

제주도산 월동무 무즙블럭의 가공적성 연구

변예리^{1*} · 이동주^{2*} · 홍명기³ · 이영승² · 박성수¹

¹제주대학교 식품영양학과

²단국대학교 식품영양학과

³(주)오존에이드

Suitability of Processing Winter Radish Juice Blocks from Jeju Island

Ye-Ri Byun^{1*}, Dongju Lee^{2*}, Myung-Ki Hong³, Youngseung Lee², and Sung-Soo Park¹

¹Department of Food Science and Nutrition, Jeju National University

²Department of Food Science and Nutrition, Dankook University

³Ozoneaid Inc.

ABSTRACT Studies on the composition, storage, and growth characteristics of winter radish have been conducted actively. However, research related to ozone treatment remains limited. Currently, processed products utilizing winter radish are restricted to items such as dried radish slices, kimchi, and radish juice. This study aimed to develop radish juice blocks as convenient processed foods using ozone-treated winter radish from Jeju Island and sought to analyze their quality characteristics. Additionally, consumer preferences concerning the processing methods were investigated to gather foundational data for designing processing protocols and evaluating quality changes for the future commercialization of winter radish products. In the experiments, ozone-treated and untreated radishes (control) were processed into radish juice. Drying conditions included low-temperature drying (50°C), high-temperature drying (90°C), and freeze-drying. The results indicated differences in quality characteristics due to heat treatment, with low-temperature and freeze-drying being more suitable for the radish juice blocks than high-temperature drying. However, no significant effects of ozone treatment were observed. Consumer preference and sensory intensity analysis showed no significant differences among samples, though changes in the radish flavor and an increase in sweetness were noted during the drying process. Penalty analysis revealed that high-temperature drying altered the natural radish flavor, while low-temperature and freeze-drying had minimal impact. Therefore, low-temperature or freeze-drying methods are deemed preferable for producing radish juice blocks. This study provides foundational data for food storage technology development and advances in processed products utilizing the Jeju winter radish.

Keywords: winter radish, Jeju island, block, drying process, consumer preferences

서 론

무(*Raphanus sativus* L.)는 십자화과에 속하는 뿌리채소 작물로, 중국, 일본, 한국을 포함한 아시아 지역에서 중요한 채소 중 하나로 여겨진다(El-Beltagi 등, 2022). 무는 뿌리뿐만 아니라 잎까지 식용이 가능한 대표적인 근채류이며, 국내에서는 배추(*Brassica campestris* L. subsp. *napus* var. *pekinensis* Makino)와 함께 김치의 주재료로 사용되고 있는 중요한 채소이다. 더군다나, 생육기간이 짧고 영양학적 가치도 높아 국내에서만 아니라 전 세계적으로 널리 생산

되고 소비되고 있으며, 각 나라의 기후와 토양 특성, 그리고 소비자들의 기호에 맞춰 다양한 품종들을 대상으로 연구가 이루어지고 있다(Akram 등, 2015; Zha와 Liu, 2018). 무는 탄수화물, 단백질, 조섬유, 비타민 A, 비타민 C를 주요 영양 성분으로 포함하고 있어 영양적 가치가 뛰어난 농산물로 평가된다(Hwang 등, 2022). 주요 식용 부위는 뿌리이지만, 최근 잎과 새싹의 소비도 증가하고 있다(Gamba 등, 2021). 무의 뿌리는 주로 다른 채소와 함께 조리되거나 절임으로 활용되며, 잎과 새싹은 샐러드에 생으로 첨가하여 섭취된다(Gamba 등, 2021). 무는 글루코시놀레이트, 이소티오시아

Received 31 December 2024; Revised 8 January 2025; Accepted 10 January 2025

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@jeju.ac.kr

*These authors equally contributed to this work.

© 2025 The Korean Society of Food Science and Nutrition.

This is an 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.

네이트, 플라보노이드, 안토시아닌, 알칼로이드, 사포닌, 페놀산 등 다양한 기능성 성분을 다량 함유하고 있으며, 이러한 성분들은 소화 촉진, 위 보호, 항염, 항암, 항산화, 지혈 등 다양한 생리적 효능을 나타내는 주요 요인으로 보고되고 있다(Hwang 등, 2022). 국내에서는 재배 작형에 따라 봄무, 고랭지무(여름무), 가을무, 월동무로 분류되어 연중 생산되고 있으며, 최근 한국의 무 생산량은 연간 약 116만 8천 톤에 달한다(Oh 등, 2017). 이 중 30% 이상이 제주에서 재배되며, 특히 제주 지역에서 월동무의 재배 면적과 생산량이 지속적으로 증가하고 있다(Hwang 등, 2022).

최근 식품에 대한 소비자들의 관심이 높아지면서 최소가공을 통해 식품의 영양분 손실 및 맛을 유지하면서 안전성과 저장성을 증진하는 최소 가공법(minimal processing)에 관한 연구가 진행되었다. 특히 신선 야채류나 과일 등은 가열 살균이 곤란하여 halogen 화합물, oxidizer, 알코올 등의 화학적 살균을 이용하거나 방사선 및 UV 조사 등의 방법도 이용되고 있다(Park 등, 2010). 오존(O₃)은 살균 및 산화력이 매우 높고 시간 경과 후 산소로 돌아오기 때문에 2차 오염을 초래하지 않는 장점과 살균 및 탈색, 탈취 등의 효과가 있는 것으로 알려져 식품산업을 비롯한 관련 산업에서의 이용 빈도가 점차 증가하고 있다(Park과 Park, 2000).

