가공 방법에 따른 제주산 월동무의 이화학적 특성 변화

— 연구노트 —

홍성준¹ · 부창국¹ · 허성욱¹ · 조성민¹ · 윤소정¹ · 정향연¹ · 이영승² · 박성수³ · 신의철¹

¹경상국립대학교 식품과학부/식품감각인지연구소

²단국대학교 식품영양학과

³제주대학교 식품영양학과

Physicochemical Characteristics of Wintering Radish Produced in Jeju Island by Different Processing Methods

Seong Jun Hong¹, Chang Guk Boo¹, Seong Uk Heo¹, 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 & Nutrition, Jeju National University

ABSTRACT This study aimed to investigate the physicochemical properties, namely Brix, salinity, pH, lightness, redness, yellowness, tuberosity, and 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging activity, through different processing methods. In the Brix analysis, the freeze-dried radish showed the highest value at $4.93 \pm 0.06\%$ among all samples, and the blanched radish showed the lowest value at $1.17 \pm 0.06\%$ among all samples. In the salinity analysis, the freeze-dried radish showed the highest value at $3.97 \pm 0.06\%$, and the blanched radish showed the lowest value at $1.00 \pm 0.01\%$ among all the samples. In the pH analysis, microwaved radish represented the highest value at 6.49 ± 0.01 , and the freeze-dried radish represented the lowest value at 5.66 ± 0.01 compared to the other radishes. In the DPPH analysis, the blanched radish showed the highest radical scavenging activity at $9.36 \pm 0.66\%$, and the microwaved radish showed the lowest radical scavenging activity at $3.89 \pm 1.74\%$ among all the samples. In the color analysis, the microwaved radish showed the highest value of lightness at 69.94 ± 0.07 , and oven heated radish showed the lowest value at $67.58 \pm 0.02\%$ among all the samples. This may be used as basic research data for determining physicochemical properties by different processing methods.

Key words: wintering-radish, physicochemical properties, color, multivariate analysis

서 론

제주도에서 재배되고 있는 작물 중 하나인 월동무(*Raphanus sativus* L.)는 배춧과(*Brassicaceae* family) 혹은 겨갯과(*Cruciferae* family)에 속하며, 잎과 뿌리 모두 식용 가능한 근채류로 알려져 있다. 무는 김치의 종류 중 하나인 동치미의 주재료로 사용되고 있으며, 높은 영양적 가치로 인해 국내 및 전 세계적으로 높은 생산량과 소비량을 나타내고 있다. 국내에서 생산되는 무는 재배 작형에 따라 봄무, 여름무(고랭지무), 가을무, 겨울무(월동무)로 분류되며 사계

절 내내 생산되고 있다. 이 중 제주도 월동무의 경우 9월 및 10월에 파종을 시작하고, 이듬해 4월에 수확하여 국내 무 생산량 및 재배면적에 관해 높은 비율을 나타내고 있다(Kim 등, 2019; Boo 등, 2020b).

무에 대한 높은 관심도와 함께 무의 이화학적 특성 및 관능적 특성에 관련된 연구들이 보고되고 있다(Boo 등, 2020b). 대표적인 이화학적 특성 연구들은 품종별 이화학적 특성에 관련된 연구와 흑무의 항산화 효과에 대한 연구 등이 존재하며, 관능적 특성에 관련된 연구들은 무의 이취 저감화에 대한 연구, 전자코, 전자혀, gas chromatography mass spec-

Received 3 March 2021; Revised 13 May 2021; Accepted 14 May 2021

Corresponding author: Eui-Cheol Shin, Department of Food Science, Gyeongsang National University, 501, Jinju-daero, Jinju-si, Gyeongnam 52828, Korea, E-mail: eshin@gnu.ac.kr

Author information: Seong Jun Hong (Graduate student), Chang Guk Boo (Graduate student), Seong Uk Heo (Student), Sung Min Cho (Student), So Jeong Yoon (Student), Hyang Yeon 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.

trometry(GC/MSD) 분석을 통한 제주도 월동무의 맛 성분과 향기 성분을 비교한 연구가 보고되어 왔다(Boo 등, 2020b).

식품의 대표적인 열처리 방법인 볶음 처리는 오븐을 이용한 열처리 방법과 전자레인지로 이용한 가공 방법들이 존재하고 있다. 이러한 가공 방법은 맛 성분과 향기 성분에 영향을 줄 수 있고, 열처리를 통해 본래의 식물 상태에서보다 더욱더 많은 향기 성분이 발생한다. 이와 동시에 총 페놀 함량, 총 플라보노이드 함량, DPPH 라디칼 소거능과 같은 이화학적 특성에 영향을 줄 수 있고, 식품의 관능적 특성 중 하나인 색의 강도를 변화시킬 수 있다(Hong 등, 2020; Lee 등, 2019). 최근 도라지를 볶은 후 DPPH 라디칼 소거 활성, 총 페놀 함량, 총 플라보노이드 함량을 관찰한 연구가 발표되었고(Lee 등, 2020), 동결건조를 통한 무의 향기 성분과 염도를 측정하였으며(Coogan과 Wills, 2002), 로스팅기와 가정용 스팀솜을 이용하여 제주도 가을무의 총 페놀 함량, 총 플라보노이드 함량, DPPH 라디칼 소거 활성 및 색도의 변화를 확인하였다(Kim 등, 2018).

