

ARTICLE

# 다양한 추출 및 건조방법으로 제조된 흑무 추출물의 특성

김하영<sup>1</sup> · 신태균<sup>2</sup> · 안미정<sup>2,3</sup> · 김기옥<sup>4</sup> · 천지연<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>제주대학교 식품생명공학과, <sup>2</sup>제주대학교 수의학과,  
<sup>3</sup>삼지대학교 동물자원학과, <sup>4</sup>제주테크노파크 종다양성연구소

## Characterization of Black Radish (*Raphanus sativus* L. var. *niger*) Extracts according to Different Extraction and Drying Methods

Ha-Young Kim<sup>1</sup>, Tae-Kyun Shin<sup>2</sup>, Mee-Jung Ahn<sup>2,3</sup>, Gi-Ok Kim<sup>4</sup>, Ji-Yeon Chun<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Food Bioengineering, Jeju National University,  
Jeju Special Self-Governing Province 63243, Korea

<sup>2</sup>Department of Veterinary Anatomy, College of Veterinary Medicine, Jeju National University,  
Jeju Special Self-Governing Province 63243, Korea

<sup>3</sup>Department of Animal Science, College of Life Science, Sangji University, Wonju 26339, Korea

<sup>4</sup>Jeju Biodiversity Research Institute, Jeju Technopark, Seogwipo, Jeju 63608, Korea

Received: May 8, 2021

Revised: June 12, 2021

Accepted: June 29, 2021

\*Corresponding author :

Ji-Yeon Chun

Department of Food Bioengineering,  
Jeju National University, Jeju Special  
Self-Governing Province 63243, Korea  
Tel : +82-64-754-3615

E-mail : chunjiyeon@jejunu.ac.kr

Copyright © 2021 Resources Science  
Research Institute, Kongju National University.  
This is an Open Access article distributed  
under the terms of the Creative Commons  
Attribution Non-Commercial License ([http://  
creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0](http://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.

### ORCID

Ha-Young Kim  
<https://orcid.org/0000-0003-2208-4973>

Tae-Kyun Shin  
<https://orcid.org/0000-0002-9851-4354>

Mee-Jung Ahn  
<https://orcid.org/0000-0002-7302-9694>

Gi-Ok Kim  
<https://orcid.org/0000-0002-7386-3582>

Ji-Yeon Chun  
<https://orcid.org/0000-0002-4336-3595>

### Abstract

This study investigated the effect of the extraction method and drying method on black radish quality properties. The yellowness of black radish extracts was significantly different according to the extraction and drying method ( $p < 0.05$ ). The yield was higher at *L. plantarum* fermentation and freeze-dried extracts, and there was no difference depending on inlet temperature and extraction method. The extracts by ethanol extraction and spray-drying were smallest particle size (107-118 nm), highest zeta-potential (-33--39 mV), and low polydispersity index (0.238-0.250). In total phenol contents and Ferric reducing antioxidant power evaluation, spray-dried ethanol extracts were higher total phenol contents and *L. plantarum* fermentation and freeze-dried extracts showed the highest ferric reducing antioxidant power. It was suggested that spray-dried black radish ethanol extracts were economically effective in applying the food process and were expected to be bioavailability in the digestion system because of micronization by spray-drying.

### Keywords

Black radish, Extraction, Spray-drying, Particle properties, Antioxidant activity

## 1. 서론

십자화과의 뿌리채소인 무는 낮은 칼로리를 갖는 채소로서 미네랄, 비타민, 식이섬유 등을 제고하는 채소이며, 흑무도 무의 한 종류이다. 흑무는 검정 무 (black radish)라고 불리우며, 학명은 *Raphanus sativus* L. var. *niger*로 알려져 있다. 흑무는 겉이 검은색이고 속은 희며, 백무보다 매운맛이 강한 편이다 (Kim *et al.*, 2018). 일반적으로 무는 설포라판이라는 항산화 물질을 함유하고 있으며, 이는 대장암, 유방암, 난소암 등을 억제하는 것으로 보고되고 있다 (Im *et al.*, 2010). 최근 연구에서 흑무는 항고지혈증, 항염증, 항산화, 독소 제거 등 다양한 생리활성을 가지는 것으로 밝혀졌으며, 노화로 인한 간기능 저하를 개선하는데 효과적이라고 한다 (Ahn *et al.*, 2018; Jeon *et al.*, 2020).

