJ. Sulforaphane (SFN) and sodium nitroprusside (SNP) regulate proliferation and apoptosis through C-Jun N-terminal kinase (JNKinase) pathway in human breast cancer cell line, MDA-MB-231. Cancer Prev Res. 2011. 16:318-325.
- Zhang J, Švehlíková V, Bao Y, Howie AF, Beckett GJ, Williamson G. Synergy between sulforaphane and selenium in the induction of thioredoxin reductase 1 requires both transcriptional and translational modulation. Carcinogenesis. 2003. 24: 497-503.