앞서 언급한 제주 무 관련 이화학적 특성이나 기능성 관련 연구들이 발표되고 있지만, 전자레인지와 에어프라이어를 이용한 제주도 월동무의 가공 후 발생하는 이화학적 특성에 대한 연구는 매우 한정적인 상황이다. 이에 본 연구에서는 전자레인지 로스팅, 오븐 로스팅, 에어프라이 로스팅, 데치기 및 동결건조한 월동무의 이화학적 특성과 관능적 특성을 확인하였고, 월동무를 이용한 기본적인 식재료 및 최근 활발히 진행 중인 HMR(home meal replacement) 산업에서 활용 가능한 다양한 가공 방법에 따른 월동무의 이화학적 특성 결과를 기초연구 데이터로 제공하고자 하였다.

재료 및 방법

실험재료

본 실험에 사용된 제주산 무는 2020년 제주도에서 재배된 월동무를 이용하였고, 제주산 월동무 중 가장 높은 생산량을 보이는 청정고원 무를 이용하였다. 제주에서 제공받은 샘플은 저온(4°C) 배송을 통해 품질 저하를 최소한으로 진행하였고, 냉동 보관으로 인해 발생 가능한 해동 후의 품질 저하를 방지하기 위해 저온에서 제공받은 샘플은 최대한 신속하게 실험을 진행하여 저장과정에서 발생하는 문제를 최소화하였다.

가공 방법

실험에 사용된 월동무의 형태는 가정용 플라스틱 강판을 이용하여 슬러리(slurry) 형태의 무를 사용하였다. 슬러리의 경우 맛과 향의 변화가 쉽게 발생할 것을 고려하여 금속성의 물질과의 접촉을 차단하였고, 강판 역시 플라스틱 재질을 사용하여 품질 변화가 없는 신선한 상태의 슬러리 샘플을 유지하였다. 그리고 각각의 가공처리 직전에 슬러리를 제조하였으며, 실험에 사용되고 남은 슬러리는 곧장 폐기하였다.

본 연구에서 제시한 4가지의 열처리 가공 방법의 경우 다양한 열처리 기능을 가진 기기(EONC200F, SK Magic, Seoul, Korea)를 사용하여 진행하였다. 개별 가열 처리 조건은 전자레인지 처리(microwave treatment)의 경우 전자레인지(800 W)에서 5분간 진행하였고, 오븐 처리(oven treatment)의 경우 180°C의 온도에서 12분간 진행하였다. 데치기(blanching)의 경우는 110°C에서 12분간 진행하였고, 에어프라이어 처리(air frying treatment)의 경우 180°C 12분간 frying을 통해 진행하였다. 그리고 비열처리 샘플인 동결건조(freezing dry) 샘플은 동결건조기(Lyoph-Pride 10R, Il-Shin Co., Yangju, Korea)를 이용하여 진행하였다. 이화학적 특성 탐색을 위한 월동무의 교반액은 가공처리된 무 30 g과 정제수 100 mL를 첨가하고 400 rpm에서 30분간 교반 후 Whatman No. 1 filter paper(Whatman International Ltd., Maidstone, UK)를 이용하여 여과했으며, 이를 각각의 분석에 사용하였다.

색도, 갈색도 및 탁도 측정

월동무의 색도는 색차계(CR-400, Konica Minolta Inc., Tokyo, Japan)를 이용하여 측정하였고, 가공 방법에 따른 무의 명도(lightness, L^*), 적색도(redness, a^*), 황색도(yellowness, b^*)의 변화를 측정하였다. 탁도는 600 nm에서 spectrophotometer(Multiskan Go, Thermo-Fisher Scientific Co., Vantaa, Finland)를 이용하여 측정하였고, 측정 결과 나타난 높은 흡광도는 개별 시료의 높은 갈색도와 탁도를 반영하는 것으로 판단하였다(Hong 등, 2020).

당도, 염도 및 pH 측정

월동무의 이화학적 특성을 파악하기 위한 당도(Brix, %)는 당도계(PAL-03S, Atago Co., Tokyo, Japan)를 이용하여 측정하였고 염도(%)는 염도계(PAL-α, Atago Co.)를 이용하여 측정하였다. 당도 및 염도 측정을 위해 앞서 정제수에 용해한 월동무 교반액 200 μL를 취해 측정 기기의 prism에 주입하여 당도와 염도를 측정하였다. 본 실험은 각각 3회 반복하여 진행하였다(Hong 등, 2020). pH 측정의 경우 월동무 교반액 100 mL를 pH meter(ST3100, Ohaus Co., Parsippany, NJ, USA)를 이용하여 측정하였다(Hong 등, 2020).

DPPH 라디칼 소거능 측정

월동무가 가진 라디칼 소거능은 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl(DPPH)을 이용하여 측정하였다. 각각의 시료 교반액 10 μL에 0.1 mM의 DPPH 용액(Sigma-Aldrich Co., St. Louis, MO, USA)을 혼합한 후 30분 동안 37°C에서 교반 및 암소 방치하였고 517 nm에서 흡광도를 측정하였다. 측정된 흡광도 값을 다음의 식에 대입하여 DPPH 라디칼 소거능을 산출하였다(Hong 등, 2020).

$$\text{DPPH radical scavenging activity (\%)} = (1 - \text{sample absorbance/blank absorbance}) \times 100$$

통계처리

본 연구의 결과값은 3회 반복한 평균값(mean)과 표준편차(SD)로 제시하였고, 통계프로그램은 SAS version 9.0 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA)을 이용하여 Tukey's multiple range test($P < 0.05$)를 통해 얻은 실험값에 대한 유의성을 검증하였다(Hong 등, 2020).