십자화과에 속하는 채소들이 함유하는 물질은 주로 함황화합물이며, 대부분 글루코시놀레이트의 효소적 가수분해 산물인 이소티오시아네이트 (isothiocyanate), 니트릴스 (nitriles), 설파이드 (sulfide)

등의 화합물에 기인한다 (Ha *et al.*, 2008). 흑무는 십자화과 다른 식물들과 마찬가지로 흑무에 함유된 글루코시놀레이트 (glucosinolate)가 흑무조직의 손상에 따라 미로시나제 (myrosinase)에 의해 분해되어 이소티오시아네이트 (isothiocyanate)를 형성함에 따라 매운맛을 내는데, 이 매운맛이 다른 무 종류들에 비해서 특히 강하여 관능적 기호도가 낮은 문제점이 있다. 흑무는 다양한 건강기능성을 지녔음에도 다양한 형태의 건강기능개선식품으로 개발하는데 제한이 있으며, 무절임과 같은 외부 양념에 의해 무의 매운맛을 저감하는 방식으로만 개발이 한정되어 있다.

분무건조는 분산매에 분산된 분산상을 다양한 크기의 분말로 바꾸는 건조방식 중 하나이며, 입자를 미세화하는데 효과적인 공정이다. 말토덱스트린 (maltodextrin), 글루코오스 (glucose), 락토스 (lactose), 사이클로덱스트린 (cyclodextrin) 등의 부형제 및 코팅제 등의 첨가는 열에 취약한 물질을 코팅 (캡슐화)하여 열변성에 의한 품질 저하를 방지하는데 효과적이다. 액상의 원료는 열풍기류 속에 분무하여 순간적으로 수분이 증발, 건조되어 분말 제품만 생산하는데, 이때 inlet temperature, outlet temperature, atomization power, flow rate, air blow rate 등의 수준에 따라 분말의 품질이 다양하게 나타난다. 특히 나노 수준으로 미세분말화한 경우, 물질의 표면적으로 극대화하여 용해도를 높여줌으로써 가공식품을 제조 시 첨가하는 경우 가공적성을 향상시키는 장점이 있어 제품화의 활용도가 높을 것으로 판단한다. 부형제 및 코팅물질에 의해 코팅된 물질은 외부환경에 의한 변성 및 변화를 감소시킬 수 있으며, 품질유지기한을 증진할 수 있다. 자극적인 향기나 맛을 저감화하는 효과도 기대할 수 있다. 본 연구에서는 흑무의 기능성 물질을 추출하기 위해 발효추출물 및 에탄올 추출물을 제조하였고, 이를 분무건조를 통해 미세분말화 한 후 다양한 품질특성을 관찰하였다.

## II. 재료 및 방법

### 흑무 발효물 제조

흑무를 세척하고 성형 후 95℃에서 15분 동안 데치기를 실행하여 증류수를 원료와 같은 비율로 스텐믹서기 (SMX-6500JS, SHINIL, Korea)를 이용하여 분쇄하였다. 분쇄물을 autoclave steam sterilizer (JSAC-40, JSR, Korea)로 멸균하여 *Latobacillus plantarum* (KCCM11322) 균을 배양하여 시료의 1% (w/w) 첨가하였다 (Kim *et al.*, 2017; Kim *et al.*, 2020). 이를 incubated shaker (SI-600R, JEIO TECH, Korea) 37℃에서 48시간 배양한 후 95℃에서 15분 동안 가열하여 배양을 멈추었다. 완성된 발효물은 헹굼 여과를 실행하고 회전증발농축기 (TYPE N-1300, EYELA, China)로 농축물을 만들어 이용하였다.

### 흑무 에탄올 추출물 제조

흑무를 세척하고 성형 후 80℃에서 10분간 데치기를 실행하였다. 이를 열풍건조기 (PS-100C, Shiniltech, Korea)를 사용하여 50±5℃ 96시간 건조하였다. 스텐믹서기 (SMX-6500JS, SHINIL, Korea)로 분쇄하여 표준체 test sieve (425 μm, CHUG GYE, Korea)로 걸러주었다. 70% ethyl alcohol로 10배 희석하여 24시간 250 rpm으로 교반한 후 원심분리 (LaboGene 1248R, LaboGene, Korea)로 4,000 rpm, 25℃로 10분간 실행하여 상등액을 회전증발농축기 (TYPE N-1300, China)로 농축물을 만들어 이용하였다.

### 분무건조공정

농축물과 말토덱스트린, 발효물은 증류수, 에탄올 추출물은 20% ethyl alcohol을 10:10:80 (w/w/w)의 비율로 혼합하여 제조하였다. 1시간동안 500 rpm으로 교반하여 혼합될 수 있도록 한다. 이후 원심분리로 4,000 rpm, 25℃로 10분간 실행하여 상등액을 초고속 균질기로 10,000 rpm, 3 min 분산한

후 상등액을 microfluidizer를 이용하여 20,000 psi, 1 cycle 조건으로 초고압 균질하여 분산하였다. 이후 분무건조 (Mini Spray Dryer B-290, Buchi, Switzerland)를 실행하였다. 분무건조와 동결건조 효과를 비교하기 위해 발효물의 경우 발효농축물, 말도텍스트린, 증류수를 10:10:80 (w/w/w)의 비율로 혼합 후 동결건조하였다. 에탄올추출물의 경우 동결건조기 운영에 적합하지 않은 추출용매가 잔존하여 동결건조를 실시하지 않았다.

