

## 압출성형 무청 분말 추출물의 항산화 물질 함량 증가 및 이취 감소

성낙윤<sup>1</sup> · 박우용<sup>1</sup> · 김이은<sup>1</sup> · 조은지<sup>1</sup> · 송하연<sup>1</sup> · 전형광<sup>2</sup> · 박재남<sup>3</sup> · 김미환<sup>1</sup> · 류기형<sup>1</sup> · 변의홍<sup>1</sup>

<sup>1</sup>공주대학교 식품공학과

<sup>2</sup>하늘빛(주)

<sup>3</sup>송원대학교 식품영양학과

## Increase in Anti-Oxidant Components and Reduction of Off-Flavors on Radish Leaf Extracts by Extrusion Process

Nak-Yun Sung<sup>1</sup>, Woo-Young Park<sup>1</sup>, Yi-Eun Kim<sup>1</sup>, Eun-Ji Cho<sup>1</sup>, Hyeon Song<sup>1</sup>,  
Hyeong-Kwang Jun<sup>2</sup>, Jae-Nam Park<sup>3</sup>, Mi-Hwan Kim<sup>1</sup>,  
Gi-Hyung Ryu<sup>1</sup>, and Eui-Hong Byun<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Food Science and Technology, Kongju National University

<sup>2</sup>Hanbit Food

<sup>3</sup>Department of Food and Nutrition, Songwon University

**ABSTRACT** Aerial parts (leaves and stems) of radish are usually discarded due to the distinct undesirable flavors associated with inappropriate preparations, despite their many health benefits. In this study, we examined the role of extrusion process in the removal of off-flavors and elevation of antioxidant activity in radish (*Raphanus sativus* L.) leaves and stems. To optimize the extrusion conditions, we changed the barrel temperature (110, 120, and 130°C), screw speed (150, 200, 250, and 300 rpm), and moisture content (20, 25, and 30%). The polyphenol and flavonoid contents significantly increased in extruded radish leaves and stems (ER) under optimum extrusion conditions (130°C, 250 rpm, and 20%). Under extrusion conditions, we compared off-flavors (as amount of sulfur-containing compound) levels between ER and non-extruded radish leaves and stems (NER) by an electronic nose. A total of six peaks (sulfur-containing compound) were similarly detected in both ER and NER, whereas the ER showed reduced off-flavors. Levels of glucosinolate ( $\mu\text{g/g}$ ), which can be hydrolyzed into off-flavors during mastication or processing, were significantly decreased in the ER. From these results, extrusion processing can be an effective method to increase anti-oxidant activity and removal of off-flavors in radish leaves and stems.

**Key words:** radish leaves, extrusion, off flavor, total polyphenol, total flavonoid

## 서 론

식품의 품질을 결정짓는 다양한 요인 중 영양성, 안전성 및 기호성은 소비자가 식품을 선택하는 데 있어서 가장 중요시되는 항목이다. 특히 식품을 섭취할 때 식품의 맛, 색깔 및 향기 등의 기호성 요인들이 식품에 대한 소비를 결정하는 중요한 요소로서 작용한다. 따라서 특정 식품의 지속적인 수요를 증가하게 하려고 가공 및 포장 시 발생하는 이취의 생성과정에 대한 원인을 알아내고, 이를 방지하거나 절감할 방법에 대한 연구들이 주목받고 있는 추세이다(1).