결과 및 고찰

당도 및 염도

가공처리에 따른 월동무의 당도와 염도의 변화는 Table 1에 나타내었다. 일반적으로 당도와 염도의 경우 가공처리 과정에서 발생하는 샘플 간의 수분함량 차이로 인한 오차를 줄이고자 샘플 30 g을 100 mL의 정제수에 용해한 후 동일한 수분함량 조건에서 실험을 진행하였다. 가공처리에 따른 월동무의 당도는 1.17~4.93%의 범위를 나타내었고, 비열처리군으로 열처리 샘플들과의 상대적 비교에서 대조군으로 간주할 수 있는 동결건조된 월동무 샘플에서 가장 높은 당도를 나타내었다($P < 0.05$). 반면 데치기된 월동무 샘플에서 가장 낮은 당도를 나타내었다($P < 0.05$). 오븐을 통해 가공처리된 월동무와 전자레인지로 통해 가공처리된 월동무 사이에는 유의적인 차이가 발생하지 않았고($P > 0.05$), 전자레인지를 통해 가공된 월동무의 경우 오븐 월동무와 에어프라이 월동무에 비해 유의적으로 높은 당도를 나타내었다($P < 0.05$). 본 연구진의 선행연구에서 월동무의 크기에 따른 단맛의 경우 크기에 따라 다소 차이가 확인되었는데, 크기가 작은 월동무에서 단맛의 강도가 높은 것으로 확인되었다(Boo 등, 2020b). Lee 등(2009)의 연구에서는 열처리 무 추출물에서 당도와 관련된 fructose와 glucose 함량의 감소 추세를 보고한 연구도 있는데, 이러한 연구에서 열처리를 통한 fructose와 glucose가 Maillard 반응 및 caramelization 반응과 같은 비효소적 갈변 반응에 관여하여 그 함량이 감소할 수 있음을 보고하였다. 반응으로 인한 개별 함량의 변화는 있을 수 있으나 당도와 같은 전체적인 맛의 강도는 다양한 형태로 나타날 수 있을 것으로 판단된다.

염도의 경우 앞선 당도의 결과와 같이 염도에서도 동결건조된 월동무 시료에서 가장 높은 염도를 나타내었고($P < 0.05$), 데치기된 월동무에서 가장 낮은 염도를 나타내었다($P < 0.05$). 그리고 전자레인지 과정을 통해 가공된 월동무의 경우 오븐 월동무와 에어프라이 월동무에 비해 유의적으로 높은 당도를 나타내었고($P < 0.05$), 오븐 월동무와 에어프라이 월동무 사이에는 유의적인 차이가 발생하지 않았다($P > 0.05$). 문헌에 의한 일반적인 생무의 나트륨 함량은 18 mg/100 g 정도의 함량이 보고되고 있으며(Kim, 2015), 선행연구에서 가공처리를 하지 않은 월동무의 경우 사이즈가 큰

Table 1. Physicochemical characteristics in the wintering-radish using different processing methods

Treatment	Sample	Brix (%)	Salt density (%)	pH	DPPH (%)	L^* (Lightness)	a^* (Redness)	b^* (Yellowness)	Turbidity
Non-thermalized	Freezing dry	4.93±0.06 ^a	3.97±0.06 ^a	7.66±0.01 ^a	6.07±1.37 ^{ab}	69.16±0.16 ^b	0.309±0.001 ^a	0.314±0.001 ^a	0.089±0.001 ^c
Thermalized	Oven	1.23±0.06 ^{cd}	1.10±0.01 ^c	6.72±0.05 ^d	5.09±1.03 ^b	67.58±0.02 ^d	0.309±0.001 ^a	0.313±0.001 ^a	0.114±0.001 ^a
	Microwave	1.53±0.06 ^b	1.20±0.01 ^b	7.49±0.01 ^a	3.89±1.74 ^b	69.94±0.07 ^a	0.308±0.001 ^a	0.313±0.001 ^a	0.109±0.001 ^b
	Air-fryer	1.37±0.06 ^c	1.10±0.01 ^c	7.09±0.01 ^b	4.00±1.50 ^b	68.31±0.06 ^c	0.308±0.001 ^a	0.313±0.001 ^a	0.054±0.001 ^e
	Blanching	1.17±0.06 ^d	1.00±0.01 ^d	6.87±0.05 ^c	9.36±0.66 ^a	69.02±0.03 ^b	0.309±0.001 ^a	0.313±0.001 ^a	0.070±0.001 ^d

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

Mean values with different letters (a-e) within the same column are significantly different according to Tukey's multiple range test ($P < 0.05$).