### 입자특성

Dynamic light scattering (DLS) 원리에 의하여 DelsaMax Pro (Beckman Coulter, Indianapolis, USA)로 분석하였다. 제타전위 ( $\zeta$ -potential) 측정은 electrophoretic light scattering (ELS) 원리에 의하여 DelsaMax Pro로 분석하였다. 건조물은 증류수에 재분산하여 6회 반복하여 측정하였다.

### 수분함량, pH, 색도 측정

수분함량은 Moisture analyzer (MX-50, AND, Korea)를 이용하여 3회 반복 측정하였으며, pH의 측정으로는 시료와 증류수를 1:9 (w/w)를 가하여 균질화한 후 pH meter (S 470 sevenExcellence™, Inti Switzerland)를 사용하여 3회 반복 측정하였다. 색차계 (CR-210, Minolta, Japan)를 사용하여  $L^*$  (명도),  $a^*$  (적색도),  $b^*$  (황색도)를 측정하였다.

### 총 페놀 함량 (Total polyphenol contents, TPC) 측정

시료의 총 페놀 함량은 Singleton and Rossi (1965)의 Folin-Ciocalteu 방법을 변형하여 측정하였다. 각 시료 200  $\mu$ L와 증류수 900  $\mu$ L를 혼합한 후, 2M Folin-Ciocalteu's phenol reagent 100  $\mu$ L를 가한 후 상온의 암소에서 5분 간 반응시킨다. 그 후 2%  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (Daejung chemicals & Metals, Korea) 300  $\mu$ L를 혼합하여 증류수로 2 mL 정용하여 상온의 암소에서 1시간 반응 후, microplate reader (Epoch™, BioTek Instruments, USA)를 사용하여 760 nm의 파장에서 흡광도를 측정하였다. 표준곡선은 gallic acid (Sigma-Aldrich, USA) 용액으로 작성하였으며, 시료의 총 페놀 함량은 100 mL 중의 mg gallic acid equivalents (GAE)로 나타내었다.

### FRAP assay

Benzie and Strain (1996)의 방법을 본 연구에 맞게 일부 수정하였다. FRAP reagent 용액은 Sigma-Aldrich (USA)에서 구매한 300 mM acetate buffer (pH 3.6) 10 mM TPTZ in 40 mM HCl과 20 mM  $\text{FeCl}_3$ 을 10:1:1 (v/v/v)의 비율로 혼합하여 제조하였다. 그 후 시료 100  $\mu$ L, 증류수 300  $\mu$ L와 FRAP reagent 용액 3 mL를 혼합하여 37°C의 항온수조에서 30분간 반응시킨 후 microplate reader를 사용하여 593 nm의 파장에서 흡광도를 측정하였다. 표준곡선은  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  용액 (Sigma-Aldrich, USA)으로 작성하여 mM로 나타내었다.

### 통계처리

통계분석은 Minitab 17 버전 (Minitab 17, Pennsylvania, USA)에 의해 수행하였다. 실험결과는 평균  $\pm$  표준편차로 나타내었으며, 각 시료의 유의성 검정은 Tukey의 다중 범위 시험을 이용하여  $p < 0.05$  수준에서 실시하였다.

## III. 결과 및 고찰

### 외관 및 색도

세척된 흑무와 다양한 방법으로 추출 건조된 흑무를 Fig. 1과 Fig. 2에 나타냈다. 흑무는 앞서 설명



Fig. 1. The appearance of washed black radish.

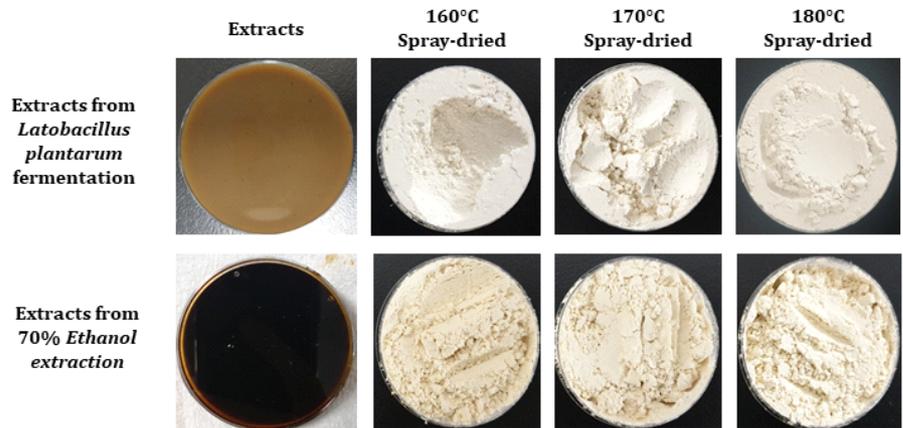


Fig. 2. The appearance of samples according to different process.