생무는 90% 이상의 높은 수분함량으로 갈변과 곰팡이가 쉽게 발생하지만, 건조를 통해 수분을 줄여 미생물 번식과 효소 활성을 억제함으로써 변질을 방지하고 품질을 유지할 수 있다(Jiang 등, 2022). 여러 상업적 건조 기술이 사용 가능하며, 각 기술은 고유한 장점과 한계를 지니고 있어 최종 제품의 영양적 및 이화학적, 감각적 특성에 차이를 만든다(Juhari 등, 2021). 많은 건조 기술 중 동결건조는 열에 민감한 생물학적 물질의 보존을 위해 처음 도입된 기술로, 냉동된 물의 승화를 원리로 사용한다(Radojčin 등, 2021). 열풍 건조는 열전달과 물질 전달의 매체로 열풍을 사용하는 방식으로, 경제적 측면에서 비교적 유리하여 널리 활용된다(Choi 등, 2023). 저온건조는 건조공기를 주변 온도보다 약간 가열하고 평형습윤율보다 낮게 제습하여 건조속도를 일정 이하로 유지하는 방법이다(Kim과 Han, 2009). 건조 기술에 따라 무의 특성이 달라져 소비자 기호도에 영향을 미치므로, 무를 주재료로 하는 다양한 가공식품에 활용하기 위해 건조 기술별 무의 특성을 파악하는 것이 중요하다. 무는 김치, 깍두기, 동치미와 같은 김치류와 건조 또는 통조림 형태의 피클로 가공되어 단무지, 피클 등 다양한 가공식품으로 활용된다(Kim 등, 2018). 또한 무를 갈아 즙을 낸 무즙은 메밀국수에 첨가되어 맛을 향상시키고 원활한 소화를 돕는다(Kim 등, 2022).

무에 관한 연구는 다양하게 진행되어 왔는데 전자센서 및 다변량 분석을 활용한 국내산 무의 저장기간 및 온도에 따른 감각특성(Jo 등, 2022), 품종에 따른 국내산 월동무의 이화학 및 감각평가(Kim 등, 2021), 비표적 대사체학 전자혀 평가를 통한 절임 과정에서 무의 대사물질 및 감각 품질의 동

적 변화 분석(Liu 등, 2024), 메타 유전체 및 분자 감각 분석을 활용한 산업용 무 발효의 풍미 프로파일 및 미생물 역학 분석(Zhao 등, 2022), GC/IMS와 전자코/전자혀를 활용한 다양한 무의 풍미 및 맛 프로파일 특성화(Cai 등, 2024) 등의 연구가 있다. 무의 품종이나 가공 과정에 따른 감각 특성에 관한 논문은 많이 보고되었으나 아직 건조 기술에 따른 메틸소바 장국에 첨가되는 무즙의 감각적 특성 변화에 관한 연구는 거의 없는 실정이다.

월동무에 대한 성분 및 저장성과 생육 특성에 관한 연구는 활발히 진행되고 있으나, 월동무에 오존을 처리하여 가공한 식품에 관한 연구가 많이 이루어지지 않고 있어 본 연구에서는 오존 처리한 제주도산 월동무를 사용하여 간편편이식으로 활용 가능한 무즙블럭을 제조하였으며 그 품질특성을 분석하였다. 또한 월동무를 활용한 가공 방법에 따른 소비자 기호도를 파악하여, 향후 월동무의 가공 공정 설계와 가공 후 품질특성 변화에 따른 상품화 연구를 위한 기초자료를 수집하는 것을 목적으로 한다.

재료 및 방법

재료

연구에 사용한 제주 월동무는 서귀포시 데모루영농조합법인에서 구입하였다. 오존수기(PAS-2001, (주)오존에이드)를 사용하여 제조한 오존수(오존농도 0.5~2 ppm)로 세척하고 오존농도 0.2~0.6 ppm에서 저장한 무와 오존처리를 하지 않은 무의 껍질을 제거한 후, 흐르는 물로 세척하여 강판에 갈고 면보로 즙을 짜낸다. 전처리한 시료를 영하 20℃의 온도에서 냉동 보관하였다.

무즙블럭 제조

냉동 보관한 무즙을 해동하여 40 g씩 스테인리스 틀(Fig. 1)의 6개 홀(400×550×300 mm)에 채워지도록 넣어 홀의 형태를 유지하도록 무즙블럭을 만든 후 건조과정을 거치고 영하 20℃의 온도에서 냉동 보관하였다.

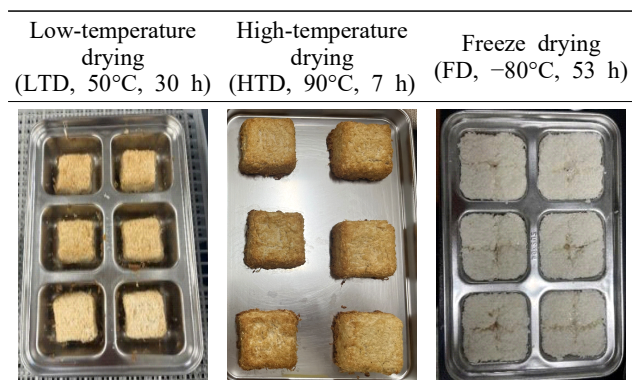


Fig. 1. Samples prepared by different drying methods.