무(*Raphanus sativus*)는 겨자과에 속하는 한해살이 또는 두해살이 초본으로 삼국시대 중국으로부터 도입되었으며,

우리나라에서는 무의 뿌리 및 잎 부분을 주로 식용으로 사용하고 있다(2). 무의 주요 성분으로는 수분이 약 93%, 조단백질 1%, 당질 3% 및 비타민 C가 있으며, 그 외에 섬유소, 펙틴질, 각종 무기질 및 amylase 등이 있고 methyl mercaptan 및 mustard oil 등과 같은 방향성분을 가지고 있다(3,4). 무청은 무의 지상부 엽체를 말하며 우리나라에서는 건조하여 국이나 나물로 조리하여 이용하였고, 35% 이상의 식이섬유 및 20% 내외의 단백질, 철분 및 칼슘 등을 함유하고 있어 과거 채소가 귀했던 겨울철에 양질의 영양분을 공급해 준 주요 식품이다(5). 그러나 최근 경제성장으로 인해 경제 수준이 향상되고 식생활이 변화함에 따라 재배되는 무의 소비량에 비해서 무청의 소비율이 적어짐에 따라 많은 양의 무청이 폐기되고 있다(6). 기존의 연구 결과는 무청 추출물의 항암 활성, 장 기능 개선 및 간 보호 효과 등의 기능성에 관한 연구에 국한되어 왔으며(7-9), 무청의 소비율을 증진하기 위한 제조 특성에 관한 연구는 아직 미흡한 실정이다.

Received 16 August 2016; Accepted 27 September 2016

Corresponding author: Eui-Hong Byun, Department of Food Science and Technology, Kongju National University, Yesan, Chungnam 32439, Korea

E-mail: ehbyun80@kongju.ac.kr, Phone: +82-41-330-1481

일반적으로 식물의 세포벽은 셀룰로오스, 헤미셀룰로오스, 펙틴 및 리그닌 등의 고분자물질로 구성되어 있다. 이러한 식물 세포벽 구성성분들은 상호 간에 이온결합, 공유결합 및 수소결합 등을 통해 치밀한 결합조직을 이루고 있어 식물 내부 유효성분을 추출하는 데 제한적인 요소로 작용한다. 따라서 식물 세포벽의 강한 결합을 물리적 및 화학적인 방법으로 수용성화함으로써 식물 함유 유효성분을 다량으로 용출시키기 위한 연구들이 현재 다양하게 시도되고 있다(10).

압출성형은 혼합, 분쇄, 가열, 성형 및 건조와 같은 연속적인 단위조작을 통해서 전분의 수화, 팽윤, 호화, 단백질의 변성, 미생물의 사멸, 독성물질 파괴 및 이취물질 제거 반응 등이 연속적으로 일어나는 공정이며, 스크류 회전속도, 수분함량 및 배럴 온도 등의 공정변수 조절에 의해 다양한 특성의 압출성형물을 제조할 수 있다. 국내에서 압출성형공정을 이용하여 식품 부산물의 물리적 및 화학적 특성을 개선하고자 한 연구들이 진행되고 있고, 사과주스의 착즙 부산물인 사과박의 압출성형공정에 따른 수용성 식이섬유 및 펙틴의 함량이 증가한다고 보고되었으며(10), Ryu(11)는 두부 제조 시 부산물인 비지는 압출성형공정의 독립변수 중 수분함량의 감소 및 스크류 속도의 증가에 따라 수용성 식이섬유 함량이 증가한다고 보고하였다.

본 연구에서는 부산물인 무청의 추출 수율, 이취 절감 및 항산화 활성을 향상시키기 위해서 압출성형의 공정변수 중 수분함량, 스크류 회전속도 및 배럴 온도를 독립변수로 선택하였으며, 추출 수율, 이취물질 절감 및 항산화 활성을 종속 변수로 설정하여 압출성형의 조건을 최적화하였다.

## 재료 및 방법

### 재료

본 실험에 사용된 무청(radish leaves)은 하늘빛(주)(Gongju, Korea)에서 제공받았다.

### 무청의 압출성형 및 추출

압출성형 무청의 제조에 사용된 압출성형기는 자체 제작한 실험용 쌍축 압출성형기(THK 31T, Incheon Machinery Co., Incheon, Korea)이며 압출성형기의 스크류 직경은 29.0 mm, 직경과 길이의 비(L/D ratio)는 25:1이다. 압출성형 무청의 공정변수에 따른 최적조건을 확인하기 위하여 수분함량 조건은 20%, 25%, 30%로 설정하였고, 스크류 회전속도는 150, 200, 250 및 300 rpm으로 설정하였으며, 배럴 온도는 110°C, 120°C, 130°C, 140°C, 150°C로 달리하여 압출성형물을 제작하였다. 그 밖의 원료사입량 및 사출구 직경은 100 g/min, 3.0 mm로 고정하였다. 압출성형 무청 시료는 실험 전 50°C로 유지되는 열풍건조기(HB-502MP, Han Beak Co., Bucheon, Korea)에서 6시간 동안 건조하였으며, 건조된 시료는 가정용 분쇄기(FM-681, Hani, Haman, Korea)로 분쇄한 후 100 mesh 표준체(Testing sieve,