한 바와 같이 겉면은 까맣고 안쪽은 백무와 마찬가지로 하얀색을 나타내었다. 모양은 길쭉한 원통형에 가까운 백무와 다르게 높이가 낮은 구형에 가깝다. 본 연구에서는 흑무를 껍질을 제거하지 않았으며, 세척, 성형, 분쇄, 열풍건조 등의 전처리 단계를 거쳐 추출공정에 사용하였다. *L. plantarum*을 첨가하여 발효공정을 통해 제조된 흑무발효물과 70% 에탄올을 추출용매로 한 흑무추출물 각각의 농축액은 색이나 탁도가 분명하게 차이가 났으며, 다양한 inlet temperature로 분무건조 후 전체적으로 흑무발효물이 더 흰색에 가까웠다. 즉, 에탄올 추출농축물이 색이 어둡고 진해서, 분무건조물에도 영향을 미쳐 흑무발효물보다는 에탄올 추출물이 더 갈색빛이 나타난 것으로 관찰되었다.

다양한 조건으로 가공된 흑무분말의 색도를 관찰한 결과는 Table 1에 나타냈다. 명도 ( $L^*$ )의 경우 분무건조 inlet temperature가 높아짐에 따라 감소되는 경향이 있으나, 흑무발효물은 유의적 차이가 없으며, 흑무추출물은 180°C의 경우 유의적으로 낮았다 ( $p < 0.05$ ). 적색도의 경우도 명도와 유사한 경향을 보였으며 흑무추출물이 유의적으로 높은 값을 나타냈다 ( $p < 0.05$ ). 황색도의 경우 흑무발효물은 음의 값을 보이며 흑무추출물에 비해 청색도가 강한 것으로 측정되었다. 즉, 황색도가 유의적으로 낮았다 ( $p < 0.05$ ). 흑물발효물을 동결건조한 경우 명도, 적색도는 유의적으로 가장 낮았으며 ( $p < 0.05$ ), 황색도는 흑무추출물과 유의적 차이는 없었으며 흑무발효물보다는 유의적으로 높았다 ( $p < 0.05$ ).

### 수율, 수분함량, pH

흑무발효물과 흑무추출물의 분무건조 후와 동결건조 후의 수율, 수분함량 및 pH는 Table 2에 나타냈다. 흑무발효물과 흑무추출물을 다양한 inlet temperature로 분무건조했을 때 온도가 높을수록 수율이 감소하는 경향을 보였으며, 흑무추출물을 180°C에서 건조했을 때 유의적으로 가장 낮은 수율을

**Table 1.** The color of black radish powder produced by different conditions

Extraction method	Spray drying inlet temp.	L*	a*	b*
<i>L. plantarum</i> fermentation	160°C	89.62±0.96 <sup>a</sup>	3.59±0.41 <sup>bc</sup>	-4.16±0.48 <sup>b</sup>
	170°C	88.97±0.40 <sup>a</sup>	3.54±0.25 <sup>c</sup>	-4.03±0.84 <sup>b</sup>
	180°C	88.71±0.59 <sup>a</sup>	3.42±0.18 <sup>c</sup>	-3.61±0.49 <sup>b</sup>
Ethanol extraction	160°C	89.17±0.12 <sup>a</sup>	4.46±0.13 <sup>ab</sup>	0.68±0.13 <sup>a</sup>
	170°C	89.58±0.12 <sup>a</sup>	4.51±0.06 <sup>a</sup>	0.53±0.35 <sup>a</sup>
	180°C	86.90±0.87 <sup>b</sup>	3.39±0.03 <sup>c</sup>	0.44±0.32 <sup>a</sup>
<i>L. plantarum</i> fermentation and freeze dried		83.02±0.10 <sup>c</sup>	2.27±1.04 <sup>d</sup>	-0.26±0.08 <sup>a</sup>

Mean±SE within same column with different superscript letters differ significantly at  $p < 0.05$ .