건조

저온건조는 냉동 상태의 무즙블럭을 50°C의 온도에서 식품건조기(LD-9013, L'EQUIP)를 이용해 30시간 동안 건조하였다. 약 18시간 후 블록 형태가 되었을 때 블록을 뒤집어 고르게 건조되도록 하였다. 고온건조는 냉동 상태의 무즙블럭을 90°C의 온도에서 drying oven(PURIVEN 150, CRYSTE)을 사용하여 7시간 동안 건조하였다. 약 3시간 후 블록의 건조 상태를 중간 점검하고 블록 형태가 되었을 때 1시간 간격으로 뒤집고 위치를 바꿔주며 고르게 건조될 수 있도록 하였다. 동결건조는 동결건조기(FDB-8602, OPERON)를 사용하여 -80°C의 온도에서 48시간 이상 동결 건조하였다.

수분함량 및 수분활성도 측정

무즙블럭 40 g의 저온건조, 고온건조, 동결건조 후의 무게와 비교구로 무즙 100 g의 저온건조, 고온건조 후의 무게를 측정하여 수분 변화를 측정하였다. 수분활성도 측정기(AwLab, Wisdom)를 이용해 저온건조, 고온건조, 동결건조 후의 수분활성도를 측정하였다. 샘플 컵의 3/4을 초과하지 않도록 건조 샘플을 채워 수분활성도 측정기에 넣어 수분활성도를 연속으로 3회 측정하여 평균값을 내어 제시하였다.

총균수 측정

초기 미생물 및 30일간 냉장 보관한 무즙블럭의 미생물 수를 확인하기 위하여 표준한천배지(standard plate count agar, OXOID)를 제조하여 121°C에서 15분간 멸균하였다. 시료액을 농도별로 표준한천배지에 분주 도말한 후 배양기에서 37°C, 48시간 배양 후 관찰하였다.

색차 측정

무즙블럭의 색차는 국가표준 KS A0063 색차표시방법에 따라 색차 표준 중 대표적인 혼색계 체계인 CIE의 Hunter 체계(CIELAB, 1976)로 측정하였다. 색도 측정에 사용된 장비는 색차계(CR-400, Konica Minolta)로 3회 반복 측정하였다.

α -Amylase 활성 측정

DNS법으로 무즙블럭의 α -amylase 효소 활성을 측정하였다. 표준검량선은 α -amylase 표준효소액을 이용해 작성한 후, 효소액은 무즙블럭 5 g에 0.05 M potassium phosphate buffer 50 mL를 넣고 40분간 shaking 한 후 2,347×

g에서 10분간 원심분리 하여 그 상등액을 효소액으로 사용하였다. 유리시험관에 1% 전분용액 500 μ L, 20 mM Na-phosphate buffer(pH 6.9) 400 μ L, 효소액 100 μ L를 넣어 37°C에서 10분간 반응시켰다. Control은 효소액 대신 buffer 100 μ L를 넣었다. 반응 후 DNS 시약 1 mL를 첨가한 뒤 끓는 물에 시험관을 넣어 5분간 가열하였다. 실온에서 충분히 식히고 분광광도계로 540 nm에서 흡광도를 측정하였다. 효소 활성은 다음 공식을 사용하여 계산하였다.

$$\text{효소 활성(U)} = \frac{\text{환원당 생성량(mg)}}{\text{반응시간(분)} \times \text{효소액부피(mL)}}$$

감각평가용 시료 구성

연구에 사용된 시료는 Table 1에 제시하였으며, 다양한 건조 방법으로 제조된 무즙블럭을 첨가한 메밀소바 장국 7종으로 구성하였다. P1~P7 시료는 메밀소바 장국에 첨가된 무즙의 감각적 특성을 평가하기 위해 시료로 활용되었다. 무즙은 오존처리 여부에 따라 오존 처리군과 비처리군으로 구분한 후, 각각의 시료를 고온건조, 동결건조, 저온건조 방식으로 처리하여 무즙건조블럭을 제조하였다. 제조된 무즙건조블럭은 물과 1:100의 비율로 혼합하였고 대조군(P1)은 건조과정을 거치지 않고 생무를 같이 사용하였다. 메밀소바 장국은 대형마트에서 구매한 오뚜기 메밀소바 장국을 물과 1:3 비율로 혼합하여 사용하였다. 메밀소바 장국에 첨가된 무즙은 준비된 메밀소바 장국과 무즙을 1:1 비율로 혼합하여 제조하였으며, 대조군(P1)은 건조되지 않은 생무즙을 사용하여 동일한 비율로 혼합하였다. 모든 시료는 세 자릿수 랜덤 코드를 부여하여 60 mL 투명 플라스틱 컵에 30 mL씩 담아 패널에게 바로 제공하였으며 William's Latin Square에 따른 순서로 시료를 제공하였다.

소비자 패널

소비자 조사에 참여한 패널은 40명으로 온라인과 오프라인 모집을 이용하여 만 19세 이상 65세 이하의 식품 알레르기가 없고 액체 식품 섭취에 어려움이 없는 소비자로 선발하였다. 본 연구는 단국대학교 기관생명윤리위원회의 승인(승인번호: DKU_IRB-2024-09-006-001)을 받았으며, 모든 소비자는 개인정보보호법에 따라 수집된 개인정보가 철저히 관리된다는 내용의 개인정보 수집 동의서와 연구에 자발적으로 참여한다는 내용의 연구 동의서에 서명하였다. 또한 참여한 모든 참가자에게는 소정의 답례품을 제공하였다.