Chung-gye Sang-gong Co., Seoul, Korea)를 통과한 분말을 무청 추출물의 제조에 이용하였다. 압출성형 한 무청 분말 100 g에 distilled water 1 L를 가해 상온에서 24시간 교반 추출하였으며, 2,000 rpm에서 10분간 원심분리 하여 상등액을 분리하고 분리된 상등액을 Filter paper No. 4 (Whatman®, Kent, UK)를 사용하여 감압 여과한 후 동결 건조하여 무청 추출물로 사용하였다.

### 총폴리페놀 함량 분석

압출성형 한 무청 추출물의 총폴리페놀 함량은 Folin-Denis 방법(12)을 일부 수정하여 분석하였다. 10 mg/mL 농도의 추출물 20 µL에 증류수 400 µL를 가한 다음, 2 N Folin-Ciocalteu phenol reagent(Sigma-Aldrich Co., St. Louis, MO, USA) 40 µL를 넣은 후 교반하였다. 이 용액에 20% Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 400 µL를 가한 후 37°C에서 30분 동안 반응시킨 후 microplate reader를 이용하여 765 nm에서 흡광도를 측정하였다. 총폴리페놀 정량은 gallic acid(Sigma-Aldrich)를 표준물질로 사용하여 작성한 표준곡선으로부터 산출하였다.

### 총플라보노이드 함량 분석

압출성형 한 무청 추출물의 총플라보노이드의 함량은 Davis 방법(13)을 일부 변형하여 분석하였다. 10 mg/mL 농도의 추출물 500 µL에 diethylene glycol(Sigma-Aldrich Co.) 5 mL와 1 N NaOH 500 µL를 혼합하여 37°C 항온 수조에서 1시간 동안 반응시켰다. 흡광도의 변화는 microplate reader를 이용하여 420 nm에서 측정하였으며, 총플라보노이드 정량은 naringin(Sigma-Aldrich Co.)을 표준물질로 사용하여 작성한 표준곡선으로부터 산출하였다.

### 총글루코시놀레이트 측정

압출성형 무청 분말 추출물의 총글루코시놀레이트 함량은 Kestwal 등(14)의 방법을 이용하여 측정하였다. 추출액은 동결 건조된 시료 1.0 g에 95% 에탄올 30 mL를 넣고 100 rpm으로 24시간 동안 교반하여 추출한 후 상등액을 Filter paper No. 4(Whatman®)로 여과하여 실험에 사용하였다. 96 well plates에 추출액 20 µL와 2 mM sodium tetrachloropalladate solution 300 µL를 넣어 실온에서 30분간 반응시킨 후 microplate reader를 이용하여 450 nm에서 흡광도를 측정하였다. 표준물질로는 sinigrin hydrate(Sigma-Aldrich Co.)를 사용하였다.

### 전자코 분석

무청 시료는 강원도 횡성군에서 채배되는 무청을 공급받아 30일 동안 통풍이 잘되는 실온에서 건조하였고, 실험 전 60°C로 유지되는 열풍건조기에 4시간 동안 유지하면서 건조하였다. 건조된 시료를 과쇄하여 압출성형공정을 수행하였고, 압출성형 된 무청 분말과 압출성형공정을 거치지 않은

무청 분말의 이취를 비교하기 위하여 전자코 분석을 수행하였다. 압출성형 및 비압출성형 된 무청 분말 30 g씩 vial에 넣은 후 RTFE/silicone cap(Pharma-Fix, Chemea, Slovakia)으로 밀봉하였으며, 300 rpm으로 교반하면서 80°C를 유지하였고 주입구 온도는 130°C로 설정하여 전자코(Smart Nose 300, SMart Nose, Marin-Epagnier, Switzerland) 분석을 하였다. 각 시료는 3회 반복 측정하였다. 이때 사용된 통계 프로그램은 SMart Nose151 statistical analysis software(Version 1.51, THOPAS Soft Creation, Marin-Epagnier, Switzerland)이다.