월동무의 짠맛이 가장 낮게 확인되었다(Boo 등, 2020b). 이러한 변화는 단맛의 경우와 유사한 결과로 가공처리가 되지 않은 경우 월동무의 크기에 의한 맛 성분의 상대적인 변화가 발생한다는 것을 확인하였다(Boo 등, 2020b).

당도와 염도는 단맛과 짠맛에 영향을 줄 수 있고 식품의 수분함량 변화에 따라 당도 및 염도가 변화한다(Hong 등, 2020). 일반적으로 열 가공처리를 거친 식품은 수분의 함량, 즉 보수력(water holding capacity)이 감소하므로 조직 내 수분함량이 감소하며(Lee 등, 2013), 앞선 문헌 연구에서 전기장 건조 과정을 거친 월동무의 수분함량 또한 감소하는 경향을 나타내었다(Bajgai와 Hashinaga, 2001). 본 연구에서는 동결건조된 무에서 당도와 염도가 가장 높게 확인되었고, 이는 동결건조를 통해 가공된 월동무의 수분함량이 다른 가공 공정을 겪은 월동무 시료들보다 더 높은 수분건조가 발생하였다고 판단된다(Hong 등, 2020). 그리고 60°C에서 가공된 데치기무보다 120°C에서 가공된 오븐 월동무가 더 높은 수분건조가 발생하여 시료 내 당도 및 염도가 증가하였다고 판단된다. 앞선 Jeung 등(2019)의 연구에서 가공온도의 증가에 따라 당도가 증가하는 경향을 보고하였고, Lee 등(2013)의 연구에서 가공온도가 증가함에 따라 수분 함량이 더 낮아지는 경향을 보고하였다. 본 연구에서 전자레인지를 통해 가공된 월동무가 오븐과 에어프라이어로 가공된 월동무보다 높은 당도를 나타내는 결과 또한 수분 건조량에 따른 변화로 인해 발생하였다고 판단된다. 본 연구에서 확인된 당도와 염도의 변화는 월동무 시료들의 단맛과 짠맛에 영향을 줄 것으로 판단되며, 실제 Hong 등(2020)의 연구에서 볶음 처리된 땅콩새싹과 콩나물 추출물 염도의 증가 결과가 전자혀 짠맛과 관련된 센서값의 증가와 관련이 있다고 보고하였다. 또한 Bae 등(2012)의 연구에서 열처리된 무에서 생무에 비해 sucrose 함량이 유의적으로 증가하였고($P < 0.05$), 패넬을 이용한 관능평가를 통해 열처리 후 월동무의 단맛이 증가하는 결과를 확인하였다. Kwon과 Choi(1991)의 연구에서 김치 제조를 위한 생무의 염절임 과정에서 소금과 수분의 이동 현상은 생무의 가공, 보존, 품질에 있어서 매우 중요한 역할을 한다고 보고하였다. 또한 문헌 연구(Kim 등, 1989; Kim 등, 1990)에서는 생무의 소금 절임 과정에서 생무의 ascorbic acid 함량, α -amylase 활성 변화, 양념의 침수력, 그리고 생균수의 차이가 발생한다고 보고하고 있다. 이러한 실험 결과 및 문헌 연구를 토대로 당도 및 염도의 조절을 통한 월동무의 품질을 향상시키는 최적 가공조건의 확립이 필요할 것으로 판단된다.

pH

가공처리에 따른 월동무의 pH 변화는 Table 1에 나타내었다. 모든 시료 중 전자레인지를 통해 가공된 월동무가 가장 높은 pH를 나타내었고($P < 0.05$), 비열처리로 열처리 샘플군과는 대조군으로 볼 수 있는 동결건조된 월동무가 가장 낮은 pH를 나타내었다($P < 0.05$). 그리고 에어프라이어 가