Table 1. Sample description for the radish blocks using different types of drying methods

Sample	Drying method						
	Control ¹⁾	Untreated			Ozone treatment		
		HTD ²⁾	FD	LTD	HTD	FD	LTD
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7

¹⁾Control is ground raw radish.

²⁾HTD: high temperature drying, FD: freeze drying, LTD: low temperature drying.

감각평가 방법

모든 평가는 시료를 맛본 후 전반적 기호도를 평가하고, 이어서 JAR(just-about-right) 특성을 평가하였다. 시료를 맛보기 전에는 외관을 평가하고 시료를 맛본 후에는 향미를 평가하며, 해당 특성의 강도를 평가하였다. 또한, 평가 중 시료 사이 소비자가 입을 행굴 수 있도록 입 행굼용 물과 빨는 컵을 제공하였다.

기호도는 각 시료에 대한 외관(색), 전반적인 품질 기호도를 9점 척도(1점=매우 싫다, 5점=보통이다, 9점=매우 좋다)를 사용하여 평가하였다. 향미(무), 단맛, 쓴맛, 떫은맛, 아린 맛은 5점 JAR 적합성 척도(1점=매우 약하다, 3점=적당하다, 5점=매우 강하다)로 평가하였다.

통계분석

블록 제조 관련 실험 및 전반적인 기호도와 JAR 특성에 따른 제품 간 유의적 차이는 ANOVA 분석 후 Tukey 사후검정으로 5% 수준에서 유의성을 검정하였으며, 특성의 적합성 강도와 기호도 간의 관계를 살펴보기 위해 Penalty analysis를 실시하였다. 모든 통계분석은 XLSTAT software version 2024 for Windows(Addinsoft Inc.)를 이용하여 분석하였다.

결과 및 고찰

무즙블럭 제조

최초로 (주)오존에이드에서 오존처리 무와 비처리 무를 받아 비처리 무를 대조구로 하여 실험을 수행하였다. Table 2에서는 저온건조 대조구와 동결건조 대조구의 수분활성도가 0.282와 0.301로 비슷하게 나타났으나 고온건조는 샘플 간의 온도와 건조 시간 차이로 수분활성도가 큰 차이를 나타내는 것으로 판단되었다. 건조 시간과 비교하면 고온의 온도에서 7시간 건조한 샘플의 수분활성도는 0.541, 7시간 이상

고온 건조한 샘플의 수분활성도는 도리어 감소하여 7시간 건조보다는 7시간 이상 건조한 샘플의 수분활성도가 낮게 나타난 것을 알 수 있어서(data not shown), 고온의 건조 시간은 7시간으로 설정하도록 하였다. 식품의 수분활성도는 미생물의 증식 및 생존에도 영향을 미칠 뿐 아니라(Kim 등, 2002; Kwak 등, 1998), 식품에 존재하는 효소의 활성, 비효소 갈변화 반응 등에도 직접적인 영향을 미치므로(Kim 등, 1988), 수분활성도는 식품의 저장 안정성을 결정하는 중요한 요소 중 하나이다. 무즙블럭에서는 건조 방법과 온도에 따라 수분활성도의 차이가 나타났으나 무즙블럭의 내부까지 완전하게 건조하기 위해 건조 온도에 따른 건조 시간의 차이가 발생하여 그 시간에 따른 수분활성도의 차이가 나타났고, 온도가 높을 때 수분활성도가 낮을 것이라는 추측과는 달리 수분활성도는 건조 시간과 온도에 큰 영향이 있었으며, 이 결과는 건조감귤 제조 시 수분활성도는 건조 온도가 높을수록 낮았으나 시간이 길수록 낮게 나타난 결과와 일치하였다(Lee와 Yoon, 2003). 무즙블럭 40 g의 건조 조건에 따른 무게 변화에서 동결건조한 샘플의 무게가 가장 높고 저온건조한 샘플의 무게가 가장 낮아 저온건조에서 수분 변화가 크게 일어났다. 무즙 100 g의 건조 조건에 따른 무게 차이가 무즙블럭의 건조 조건에 따른 무게 차이(0.2~0.4 g)보다 크게 나타났다(data not shown). 최초 오존처리의 효과를 비교해 보기 위해 비처리구로 하여 실험에 사용하였다. 최초 처리 후 보존 단계에서 비처리구에 비해 미생물 수가 약간 증가하는 경향이 나타났으나 품질에 영향을 미치는 정도에는 이르지 않은 것을 확인할 수 있었다. 이 경향은 과일을 오존처리 하여 장기간 보관하며 다양한 품질특성을 조사한 결과(Kim 등, 2021)와는 일치하지 않았으나 단시간 실험 기간의 결과임을 감안할 때 오존처리의 유의적 결과는 나타나지 않았다.

건조 전 시료의 초기 미생물을 확인하기 위해 일반세균수 실험을 진행하여 Table 2에 control group으로 나타내었

Table 2. Results of water activity and microbial counts in dried radish blocks

Sample	Drying temperature (°C)	Drying time (h)	Aw	CFU/g
Control group	50	30	0.282±0.01 ^{c1)}	1.333±1.53 ^a
	90	7	0.541±0.02 ^a	0.333±0.57 ^b
	-80	48	0.301±0.04 ^b	0 ^b
Ozone treated radish block	50	30	0.402±0.01 ^b	14.333±15.3 ^a
	90	7.5	0.690±0.01 ^a	3.667±1.53 ^b
	-80	53	0.193±0.01 ^c	9.333±10.214 ^b

¹⁾Means with different letters in the same column are significantly different ($P<0.05$).