**통계처리**

이상의 실험에서 얻어진 결과는 Statistical Package for Social Sciences(SPSS, 10.0, IBM, Chicago, IL, USA)를 이용하여 one-way ANOVA test로 분석하였으며, 시료 간의 유의성은 Duncan’s multiple range test로  $P < 0.05$  수준에서 비교하였다.

**결과 및 고찰**

**배럴 온도에 따른 무청 분말의 수율, 총폴리페놀 및 총플라보노이드 함량 변화**

자연계에 널리 분포하는 천연 항산화 물질은 대표적으로 폴리페놀 및 플라보노이드 등이 있으며, 인체 내에서 항균, 항암, 혈압 강화작용, 피임작용, 간 보호 작용 및 진경 작용 등 다양한 생리활성기능을 갖는 것으로 알려져 있다(15). 무청은 인체 유해 활성산소종을 소거할 수 있는 베타카로틴 및 안토시아닌 등 다양한 기능성 물질을 함유하고 있어 항산화 작용에 우수한 생리활성을 갖고 있다고 보고되었다(16).

무청 분말에 대한 압출성형공정 변수 중 배럴 온도 최적조건을 알아보기 위하여 수분함량(25%) 및 스크류 속도(250 rpm)를 고정하고 배럴 온도(110°C, 120°C, 130°C, 140°C 및 150°C)에 따른 추출 수율, 총폴리페놀 및 총플라보노이드 함량에 관하여 평가해보았다(Table 1). 압출성형 무청 분말의 배럴 온도별 추출 수율은 110°C에서 40.48±1.012%(g/g), 120°C에서 45.26±1.475%(g/g) 및 130°C에서 49.04±1.122%(g/g)로 배럴 온도가 증가함에 따라 추출 수

율이 증가하였으며, 특히 130°C에서는 일반 무청 분말의 추출 수율 37.00±0.973%(g/g)보다 약 12% 이상 추출 효율이 높은 것으로 관찰되었다. 그러나 140°C 이상의 온도에서는 무청 분말의 성형이 일어나지 않아 140°C 이상의 높은 온도에 대한 평가는 진행할 수 없었다. 이전 연구에서 인삼의 배럴 온도에 따른 압출성형물의 질소화합물과 당류의 추출 수율이 증가하는 것으로 보고되었다(17,18). 본 연구에서도 이러한 결과와 유사하게 배럴 온도에 따른 무청 분말 압출성형물의 추출 수율이 증가한 것을 확인할 수 있었다. 배럴 온도별 압출성형 무청 분말 추출물의 총폴리페놀 함량은 110°C에서 21.23±1.049 mg/g, 120°C에서 25.05±1.512 mg/g 및 130°C에서 29.26±0.463 mg/g으로 배럴 온도가 증가함에 따라 총폴리페놀 함량이 유의적으로 증가하였으며, 특히 130°C에서는 일반 무청 분말의 총폴리페놀 함량(20.08±1.011 mg/g)보다 총폴리페놀 함량이 가장 높은 것으로 확인되었고, 총플라보노이드 함량의 경우 또한 110°C에서 2.38±0.067 mg/g, 120°C에서 2.52±0.021 mg/g 및 130°C에서 2.87±0.074 mg/g으로 배럴 온도가 증가함에 따라 총플라보노이드 함량이 증가하였으며, 일반 무청 분말의 총플라보노이드 함량(2.19±0.044 mg/g)과 비교하여 120~130°C에서 유의적으로 총플라보노이드 함량이 증가하였으나 큰 차이는 나타나지 않았다. 이전 연구에서는 고온에서 숙성시켜 제조된 흑마늘의 총페놀화합물이 일반 마늘보다 높게 측정되었는데, 이는 숙성 및 가열 처리로 마늘조직의 연화에 의해 높은 페놀성 화합물 추출 수율에 기인한 것으로 보고되었다(19). 또한, 백삼 및 홍삼의 압출성형물 추출물의 총페놀화합물 함량이 배럴 온도가 증가함에 따라 총페놀화합물 함량이 높은 것으로 나타났다(20). 본 연구 결과에서도 압출성형 무청 분말 추출물의 총폴리페놀 및 총플라보노이드 함량이 배럴 온도에 따라 증가하였으며, 이는 가열처리 과정 중 무청 분말의 조직 연화에 의한 각종 생리활성 물질의 용출이 용이해진 것으로 생각한다.