공된 월동무, 데치기로 가공된 월동무, 오븐으로 가공된 월동무들이 각각 7.09 ± 0.01 , 6.87 ± 0.05 , 6.72 ± 0.05 의 pH를 나타내었다. 열처리가 되지 않은 동결건조 월동무의 pH가 가장 낮은 값을 보인 것으로 볼 때 가공처리가 되지 않은 샘플에서의 pH가 낮은 범위에 속할 것으로 판단되며, 열처리의 과정에서 다양한 물질의 분해과정에서 생성되는 아미노산과 acids와 같은 물질에서 해리되는 수소이온의 증가가 이러한 pH 상승에 기인하는 것으로 판단된다. 신맛의 경우 무엿보다도 수소이온 농도에 일차적으로 관계되는 요소이지만 음이온의 농도와 해리되지 않고 존재하는 산(undissociated acids)에 의해서도 영향을 받는 것으로 알려져 있다(Kim, 2015). Kim 등(2015)의 연구에서는 무말랭이에서 열풍건조를 통한 가공처리가 자연건조를 통한 무말랭이의 pH보다 유의적으로 높다고 발표한 연구도 보고되고 있다. 일반적으로 식품의 품질을 평가할 때 pH는 중요한 지표 중 하나이며, pH의 변화는 신맛의 인지에 영향을 준다(Hong 등, 2020). 사람의 혀는 신맛을 H^+ 의 영향으로 인해 신맛을 인지하고, 이로 인해 pH는 식품의 신맛을 판단할 수 있는 방법 중 하나로 생각할 수 있다(Hong 등, 2020; Kim 등, 2004). 이러한 신맛은 농도에 따라 다른 결과를 가져오며, 저농도에서 매력적인 맛으로 판단 및 고농도에서 부정적인 자극으로 판단한다(Kim 등, 2004). 본 연구에서 가장 낮은 pH를 나타내는 동결건조된 월동무는 높은 H^+ 이온에 의해 모든 시료 중 가장 강한 신맛을 나타낼 것으로 판단되며, 전자레인지를 통해 가공된 월동무는 낮은 H^+ 이온에 의해 모든 시료 중 가장 약한 신맛을 나타낼 것으로 생각된다(Kim 등, 2004). 앞선 Hong 등(2020)의 연구에서 열 가공처리에 따른 시료들의 pH를 측정하였고, 전자혀 분석을 통해 신맛과 관련된 센서값(SRS)이 pH 분석에서 나타나는 결과와 일치하는 경향을 확인하였다. 이에 본 연구에서 확인된 pH의 변화는 무의 신맛에 영향을 줄 수 있다고 판단된다. 일반적으로 무기산의 경우 대체로 pH 3.4~3.5, 유기산의 경우 pH 3.7~4.1에서 주로 신맛을 감지하는 것으로 알려져 있고, 완충용액에서는 pH 5.6~7.1의 범위에서도 신맛을 감지한다고 알려져 있다(Kim, 2015). 최근 Bae 등(2012)의 연구에서 열 가공처리 후 무에 함유된 유기산인 citric acid, malic acid, succinic acid, oxalic acid가 감소하는 경향을 보고하였으며, 가공 전후에 발생하는 유기산의 변화로 인해 본 연구에서도 가공 방법에 따라 서로 다른 pH가 나타났다고 판단된다.

DPPH 라디칼 소거능

가공처리에 따른 월동무의 라디칼 소거능은 Table 1에 나타내었다. 가공처리별 월동무의 라디칼 소거능은 3.89~9.36%의 범위를 나타내었고, 데치기 과정을 통해 가공된 월동무의 라디칼 소거능이 9.36%로 가장 높았다($P < 0.05$). 반면 전자레인지로 가열된 월동무의 라디칼 소거능은 3.89%로 가장 낮았고($P < 0.05$), 오븐, 에어프라이어 및 동결건조 과정을 통해 가공된 월동무와 유의적인 차이가 발생하지 않

았다($P>0.05$). 비열처리군으로 대조군이라 볼 수 있는 동결건조 샘플과 다른 열처리 샘플 간의 비교에서는 데치기 샘플에서 가장 높은 활성을 보인다고 볼 수 있었다.

DPPH 라디칼 소거능은 항산화능을 측정하는 방법 중 하나로 전자를 공여하는 성질을 가지는 방향족 화합물 및 아민류에 의해 산화된다. 이러한 DPPH 라디칼 소거능은 환원 후 보라색에서 노란색으로 탈색된 정도를 항산화능의 지표로써 측정한다. 앞선 연구들에서 라디칼 소거능은 주로 페놀 및 플라보노이드 화합물에 영향을 받고, 월동무 가공 후 총 페놀 및 플라보노이드 함량은 증가하여 DPPH 라디칼 소거능 증가에 영향을 주었다고 보고하였다(Hong 등, 2020). 총 페놀 및 플라보노이드 이외에도 pH의 변화에 따른 DPPH 라디칼 소거능이 변화하며(Hong 등, 2020), 본 연구에서 다른 시료들에 비해 유의적으로 높은 pH를 가지는 전자레인지 및 에어프라이어를 통해 가공된 무에서 비교적 낮은 DPPH 라디칼 소거능을 나타내었다. 본 연구에서 데치기된 무가 가장 높은 라디칼 소거능을 나타내었다. 이는 데치기 과정이 다른 가공처리 방법들에 비해 단백질, DNA, 지질의 산화를 통해 효소를 불활성화 시켜 세포사를 유발하는 자유라디칼을 억제할 수 있으며, 체내 산화스트레스를 억제하는 긍정적인 생리적 기능을 가져올 수 있다고 판단된다(Song 등, 2010). Lee 등(2009)의 연구에서도 열처리를 통해 무 추출물에서 항산화능이 증가함을 보고하였다. Lee 등(2009)은 열처리를 통해 항산화 효능을 가지는 대표적인 물질인 페놀성 화합물이 열처리 온도에 따라 증가하게 되고, 열처리 과정에서 항산화 활성을 가지는 Maillard 반응의 부산물 형성에 의해 항산화 효능이 증가한다고 보고하였다. 이러한 결과를 토대로 열처리가 없는 생무보다는 열처리를 통한 가공무에서 항산화능이 증가할 것이라는 결과를 얻을 수 있었다. 또한 Kim 등(2015)의 연구에서는 무말랭이에서 건조 방식에 따라 무말랭이의 항산화능이 다양한 차이를 보였다는 연구도 보고되고 있다. 이러한 결과를 토대로 볼 때 열처리를 통한 가공 공정에서 채소류가 가진 다양한 생리활성 물질들이 화학적 변화를 통해 그 활성이 증대된다는 보고(Kim 등, 2015)도 있어 다양한 가공처리를 통한 월동무의 영양적, 기능적 특성을 증대시키는 연구가 향후 필요할 것으로 판단된다.