Table 3. Color measurement & enzyme activity for ozone treated radish blocks

Sample	Drying temperature (°C)	Drying time (h)	L*	a*	b*	α-Amylase activity (U/mL)
Ozone treated radish block	50	30	66.96±4.78 ^{b1)}	5.13±0.74 ^b	22.97±2.05 ^a	0.1097±0.01 ^b
	90	7	55.13±2.21 ^c	7.92±0.13 ^a	19.74±0.78 ^b	0.0866±0.00 ^c
	-80	53	87.37±1.07 ^a	-1.02±0.17 ^c	11.14±0.22 ^c	0.1323±0.02 ^a

¹⁾Means with different letters in the same column are significantly different ($P<0.05$).

다. 실험 결과 15 CFU/plate 미만으로 나타났기 때문에 초기 미생물을 확인할 수 없었다. 전처리 후 시료를 30일간 냉동보관 한 후 미생물 측정된 결과를 실험 샘플군에 표시하였다. 그 결과 일반미생물 수는 초기에 비해 증식되었으나 30 CFU/g 이하로 나타나 미생물의 위해성은 없는 것으로 판단되었다. 이 결과는 다양한 상대습도에서 여러 건조식품을 저장하여 미생물수를 측정한 Kim 등(2017)의 연구 결과에서도, 건조식품을 85% 이상의 상대습도에서 보관한 경우에 총균수는 크게 증가하나 85% 이하의 상대습도에서는 미생물수의 증가가 억제되었다. 이는 본 연구에서도 초기 미생물수와 저장 후 미생물수가 큰 차이를 보이지 않는 것은 상대습도 증가를 억제하는 저장방법을 사용하여 얻어진 결과라 판단되며, 건조가공 처리 시 건조 효율이 비교적 높은 시료가 수분함량과 수분활성도가 낮아 미생물 생육이 어려워진다는 Choi 등(2022)의 연구와도 일치하는 경향이다.

색차계를 이용하여 오존 처리된 무를 활용하여 3가지 건조 조건에 따른 무즙블럭의 명도(L*), 적색도(a*), 황색도(b*)를 측정된 결과를 Table 3에 나타내었다. 명도는 동결건조 샘플에서 87.37로 가장 높은 값이 나타났으며 고온건조 샘플에서 55.13으로 가장 낮게 나타났다. 적색도는 고온건조 샘플에서 7.92로 가장 높게 나타났고 동결건조 샘플에서 -1.02로 가장 낮게 나타났다. 황색도는 저온건조 샘플에서 22.97로 가장 높게 나타났고 동결건조 샘플에서 11.14로 가장 낮게 나타났다. 저온건조 샘플은 가장 높은 황색도를 보이며, 고온건조 샘플은 명도가 가장 낮고 적색도가 가장 높게 나타났다. 동결건조 샘플은 명도가 가장 높고 적색도와 황색도가 가장 낮게 나타나 고온건조 샘플의 색이 가장 짙게 나타났음을 알 수 있다. 이 결과는 열풍건조 무청의 색도 분석연구를 수행한 Ku 등(2006)의 결과와 명도, 황색도의 결과는 일치하는 경향을 보였으나 적색도의 결과는 일치하지 않았다. 그 이유는 본 실험에서 더 높은 고온건조 온도에서 수행하여 적색도가 높게 나타난 것으로 판단되며, 동결건조 실험에서는 다른 시료와 비교하여 밝고 원재료인 무에 가까운 색도가 나타나고 있는 것으로 판단되었다.

오존 처리된 무를 활용하여 여러 건조 공정에 따라 제조된 무즙블럭에 대한 효소 활성을 비교하기 위해 α -amylase 활성을 측정하여 그 결과를 Table 3에 표시하였다. α -Amylase 활성은 고온건조의 경우 가장 낮았으며 동결건조의 경우 가장 높은 효소 활성을 나타내었다. 이 결과는 무의 α -amylase 활성을 연구한 Cho 등(2009)의 연구 결과와 일치하고 있으며 다만 고온건조의 경우 본 연구보다 더욱 낮은 α -amylase 활성을 나타내고 있는데, 본 연구보다도 더 높은 온도에서 장시간 가열함으로써 효소의 열변성이 더 크게 나타난 것으로 해석된다. 최근 시판되는 메밀국수 밀키트에 첨가되는 기존의 무즙블럭의 경우 매우 높은 온도에서 건조가공하고 있어 본 연구의 결과에서 제시되고 있는 것과 같이 가공 방법의 변화가 무즙의 효소 활성을 발휘하기 위해 필요할 것으로 판단된다.

Table 4. Overall liking scores of the radish blocks added to soba soup

Sample	Appearance (color)	Overall liking
P1	5.9 ^{NS}	5.7 ^{NS}
P2	5.9	5.8
P3	6.0	5.6
P4	5.5	5.5
P5	5.7	5.3
P6	5.6	5.2
P7	5.4	5.0

NS: not significant.