**Table 2.** Yield, water contents, and pH of black radish powder produced by different conditions

Extraction method	Spray drying inlet temp.	Yield (%)	Water contents (%)	pH
<i>L. plantarum</i> fermentation	160°C	8.54±1.17 <sup>ab</sup>	3.99±1.05 <sup>a</sup>	4.32±0.06 <sup>b</sup>
	170°C	9.32±0.74 <sup>ab</sup>	3.19±0.31 <sup>ab</sup>	4.31±0.03 <sup>b</sup>
	180°C	7.58±0.21 <sup>ab</sup>	2.97±0.56 <sup>ab</sup>	4.29±0.06 <sup>b</sup>
Ethanol extraction	160°C	7.75±0.00 <sup>ab</sup>	3.41±0.10 <sup>ab</sup>	4.86±0.00 <sup>a</sup>
	170°C	9.34±0.00 <sup>ab</sup>	2.63±0.02 <sup>b</sup>	4.86±0.00 <sup>a</sup>
	180°C	5.60±0.00 <sup>b</sup>	3.35±0.13 <sup>ab</sup>	4.87±0.01 <sup>a</sup>
<i>L. plantarum</i> fermentation and Freeze dried		12.70±0.00 <sup>a</sup>	2.98±0.05 <sup>ab</sup>	4.94±3.47 <sup>a</sup>

Mean±SE within same column with different superscript letters differ significantly at  $p < 0.05$ .

보였다 ( $p < 0.05$ ). Park 등 (2017)의 연구 결과에 의하면 inlet temperature가 증가할수록 홍시라떼 분말의 회수량이 감소하였으며, 이는 충분히 건조되지 않은 분말이 건조기 벽면에 부착될 때 발생할 수 있다고 한다. 분말이 벽면에 부착되는 성질은 입자의 표면온도와 유리전이온도 차이에 의해 영향을 받는데, 이 차이가 크면 끈적임이 발생하며 특히 유리전이온도가 낮은 당류를 함유한 식품에서 발생한다 (Collares et al., 2004). 본 연구에서도 말토덱스트린의 유리전이온도와 높은 inlet temperature로 인한 표면온도 차이로 인해 수율이 낮게 관찰된 것으로 판단된다. 동결건조된 흑무발효물의 수율은 유의적 차이가 있진 않지만 가장 높은 수율을 보였으며, 이는 건조 공정 중 발생하는 시료의 손실 차이에서 발생할 수 있다고 생각된다.

수분함량의 경우 inlet temperature에 따른 유의적인 차이는 없으나, 흑무추출물을 170°C에서 건조했을 때 가장 낮게 측정되었다. pH의 경우 inlet temperature에 의한 영향은 없었으며, 흑무추출물이 흑무발효물보다 유의적으로 높게 측정되었다 ( $p < 0.05$ ). 이는 *L. plantarum*이 발효하는 과정에서 생성되는 lactic acid의 영향일 것으로 생각된다. 그러나 동결건조된 흑무발효물이 분무건조된 유의적으로 높은 pH를 나타냈는데, 이는 탁주분말을 분무건조와 동결건조를 통해 제조한 Jeong 등 (2006)의 연구 결과와 유사하다. 이는 건조방법에 따라 다양한 품질항목의 변화에 의해서 발생할 수 있으며, 특히

분무건조 시 높은 온도에 의한 손실로 판단된다.

### 입자특성

흑무발효물과 흑무추출물의 분무건조 및 동결건조 후 입자특성 (입도, 제타전위, 분산도)을 Table 3에 나타냈다. 입도는 추출방법, 건조방법 및 건조온도에 따른 차이가 나타나 흑무발효물을 동결건조했을 때 유의적으로 가장 큰 입도 ( $633.90 \pm 26.80$  nm)를 나타냈다 ( $p < 0.05$ ). 같은 흑무발효물을 분무건조했을 때 입도가 거의 절반 수준으로 유의적으로 감소 ( $p < 0.05$ )하여  $316.90$ - $350.20$  nm로 측정되었으며, inlet temperature가 증가함에 따라 다소 작아지는 경향을 보였다. 흑무추출물을 분무건조했을 때  $107.75$ - $118.50$  nm로 측정되어 유의적으로 가장 작은 입도를 나타냈다 ( $p < 0.05$ ). Park 등 (2017)의 연구에 의하면 파인애플 착즙액을 분무건조 ( $42.58$ - $53.32$   $\mu$ m)했을 때 동결건조한 분말 ( $501.57$   $\mu$ m)보다 입자크기가 유의적으로 작은 크기를 나타냈다고 한다. 본 연구에 비해 큰 분말크기를 보였는데, 이는 착즙액에 남은 고형분과 말토덱스트린 및 알긴산 함유량에 의한 것으로 생각된다. 분무건조의 경우 분사압에 의해 노즐로 시료가 분사되면서 구형의 입자를 형성하고, 건조온도에 의해 다소 수축하는 현상을 보이기도 하지만, 동결건조의 경우 시료에 함유된 수분을 그대로 승화시켜 내부에 많은 기공을 가지게 하여 재수화 시 용해도를 높이지만 분말 형태가 아니기 때문에 동결건조 후 분쇄 및 체질에 의해 분말 입자크기가 결정될 수 있으며, 분쇄 시 시료가 물리적인 스트레스를 받을 수 있다 (Her, 2021).