색도 및 탁도

가공처리에 따른 월동무의 색도와 탁도의 변화는 Table 1에 나타내었다. 비열처리 생무의 기준이 되는 동결건조 샘플을 기준으로 볼 때 월동무의 명도는 전자레인을 통해 가공된 월동무에서 가장 높은 명도를 나타내었고($P<0.05$), 오븐을 통해 가공된 월동무에서 가장 낮은 명도를 나타내었다($P<0.05$). 그리고 데치기된 무와 동결건조된 무 사이에는 유의적인 차이가 발생하지 않았고($P>0.05$), 에어프라이어로 가공된 무는 앞선 두 시료보다 유의적으로 낮은 명도를 나타내었다($P<0.05$). 반면에 적색도는 데치기 및 오븐을 통

해 가공된 월동무에서 가장 높은 적색도가 확인되었고($P<0.05$), 황색도는 명도와 적색도와 달리 모든 그룹에서 유의적인 차이가 발생하지 않았다($P>0.05$). 이는 비열처리군인 동결건조 샘플과 다른 열처리 샘플 간의 유의적인 차이가 확인되지 않았다. 다른 생무를 활용한 문헌 연구에서 생무의 열처리 온도가 높아질수록 갈변도가 증가하여 적색도 값이 증가하는 경향을 보인다고 보고하였다(Lee 등, 2009). 또한 Kim 등(2017)의 연구에서도 생무를 산 침지 후 복원한 무의 저장온도가 높아질수록 적색도 값이 증가한다는 보고를 토대로 볼 때, 열처리 조건은 무처리 월동무에서 열처리를 거치게 되면 월동무의 적색도 값이 증가한다고 판단할 수 있다. 가공 방법별 월동무의 탁도는 0.70~0.114의 범위를 나타내었다. 이 중 오븐으로 가열한 월동무의 탁도가 가장 높은 수치를 나타내었고($P<0.05$), 에어프라이어로 가열한 월동무의 탁도가 가장 낮은 수치를 나타내었다($P<0.05$). 동결건조 샘플을 기준으로 탁도는 열처리 과정과 직접적인 correlation 패턴이 확인되지 않았다. 가공처리가 되지 않은 무의 경우 저장 기간에 따라 명도의 경우 다소 감소하는 것으로 문헌에서 제시하고 있으며, 저장온도가 증가함에 따라 상대적으로 감소하는 패턴을 보고하고 있다(Kim 등, 2017). 명도는 식품소재의 특성 변화와 높은 관련성을 나타낸다(Cho 등, 2020). 또한 명도는 색도와 음의 상관관계를 가지는 특징이 있고, 이로 인해 색도의 감소는 명도의 증가와 관련이 있다(Hong 등, 2020). 본 연구에서는 가공 방법에 따른 명도에서 유의적인 차이($P<0.05$)를 확인하였고, 이는 식품의 기호성을 평가하는 데 영향을 줄 것이라고 판단된다(Hong 등, 2020). 열처리 과정에서는 식품성 소재의 변색 또는 향미 손실을 일으키는 각종 lipase, lipoxygenase 및 peroxidase의 불활성화(inactivation) 효과로 인해 변색의 예방을 기대할 수 있다. 특히 peroxidase의 활성은 무에서 매우 높게 나타나는 상황이라 적절한 열처리 공정을 통해 색도의 조절이 가능할 수 있을 것으로 판단된다(Lee 등, 1990). Cho 등(2020)의 연구에서 열처리를 통해 명도가 변화하였고, Kim 등(2008)의 연구에서 동결건조 기간에 따른 명도의 변화를 보고하였다. 또한 Park 등(2019)의 연구에서 탁도의 증가는 명도의 감소와 관련이 있으며, 탁도의 증가는 시료의 혼탁함을 증가시켜 식품 기호성 및 품질에 부정적인 영향을 줄 수 있다. 월동무의 색도 변화는 pH, 안토시아닌 함량, 그리고 서로 다른 pH의 안토시아닌 용액으로 추출한 무의 색이 변화되는 것이 관찰되었다(Chayavanich 등, 2012). 본 연구에서는 명도의 경우 상대적으로 낮은 온도에서 가공처리한 데치기된 월동무가 오븐을 통해 가공된 무보다 유의적으로 높은 명도를 나타내었다($P<0.05$). 최근 Lee 등(2009)의 연구에서 가공온도가 증가함에 따라 명도가 감소하였다. 이는 본 연구에서의 결과와 일치하며, 에어프라이어를 통해 가공된 월동무가 오븐을 통해 가공된 무보다 명도에 적은 영향을 미치는 것으로 판단되고, 데치기 공정과 동결건조 공정이 다른 가공 방법보다 월동무 본래의 명도에

비교적 적은 영향을 미치는 것으로 사료된다.