Table 5. JAR scores of the radish blocks added to soba soup

Sample	Radish flavor	Sweetness	Bitterness	Astringent	Pungent taste
P1	2.9 ^{a1)}	3.2 ^a	2.0 ^a	2.3 ^a	2.2 ^a
P2	2.5 ^{ab}	3.5 ^a	2.2 ^a	2.2 ^a	2.1 ^a
P3	2.4 ^b	3.2 ^a	2.1 ^a	2.1 ^a	2.1 ^a
P4	2.6 ^{ab}	3.6 ^a	2.0 ^a	2.3 ^a	2.3 ^a
P5	2.5 ^{ab}	3.5 ^a	2.0 ^a	2.2 ^a	2.1 ^a
P6	2.7 ^{ab}	3.4 ^a	2.2 ^a	2.3 ^a	2.2 ^a
P7	2.7 ^{ab}	3.3 ^a	2.4 ^a	2.4 ^a	2.4 ^a

¹⁾Means with different letters in the same column are significantly different ($P < 0.05$).

무즙블럭의 소비자 기호도 및 특성 강도

시료별 기호도와 JAR 적합성 평가에 대한 분산분석 결과는 Table 4와 Table 5에 나타내었다. 메밀소바 장국에 첨가된 무즙은 외관(색상) 및 전반적인 품질 기호도에서 시료별 유의적인 차이가 나타나지 않았다. 이는 메밀소바 장국 자체의 강한 맛과 색상으로 인해 무즙의 건조 방식에 따른 차이를 소비자가 인식하지 못한 것으로 추정된다. 적합성 평가에서는 향미(무)를 제외하고 모든 특성에서 시료 간 유의적인 차이가 나타나지 않았으며, 단맛은 모든 시료에서 높은 강도로 평가되었다. 이는 메밀소바 장국 자체의 단맛이 무즙의 단맛 강도에 영향을 미친 것으로 보인다. 반면, 쓴맛, 아린맛, 뚝은맛은 모든 시료에서 강도가 낮게 평가되었으며, 이는 메밀소바 장국이 이러한 감각 특성을 완화하고 건조 공정 중 무의 뚝은맛과 아린맛을 유발하는 글루코시놀레이트가 분해되어 감소한 결과로 판단된다(Miękus 등, 2020). 무즙은 소비자가 원물로 바로 섭취하기보다는 메밀소바 등 식품의 중간 소재로 활용되는 경우가 많으므로 본 연구에 적용된 메밀소바에는 다양한 방식의 건조 조건으로 제조된 무즙의 활용이 가능할 것으로 판단된다.

페널티 분석

감각적 특성의 JAR 강도가 무즙 시료의 전반적인 기호도에 미친 영향을 평가한 페널티 분석 결과는 Table 6에 제시되었다. 페널티 분석은 JAR 결과를 바탕으로 소비자 기호도에 영향을 미치는 주요 감각 특성을 확인하기 위해 수행되었으며, 페널티 점수가 0.5를 초과하고 Meandrops 값이 1 이상, 소비자의 20% 이상이 해당 특성을 평가하면 전반적인

Table 6. Penalty analysis based on overall liking score and JAR data for the radish juices added to soba soup

Attributes			P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
Radish flavor	Mean drops	Penalties	0.31	1.19	0.10	-0.27	0.27	-0.25	0.47
		Too little	0.26	1.22	0.14	-0.29	-0.10	-0.05	0.56
		Too much	0.36	1.08	-0.11	-0.21	1.83	-0.64	0.27
Sweetness	Mean drops	Penalties	1.41	-0.45	0.57	0.07	0.16	0.72	0.79
		Too little	2.34	-0.13	2.49	1.00	0.36	1.41	1.34
		Too much	0.83	-0.53	0.01	-0.17	0.11	0.45	0.53
Bitterness	Mean drops	Penalties	0.34	-0.05	-0.45		-0.31	0.05	0.75
		Too little	0.33	-0.42	-0.43	-0.05	-0.33	0.06	0.43
		Too much	0.50	2.71	-0.71		0.00	-0.02	1.68
Astringent	Mean drops	Penalties	0.97	0.20	0.43	-0.85	-0.22	0.23	0.46
		Too little	0.55	0.06	0.54	-0.76	-0.16	0.36	0.57
		Too much	2.76	0.90	-2.14	-1.31	-0.51	-0.14	0.05
Pungent taste	Mean drops	Penalties	0.38	-0.78	0.25	-0.13	0.24	-0.05	0.30
		Too little	0.35	-0.73	-0.09	-0.13	0.26	-0.14	0.00
		Too much	0.67	-1.08	3.08	-0.13	-0.08	0.37	1.80

All significant differences were observed with P -values<0.0001.

기호도에 부정적인 영향을 미치는 요인으로 간주하였다.