입자 경계면에서의 전기적인 포텐셜을 나타내는 제타전위 (mV)를 살펴보았을 때 흑무추출물이  $-33.86$  -  $-39.43$  mV로 측정되어 분산안정성 측면에서 좋은 값을 나타냈으며, 동결건조된 흑무발효물이 가장 낮은 제타전위를 나타냈다. 제타전위는 콜로이드용액에 들어 있는 입자에서 나타내는 물리적 특성인데, 입자들의 분산안정성을 예측하기 위한 지표로 사용된다 (Lim *et al.*, 2010). 본 연구에서는 흑무추출물-분무건조 > 흑무발효물-분무건조 > 흑무발효물-동결건조 순으로 분산안정성을 나타낼 수 있다.

이는 PD Index값에서도 유사한 경향을 보이는데, 분무건조된 흑무추출물과 흑무발효물이 동결건조된 흑무발효물보다 단분산상에 가까운 값으로 측정되었다. 일반적으로 입자의 분산도는 0에서 1사이의 값으로 표시되며, 수치에 따라 단분산상, 중분산상, 다분산상 형태로 분석한다 (Jo *et al.*, 2016; Kim and Shin, 2020). 본 연구에서 사용한 입도분석기는 0에 가까울수록 단분산상, 0.571에 가까울수록 다분산상으로 분석할 수 있는데, 동결건조된 흑무발효물은 0.466으로 다분산상으로 나타났다. 입자특성 분석결과에서는 분무건조된 흑무추출물이 입자크기가 가장 작으며, 제타전위 절대값은 가장

**Table 3.** Particle properties of black radish powder produced by different conditions

Extraction method	Spray drying inlet temperature	Diameter (nm)	Zeta potential (mV)	PD index
<i>L. plantarum</i> fermentation	160°C	350.20±69.97 <sup>b</sup>	-24.10±0.82 <sup>b</sup>	0.266±0.047 <sup>b</sup>
	170°C	340.10±59.89 <sup>b</sup>	-24.10±0.94 <sup>b</sup>	0.241±0.013 <sup>b</sup>
	180°C	316.90±60.18 <sup>b</sup>	-23.50±0.05 <sup>ab</sup>	0.265±0.054 <sup>b</sup>
Ethanol extraction	160°C	113.60±1.79 <sup>c</sup>	-33.86±9.35 <sup>c</sup>	0.239±0.001 <sup>b</sup>
	170°C	118.50±4.30 <sup>c</sup>	-35.28±3.36 <sup>cd</sup>	0.250±0.022 <sup>b</sup>
	180°C	107.75±2.28 <sup>c</sup>	-39.43±1.70 <sup>d</sup>	0.238±0.001 <sup>b</sup>
<i>L. plantarum</i> fermentation and Freeze dried		633.90±26.80 <sup>a</sup>	-17.75±1.21 <sup>a</sup>	0.466±0.119 <sup>a</sup>

Mean±SE within same column with different superscript letters differ significantly at  $p < 0.05$ .

높고, 단분산상에 가장 가깝다. 즉, 세가지 시료 중 가공적성 및 체내이용율이 가장 높을 가능성이 있다. 나노수준의 입자는 표면적의 증가로 용해도가 증진되며, 다른 물질과의 반응성이 향상된다. 또한 미세한 입자는 체내에서 원재료의 영양성분 및 기능성 유효성분 등의 소화흡수가 용이해 질 수 있다 (Hong et al., 2013). 본 연구에서 이용한 흑무의 경우 고지혈증, 항염증, 항산화, 독소제거 등 다양한 생리활성을 가지는 것으로 알려져 있는데 (Ahn et al., 2019; Kim et al., 2020), 미세한 입자로 제조하여 이용할 경우, 체내흡수 및 이용율을 향상시켜 건강기능성 효과를 높일 수 있을 것으로 생각된다.