다변량분석을 통한 무의 이화학적 특성 패턴 분석

가공처리에 따른 월동무의 이화학적 특성 결과를 다변량 분석법 중 하나인 주성분분석(principal component analysis)과 군집분석(cluster analysis)을 이용하여 각각의 시료들을 분리하였고, 분리된 패턴 결과는 Fig. 1과 Fig. 2에 각각 나타내었다. 주성분분석을 이용하여 확인된 패턴 결과는

PC1(principal component)에서 46.55%의 variance가 확인되었고, PC2에서 26.66%의 variance가 확인되어 총 73.21%의 variance가 확인되었다. 가열처리된 시료들과 동결건조된 시료는 주로 PC1에 의해 분리되었다. 비열처리로써 열처리 샘플과의 대조군으로 간주되는 동결건조된 월동무는 당도, 염도, 황색도에 의해 분리되어 제1사분면에 위치하였고, 동결건조된 월동무 이외의 다른 시료들은 PC1 기준으로 음(-)의 방향에 위치하였다. 전자레인지로 통해

Fig. 1. PCA bi-plot of between radish samples and physicochemical parameters by various processing methods.

Fig. 2. Cluster analysis of radish samples based on physicochemical parameters.

가공된 월동무는 pH에 의해 분리되어 제2사분면에 위치하였고, 에어프라이어로 처리된 월동무 또한 전자레인지를 통해 가공된 월동무와 비교해 상대적으로 약하지만 pH의 영향에 의해 제2사분면에 위치하였다. 데치기된 월동무와 오븐 처리된 월동무의 경우 다른 시료들에 비해 상대적으로 밀접한 위치(제3사분면)에서 확인되었다.

가공처리에 따른 월동무의 군집분석 결과는 Fig. 2에 나타내었다. 군집분석의 결과는 오븐 및 데치기로 가공된 시료들이 다른 시료들에 비해 상대적으로 낮은 차이도를 나타내었고, 전자레인지 및 에어프라이어로 가공된 시료들이 다른 시료들에 비해 상대적으로 낮은 차이도를 나타내었다, 그리고 동결건조된 시료는 열처리로 가공된 시료들과 상대적으로 높은 차이도를 나타내었다. 본 연구에서 확인된 군집분석의 결과는 주성분분석에서 확인된 variables에 의해 시료 간의 차이도가 발생하였다고 판단된다. 월동무에 대한 다변량분석은 Boo 등(2020b)의 연구에서 월동무의 크기에 따른 맛 성분과 향기 성분을 주성분분석을 통해 시료 간 차이를 확인하였고, Boo 등(2020a)의 연구에서 국내 소비되는 국, 탕, 찌개류의 관능적 특성을 주성분분석 및 군집분석을 통해 시료 간 차이도를 확인하였다. 이에 본 연구의 주된 활용범위 중 하나인 HMR과 같은 식품소재로의 월동무의 적용에서 다변량분석 결과는 활용 가치가 높을 것으로 판단된다. 각각의 가공처리에 따른 결과 패턴은 HMR 시장에서 어떠한 가공처리가 해당 제품과 적합한 이화학적 특성을 가지는지에 대한 판단의 기초자료가 될 것으로 생각한다.

요 약

본 연구는 가공 방법에 따른 제주산 월동무의 이화학적 특성을 탐색하기 위한 연구로서 당도, 염도, pH, 색도(명도, 적색도, 황색도), 탁도, 그리고 DPPH 라디칼 소거능을 확인하였다. 모든 시료 중 동결건조된 월동무의 당도가 가장 높았고, 염도의 경우 당도의 결과와 같이 동결건조된 무가 가장 높은 염도를 나타내었다. 반면 데치기된 월동무에서 가장 낮은 당도와 염도의 결과를 나타내었다. pH는 전자레인지를 통해 가공된 월동무가 가장 높은 pH를 나타내었고, 동결건조된 무가 가장 낮은 pH를 나타내었다. 색도의 경우 전자레인지를 통해 가공된 월동무가 가장 높은 명도를 나타내었고, 오븐을 통해 가공된 월동무가 가장 낮은 명도를 나타내었다. 반면 데치기된 월동무와 동결건조된 월동무 사이에는 유의적인 차이가 발생하지 않았다. 명도와 달리 적색도 및 황색도의 경우 모든 그룹 사이에 유의적인 차이가 발생하지 않았다. 탁도는 오븐을 통해 가공된 월동무가 가장 높은 탁도를 나타내었고, 에어프라이어로 가공된 월동무가 가장 낮은 탁도를 나타내었다. DPPH 라디칼 소거능은 데치기된 월동무가 가장 높은 값을 나타내었고, 전자레인지를 통해 가공된 월동무가 가장 낮은 값을 나타내었다. 주성분 및 군집분석의 결과는 오븐 및 데치기로 가공된 월동무가 다른 그룹들보다

상대적으로 근접한 위치(제3사분면)에 위치하였고, 전자레인지 및 에어프라이어를 통해 가공된 월동무가 다른 그룹들보다 상대적으로 근접한 곳(제2사분면)에 위치하였다. 그리고 동결건조된 월동무는 다른 그룹들과 가장 큰 차이도를 나타내어 제1사분면에 위치하였다. 앞선 결과들을 통해 가공 방법에 따른 당도, 염도, pH의 변화는 월동무의 단맛, 짠맛, 신맛에 영향을 주었다고 판단되며, 색도 및 DPPH 라디칼 소거능의 변화를 통해 월동무의 가공 방법이 식품 소재의 기호성에 영향을 주었다고 판단된다. 본 연구는 제주 월동무의 기본적인 이화학적 특성을 제시하는 연구라기보다는 제주 월동무를 활용한 식품가공 산업에서 적합한 가공처리 방법을 제시하는 자료로 이용될 것으로 확인한다. 월동무의 특성상 품질 저하가 빨리 일어나고 그로 인해 영양소의 손실뿐만 아니라 관능적인 기호도에도 영향을 미치는 이유로 비열처리 생무를 단순 이용하기보다는 적절한 열처리를 통한 가공처리를 통해 영양성분과 관능적 특성을 가진 다양한 인자들의 손실방지를 위한 노력이 필요하다. 이에 본 연구에서 제시한 여러 가지 열처리 방법에 따른 월동무의 활용 방안뿐만 아니라 본 내용을 기초로 하여 각 제품(HMR 제품 및 다양한 식재료로서의 월동무 제품)의 다양한 가공 방법에 대한 기초 연구로 확신한다.