P1 시료는 약한 단맛에서 Meandrops 값이 2.34, 페널티 값이 1.41로 나타나 소비자의 기호도에 부정적인 영향을 미쳤다. 이는 건조과정을 거치지 않은 무즙이 메밀소바 장국에 첨가되면서, 무의 짙은맛과 아린맛을 유발하는 글루코시놀레이트와 같은 성분이 분해되지 않아 단맛 강도가 낮아진 것으로 판단된다. 또한, 이러한 성분의 잔존으로 인해 무즙이 메밀소바 장국과의 조화를 충분히 이루지 못한 것으로 보인다. P2 시료는 약한 무의 향미에서 1.22의 Meandrops 값과 1.19의 페널티값을 보여 소비자의 기호도에 부정적인 영향을 미쳤다. 이는 고온 건조과정에서 이소티오시아네이트와 같은 휘발성 향미 성분이 손실되면서 무 특유의 향미가 감소한 결과로 판단된다(Rajkumar 등, 2017). 이러한 향미 감소는 무즙에서 기대되는 고유한 향미를 충분히 전달하지 못해 전반적인 기호도 저하로 이어졌을 것으로 보인다. P3, P4, P5, P6 시료는 모든 특성에서 전반적으로 낮은 페널티 값을 보여 다른 건조 기술에 비해 소비자 기호도에 미치는 부정적인 영향이 적은 것으로 나타났다. 특히, 동결건조가 열 손상을 최소화하고 향과 맛의 변화를 억제하여 무의 본래 감각적 특성을 효과적으로 보존한 결과로 보인다(Bhatta 등, 2020). 이러한 결과는 동결건조가 무 본연의 특성을 유지하는 데 효과적임을 시사하며, 특히 무즙이 메밀소바 장국과 조화를 이루도록 하여 기호도를 높이는 데 적합한 기술로 판단된다. 오존처리는 건조 기술과의 조합에 따라 결과가 달라질 수 있어 적절한 조건 설정이 필요하다. P7 시료는 약한 단맛과 강한 쓴맛에서 각각 1.34, 1.68의 Meandrops 값과 0.79, 0.75의 페널티값을 나타내어 소비자 기호도에 부정적인 영향을 미쳤다. 건조과정은 수분 제거로 인해 특정 화합물의 농도가 상대적으로 증가할 수 있으며, 이러한 과정에서 무의 쓴맛을 유발하는 화합물이 농축되었을 가능성이 높다(Al-Qudah 등, 2023). 쓴맛의 증가는 무의 본래 특성과

메밀소바 장국과의 조화를 방해하며 소비자 기호도 저하의 주요 원인으로 작용한다. 따라서 이러한 결과는 무즙의 감각적 품질을 유지하기 위해 적절한 건조 및 오존처리 조건을 설계하는 것이 필요함을 시사한다.

요 약

월동무에 대한 성분 및 저장성과 생육 특성에 관한 연구는 활발히 진행되고 있으나, 오존처리와 관련된 연구는 많지 않다. 현재 시판되는 가공 제품은 무말랭이, 김치, 무즙 등으로 한정되어 있어, 본 연구에서는 오존 처리한 제주도산 월동무를 사용하여 간편편이식으로 활용 가능한 무즙블럭을 제조하였으며 그 품질특성을 분석하였다. 또한 월동무를 활용한 가공 방법에 따른 소비자 기호도를 파악하여, 향후 월동무의 가공 공정 설계와 가공 후 품질특성 변화에 따른 상품화 연구를 위한 기초자료를 수집하는 것을 목적으로 하였다. 실험은 오존 처리된 무와 처리되지 않은 무를 컨트롤 하여 각각 무즙 형태로 만들었으며, 건조 조건은 저온(50°C) 열풍건조, 고온(90°C)건조, 동결건조로 진행하였다. 그 결과 열처리에 의한 여러 품질특성의 차이가 나타났으며 고온건조보다는 저온건조, 동결건조가 무즙블럭에 적합한 것으로 제시되었으나 유의적인 오존처리 효과는 나타나지 않았다. 또한 무즙블럭에 대한 소비자 기호도 및 특성 강도에서 시료 간 유의적인 차이가 나타나지 않았으나 건조공정 중 무 특유의 풍미는 변화하고 감미가 증가하는 경향이 있었으며 페널티 분석 결과에서는 고온건조의 경우 무의 기존 풍미를 변화시키고 저온건조와 동결건조 실험구는 풍미에 미치는 영향이 크지 않은 결과에서 고온건조법이 아닌 저온건조 또는 동결건조에 의한 무즙블럭의 제조 방법이 바람직할 것으로 판단된다. 본 연구는 식품 저장 기술 개발 및 제주 월동무 가공식품의 발전에 있어 중요한 기초자료를 제공할 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구(2024RIS-009, 과제번호 RIS-RF2401)는 2024년도 교육부의 재원으로 한국연구재단의 지원에 의하여 수행된 지자체-대학 협력기반 지역혁신 사업의 결과입니다.