### 총 페놀 함량, FRAP assay

흑무추출물 및 흑무발효물의 총 페놀 함량과 Ferric reducing antioxidant power는 Table 4에 나타났다. 총 페놀 함량의 경우 흑무추출물이 유의적으로 높게 측정되어 ( $p<0.05$ ) 건조방법보다 추출방법에 의한 영향이 더 높은 것으로 판단된다. 흑무발효물의 건조방법에 따른 효과를 보면 높은 온도를 사용하는 분무건조보다 동결건조가 유의적으로 더 높은 총페놀함량을 보였다. Vu 등 (2020)의 연구에서는 흑효모를 이용한 참도박 발효추출물을 다양한 추출용매를 이용하여 추출 후 항산화 효과 (DPPH 라디칼 소거능, ABTS assay)를 관찰하였는데, 참도박 열수 추출물 < 참도박 열수 발효추출물 < 참도박 에탄올추출물 < 참도박 발효 에탄올 추출물 순으로 항산화 활성을 나타냈다. Han 등 (2019) 연구에서는 오레가노 종자 에탄올 추출물의 항산화 특성에 대해 관찰하였는데, 산화방지 측정법과 총 페놀 함량의 상관관계를 분석한 결과, 총 페놀 함량과 DPPH 라디칼 소거 활성, ABTS 양이온 라디칼 소거 활성, FRAP 환원력 및 ORAC 법이 양의 상관관계를 나타내어 오레가노 종자 에탄올 추출물의 산화방지 활성은 총 페놀 함량의 증가에 의한 것으로 생각된다고 하였다.

Ferric reducing antioxidant power의 경우, 총페놀함량 결과와 다르게 건조방법이 더 영향력이 높은 것으로 나타났다. 분무건조된 흑무발효물과 흑무추출물 간의 유의적으로 차이는 없었으나, 흑무발효물을 동결건조한 것이 분무건조한 것보다 유의적으로 높은 활성을 보였다 ( $p<0.05$ ). Lim과 Hong (2021)의 연구에서는 홍화추출물을 분무건조공정을 이용하여 분말화하고 이화학특성 및 항산화 활성을 관찰하였는데, 동결건조분말보다 분무건조분말에서 낮은 함량을 보였고, 이는 total phenolic compound와 같은 유용성분은 열에 민감하여 분해되기 쉽다고 판단하였다. 그러나 Kim과 Youn (2019)의 연구에서는 분무건조 칩분말이 동결건조 칩분말에 비해 총폴리페놀과 플라보노이드 함량이 유의적으로 높게 나타났다. 다양한 연구결과가 나타나는 것을 분무건조 효과는 inlet temperature, outlet

**Table 4.** Total phenol contents (TPC) and Ferric reducing antioxidant power (FRAP) assay of black radish powder produced by different conditions

Extraction method	Spray drying inlet temperature	Total phenol contents (mgGAE/g)	Ferrous sulfate heptahydrate (mM)
<i>L. plantarum</i> fermentation	160℃	0.055±0.006 <sup>c</sup>	0.84±0.08 <sup>b</sup>
	170℃	0.056±0.003 <sup>c</sup>	0.81±0.13 <sup>b</sup>
	180℃	0.056±0.003 <sup>c</sup>	0.86±0.14 <sup>b</sup>
Ethanol extraction	160℃	0.150±0.004 <sup>b</sup>	0.82±0.00 <sup>b</sup>
	170℃	0.170±0.002 <sup>a</sup>	0.95±0.00 <sup>b</sup>
	180℃	0.089±0.003 <sup>c</sup>	0.82±0.00 <sup>b</sup>
<i>L. plantarum</i> fermentation and freeze dried		0.071±0.002 <sup>d</sup>	1.22±0.06 <sup>a</sup>

Mean±SE within same column with different superscript letters differ significantly at  $p<0.05$ .

temperature, sample flow rate, air blow rate, atomization power 조건뿐만 아니라, 부형제 종류 및 첨가량 등에 의해 달라질 수 있기 때문이다.

## IV. 요약

본 연구에서는 흑무의 기능성 성분을 추출하기 위해 *L. plantarum*를 첨가한 발효추출물 및 70% 에탄올추출물을 제조하였고, 이를 분무건조 및 동결건조를 통해 분말화한 후 다양한 품질특성을 관찰하였다. 추출공정의 경우 에탄올을 이용한 추출의 경우 입자특성이 우수하거나 총 페놀 함량이 높은 것으로 관찰되었다. 흑무발효물의 경우 동결건조했을 때 총 페놀 함량 및 FRAP가 유의적으로 우수하게 나타났으나 입자크기가 크며, 제타전위가 작고, 다분상 상태를 나타내어 가공적성, 안정성, 체내 이용율 등에 대한 기능이 저조할 것으로 예상된다. 흑무추출물을 분무건조할 경우 열에 대한 노출로 인해 어느 정도 열 손실이 발생하나, 경제적으로 저렴하여 산업상 유리한 효과가 기대된다.

## V. 사 사

This work was supported by Korea Institute of Planning and Evaluation for Technology in Food, Agriculture, Forestry and Fisheries (IPET) through Agri-Bio industry Technology Development Program, funded by Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA) (Grant number: 316006-05-1-HD040).