감사의 글

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

REFERENCES

- 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. Korean J Hort Sci Technol. 2012. 30:409-416.
- Bajgai TR, Hashinaga F. High electric field drying of Japanese radish. Dry Technol. 2001. 19:2291-2302.
- Boo CG, Hong SJ, Cho JJ, Shin EC. Electronic sensors and multivariate approaches for taste and odor in Korean soups and stews. J Food Hyg Saf. 2020a. 35:430-437.
- Boo CG, Hong SJ, Lee Y, 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. 2020b. 49:1407-1415.
- Chayavanich K, Thiraphibundet P, Imyim A. Biocompatible film sensors containing red radish extract for meat spoilage observation. Spectrochim Acta Part A. 2012. 226:117601. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2019.117601>
- 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. 2020. 49:704-715.
- Coogan RC, Wills RBH. Effect of drying and salting on the flavour compound of Asian white radish. Food Chem. 2002. 77:305-307.
- Hong SJ, Cho JJ, Boo CG, 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. 2020. 49:356-369.
- Jeung JS, Kim HM, Kang SW, Kim EH, Son BG, Park NJ. Quality characteristics of dried *sansuyu* (Corni Fructus) fruit by pre-drying, blanching temperature and time. J Korean Soc Food Sci Nutr. 2019. 48:335-342.
- 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. 2019. 51:324-329.
- Kim E, Lim JH, Choi YS, Jeon KH. Effect of manufacturing process using superheated steam on the quality improvement of pickled radish product. Korean J Food Preserv. 2017. 24: 600-607.
- Kim JM, Shin MK, Hwang HS, Kim HT. Effects of salting process on ascorbic acid contents, α -amylase activity, seasoning penetration and microbial counts of radish cubes for *kakdugi*. Korean J Food Sci Technol. 1990. 22:492-495.
- Kim JM, Shin MK, Hwang HS. Physico-chemical changes of radish cubes for *kakdugi* during salting. Korean J Food Sci Technol. 1989. 21:300-306.
- Kim JN, Park YH, Noh YY, Kim Y, Kang MS. Quality characteristics of dried shredded radish and stir-fry dried shredded radish by different drying methods. Korean J Food Cook Sci. 2015. 31:596-604.
- Kim MJ, Park JD, Sung JM. Physicochemical properties and antioxidative activities of white radish tea by different preparation methods. Culi Sci & Hos Res. 2018. 24:73-81.
- Kim UK, Breslin PAS, Reed D, Drayna D. Genetics of human taste perception. J Dent Res. 2004. 83:448-453.
- Kim YJ, Lee YG, Choi YW, Kim YC. Effects of drying conditions on the profile of volatile terpenoid and colour of schizandra fruit (*Schizandra Chinensis* fructus). J Life Sci. 2008. 18:1066-1071.
- Kwon TY, Choi YH. Prediction model of absorbed quantity and diffusivity of salt in radish during salting. J Korean Soc Food Nutr. 1991. 20:572-581.
- Lee J, Cho JJ, Hong SJ, Kim DS, Boo CG, Shin EC. *Platycodon grandiflorum* roots: A comprehensive study on odor/aroma and chemical properties during roasting. J Food Biochem. 2020. 44:e13344. <https://doi.org/10.1111/jfbc.13344>
- Lee J, Kim DS, Cho J, Hong SJ, Pan JH, Kim JK, et al. *Perilla frutescens* Britton: a comprehensive study on flavor/taste and chemical properties during the roasting process. Molecules. 2019. 24:1374. <https://doi.org/10.3390/molecules24071374>
- Lee KA, Hong JM, Kim GN, Park I. Factors affecting thermal inactivation and reactivation of Korean-radish peroxidase. J Korean Soc Food Nutr. 1990. 19:301-304.
- Lee MJ, Kim SE, Kim JH, Lee SW, Yeum DM. A study of coffee bean characteristics and coffee flavors in relation to roasting. J Korean Soc Food Sci Nutr. 2013. 42:255-261.
- 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. 2009. 38:490-495.
- Park J, Lee SK, Choi I, Choi HS, Kim N, Shin DS, et al. Quality characteristics of rice wort and rice beer by rice processing. Food Eng Prog. 2019. 23:290-296.
- Song YB, Choi JS, Lee JE, Noh JS, Kim MJ, Cho EJ, et al. The antioxidant effect of hot water extract from the dried radish (*Raphanus sativus* L.) with pressurized roasting. J Korean Soc Food Sci Nutr. 2010. 39:1179-1186.