REFERENCES

- Akram NA, Noreen S, Noreen T, et al. Exogenous application of trehalose alters growth, physiology and nutrient composition in radish (*Raphanus sativus* L.) plants under water-deficit conditions. *Braz J Bot.* 2015. 38:431-439.
- Al-Qudah MA, Al-Jaber HI, Abu Orabi FM, et al. Unveiling the impact of drying methods on phytochemical composition and antioxidant activity of *Anthemis palestina*. *Plants.* 2023. 12:3914. <https://doi.org/10.3390/plants12223914>
- Bhatta S, Janezic TS, Ratti C. Freeze-drying of plant-based foods. *Foods.* 2020. 9:87. <https://doi.org/10.3390/foods9010087>
- Cai X, Zhu K, Li W, et al. Characterization of flavor and taste profile of different radish (*Raphanus sativus* L.) varieties by headspace-gas chromatography-ion mobility spectrometry (GC/IMS) and E-nose/tongue. *Food Chem X.* 2024. 22:101419. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2024.101419>
- Cho E, Choi AR, Choi SJ, et al. α -Amylase activity of radish and stability in processing. *J Korean Soc Food Sci Nutr.* 2009. 38:812-815.
- Choi HY, Youn KS, Chung HS. Comparison of color and water extracts of *Caragana sinica* flowers dried at different air temperatures. *Korean J Food Preserv.* 2023. 30:868-874.
- Choi JY, Kim J, Kim J, et al. Quality characteristics of dried onion and garlic slices according to thermal and nonthermal treatment methods. *Korean J Food Preserv.* 2022. 29:34-48.
- El-Beltagi HS, Maraei RW, Shalaby TA, et al. Metabolites, nutritional quality and antioxidant activity of red radish roots affected by gamma rays. *Agronomy.* 2022. 12:1916. <https://doi.org/10.3390/agronomy12081916>
- Gamba M, Asllanaj E, Raguindin PF, et al. Nutritional and phytochemical characterization of radish (*Raphanus sativus*): A systematic review. *Trends Food Sci Technol.* 2021. 113:205-218.
- Hwang KA, Hwang YJ, Hwang HJ, et al. Hepatoprotective effects of radish (*Raphanus sativus* L.) on acetaminophen-induced liver damage via inhibiting oxidative stress and apoptosis. *Nutrients.* 2022. 14:5082. <https://doi.org/10.3390/nu14235082>
- Jiang D, Congcong L, Zheng Z. Study on drying control strategy of white radish slice based on monitoring medium relative humidity. *Foods.* 2022. 11:1197. <https://doi.org/10.3390/foods11091197>
- Jo SM, Hong SJ, Jeong H, et al. Chemical sensory properties of radishes in varying storage periods and temperatures using electronic sensors and multivariate analyses. *J Korean Soc Food Sci Nutr.* 2022. 51:549-560.
- Juhari NH, Martens HJ, Petersen MA. Changes in physicochemical properties and volatile compounds of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) calyx during different drying methods. *Molecules.* 2021. 26:6260. <https://doi.org/10.3390/molecules26206260>
- Kim D, Nam JH, Hyun JY, et al. Physical characterization and manufacturing of frozen meal kit shredded radish using various freezing and thawing conditions. *J Korean Soc Food Sci Nutr.* 2022. 51:463-475.
- Kim DH, Song HP, Yook HS, et al. Distribution of microflora in powdered raw grains and vegetables and improvement of hygienic quality by gamma irradiation. *J Korean Soc Food Sci Nutr.* 2002. 31:589-593.
- Kim H, Han JW. Low temperature drying simulation of rough rice. *J Biosyst Eng.* 2009. 34:351-357.
- Kim J, Park SS, Baik W, et al. Physicochemical and sensory characteristics of domestic winter radishes (*Raphanus sativus* L.) according to cultivars. *J Korean Soc Food Sci Nutr.* 2021. 50:1320-1332.
- Kim JY, Bae YM, Hyun JE, et al. Microbiological quality of dried and powdered foods stored at various relative humidities. *J East Asian Soc Diet Life.* 2017. 27:576-582.
- 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(1):73-81.
- Kim SG, Lee HW, Mok YS, et al. Improvement of storage stability of apple and kiwi at room temperature using Pd/ZSM-5 catalyst and nonthermal plasma. *Appl Chem Eng.* 2021. 32:547-555.
- Kim YS, Jung YH, Chun SS, et al. The kinetics of non-enzymatic browning reaction in green tea during storage at different water activities and temperatures. *J Korean Soc Food Nutr.* 1988. 17:226-232.
- Ku KY, Lee KA, Kim YL, et al. Quality characteristics of hot-air dried radish (*Raphanus sativus* L.) leaves. *J Korean Soc Food Sci Nutr.* 2006. 35:780-785.
- Kwak YS, Shin HJ, Choo JJ. Effects of water activity on microbial growth in herb extract. *J Fd Hyg Safety.* 1998. 13:77-82.
- Lee GD, Yoon SE. Optimization on preparation conditions of dried *Citrus*. *J Korean Soc Food Sci Nutr.* 2003. 32:1297-1301.
- Liu W, Zhang L, Karrar E, et al. A cooperative combination of non-targeted metabolomics and electronic tongue evaluation reveals the dynamic changes in metabolites and sensory quality of radish during pickling. *Food Chem.* 2024. 446:138886. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.138886>
- Miękus M, Marszałek K, Podlacha M, et al. Health benefits of plant-derived sulfur compounds, glucosinolates, and organosulfur compounds. *Molecules.* 2020. 25:3804. <https://doi.org/10.3390/molecules25173804>
- Oh S, Moon KH, Song EY, et al. Impact of rising global temperatures on growth, mineral composition, and photosynthesis in radish in a winter cropping system. *Hortic Sci Technol.* 2017. 35:38-45.
- Park J, Na S, Lee Y. Present and future of non-thermal food processing technology. *Food Sci Ind.* 2010. 43(1):2-20.
- Park SJ, Park JY. Use of ozone sterilization for food industry. *Food Sci Ind.* 2000. 33(2):50-57.
- Radojčin M, Pavkov I, Kovačević DB, et al. Effect of selected drying methods and emerging drying intensification technologies on the quality of dried fruit: A review. *Processes.* 2021. 9:132. <https://doi.org/10.3390/pr9010132>
- Rajkumar G, Shanmugam S, de Sousa Galvão M, et al. Comparative evaluation of physical properties and volatiles profile of cabbages subjected to hot air and freeze drying. *LWT.* 2017. 80:501-509.
- Zha L, Liu W. Effects of light quality, light intensity, and photoperiod on growth and yield of cherry radish grown under red plus blue LEDs. *Hortic Environ Biotechnol.* 2018. 59:511-518.
- Zhao Y, Wu Z, Miyao S, et al. Unraveling the flavor profile and microbial roles during industrial Sichuan radish paocai fermentation by molecular sensory science and metatranscriptomics. *Food Biosci.* 2022. 48:101815. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.101815>