## VI. 참고문헌

1. Ahn M, Kim J, Hong S, Kim J, Ko H, Lee NH, Kim G, Shin T. 2018. Black radish (*Raphanus sativus* L. var. *niger*) extract mediates its hepatoprotective effect on carbon tetrachloride-induced hepatic injury by attenuating oxidative stress. *J Med Food* 21:866-875.
2. Ahn M, Kim J, Choi Y, Ekanayake P, Chun JY, Yang DW, Kim GO, Shin T. 2019. Fermented black radish (*Raphanus sativus* L. var. *niger*) attenuates methionine and choline deficient diet-induced nonalcoholic fatty liver disease in mice. *Food Sci Nutr* 7:3327-3337.
3. Benzie IF, Strain JJ. 1996. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": the FRAP assay. *Anal Biochem* 239:70-76.
4. Collares FP, Finzer JRD, Kieckbusch TG. 2004. Glass transition control of the detachment of food pastes dried over glass plates. *J Food Eng* 61:261-267.
5. Ha JH, Han JG, Jeong HS, Oh SH, Kwon MC, Ko JR. 2008. Enhancement of immune activities of natural water-soluble sulforaphane by nano encapsulation process. *Korean J. Medicinal Crop Sci* 16:402-408.
6. Han CH, Kim MA, Kim MJ. 2019. Antioxidant properties and oxidative stability of oregano seed ethanol extract. *Korean J Food Preserv* 26:165-173.
7. Her JY. 2021. Development of novel spray freeze-drying method for value-added coffee powder preparation. *Korean J Food Preserv* 28:99-106.
8. Hong GP, Jo YJ, Kim B, Oh JW, Choi MJ. 2013. Development of foods using nanotechnology. *Livestock Food Science and Industry* 2:40-45.
9. Im J, Lee EH, Lee JN, Kim KD, Kim HY, Kim MJ. 2010. Sulforaphane and total phenolics

- contents and antioxidant activity of radish according to genotype and cultivation location with different altitudes. *Hortic Sci Technol* 28:335-342.
10. Jeong JW, Park KJ, Kim MH, Kim DS. 2006. Changes in quality of spray-dried and freeze-dried takju powder during storage. *Korean J Food Sci Technol* 38:513-520.
  11. Jeon H, Yang D, Lee NH, Ahn M, Kim G. 2020. Inhibitory effect of black radish (*Raphanus sativus* L. var. *niger*) extracts on lipopolysaccharide-induced inflammatory response in the mouse monocyte/macrophage-like cell line RAW 264.7. *Prev Nutr Food Sci* 25:408-421.
  12. Jo YJ, Kim HY, Kwon YJ. 2016. Influence of biopolymer emulsifier on the characteristics of curcumin nanoemulsions. *Food Eng Prog* 20:321-327.
  13. Kim SE, Baek SH, Lee HS, Kim HK. 2018. Inhibitory effects of black radish fermented with probiotics on antioxidant and lipid accumulation. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 47:710-716.
  14. Kim J, Ahn M, Choi Y, Ekanayake P, Kim GO, Shin T. 2020. Antifibrotic effects of fermented black radish (*Raphanus sativus* L. var. *niger*) on chronic liver injury in rats. *Adv Tradit Med* 20:53-59.
  15. Kim JM, Youn KS. 2019. Quality characteristics of spray-dried powders of *Pueraria thunbergiana* extracts with added forming agents. *Korean J Food Preserv* 26: 513-520.
  16. Kim J, Ahn M, Kim SE, Kim HK, Kim G, Shin T. 2017. Hepatoprotective effect of fermented black radish (*Raphanus sativus* L. var. *niger*) in CCl<sub>4</sub> induced liver injury in rats *J Prev Vet Med* 41:143-149.
  17. Kim EJ, Shin GJ. 2020. Evaluation of physicochemical properties of curcumin nanoemulsion with food grade emulsifiers. *Korean J Food Preserv* 27:119-126.
  18. Lim MJ, Hong JH. 2021. Physicochemical properties and antioxidant activities of spray-dried powder from safflower extract. *Korean J Food Preserv* 28:218-230.
  19. Lim JS, Gang HJ, Yoon SW, Suk JW, Lim JK. 2010. Preparation and its stability of a coenzyme Q10 nanoemulsion by high pressure homogenization with different valve type conditions. *Korean J Food Sci Technol* 2:565-570.
  20. Park MJ, Kim SB, Kim SJ, Kim KM, Choi SY, Chang M, Kim GC. 2017. Optimization of spray drying conditions of soft persimmon and milk mixture using response surface methodology. *Korean J Food Preserv* 24: 957-964.
  21. Singleton VL, Rossi JA. 1965. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *Am J Enol Vitic* 16:144-158.