배럴 온도에 따른 압출성형 무청 분말의 추출 수율, 총폴리페놀 및 총플라보노이드 함량 변화에 관하여 관찰한 결과, 배럴 온도가 증가함에 따라 압출성형 무청 분말의 추출 수율, 총폴리페놀 및 총플라보노이드 함량이 증가하는 것으로 확인되었으며, 추후 진행하는 실험에서 무청 분말의 배럴

**Table 1.** Change of extraction yield, and total polyphenols and total flavonoids contents of radish leaves extracts (RLE) and extruded radish leaves extracts (ERLE) with different temperature (110, 120, and 130°C) of extrusion condition

Sample <sup>1)</sup>	Yield (g/g, %)	Total polyphenols (gallic acid, mg/g)	Total flavonoids (naringin, mg/g)
RLE	37.00±0.973 <sup>d2)3)</sup>	20.08±1.011 <sup>c</sup>	2.19±0.044 <sup>c</sup>
ERLE (110°C)	40.48±1.012 <sup>c</sup>	21.23±1.049 <sup>c</sup>	2.38±0.067 <sup>bc</sup>
ERLE (120°C)	45.26±1.475 <sup>b</sup>	25.05±1.512 <sup>b</sup>	2.52±0.021 <sup>b</sup>
ERLE (130°C)	49.04±1.122 <sup>a</sup>	29.26±0.463 <sup>a</sup>	2.87±0.074 <sup>a</sup>

Extrusion condition: screw rotational speed 250 rpm, moisture contents 25%.

<sup>1)</sup>RLE: radish leaves extracts, ERLE (110°C): extracts from extruded radish leaves at 110°C barrel temperature, ERLE (120°C): extracts from extruded radish leaves at 120°C barrel temperature, ERLE (130°C): extracts from extruded radish leaves at 130°C barrel temperature.

<sup>2)</sup>Each value is mean±SD.

<sup>3)</sup>Values with different letters in same column are significantly different ( $P < 0.05$ ).

온도 조건을 130°C로 고정하여 실험하였다.

### 스크류 회전속도에 따른 무청 분말의 수율, 총폴리페놀 및 총플라보노이드 함량 변화

무청 분말에 대한 압출성형공정 변수 중 스크류 회전속도의 최적조건을 알아보기 위하여 수분함량(25%) 및 배럴 온도(130°C)를 고정하고 스크류 회전속도(150, 200, 250 및 300 rpm)에 따른 추출 수율, 총폴리페놀 및 총플라보노이드 함량에 관하여 평가해보았다(Table 2).

압출성형 무청 분말의 스크류 회전속도별 추출 수율은 150 rpm에서 46.49±1.023(g/g), 200 rpm에서 47.23±1.112(g/g), 250 rpm에서 48.26±1.477(g/g) 및 300 rpm에서 48.51±1.081(g/g)로 스크류 회전속도가 증가함에 따라 추출 수율의 변화는 유의적인 영향을 미치지 않았다. 스크류 회전속도별 압출성형 무청 분말 추출물의 총폴리페놀 함량은 150 rpm에서 26.23±0.542 mg/g, 200 rpm에서 24.83±0.342 mg/g, 250 rpm에서 27.01±0.380 mg/g 및 300 rpm에서 27.32±0.588로 스크류 회전속도 250~300 rpm 구간에서 총폴리페놀 함량이 증가하였으며, 총플라보노이드 함량은 150 rpm에서 2.32±0.040 mg/g, 200 rpm에서 2.09±0.012 mg/g, 250 rpm에서 2.27±0.035 mg/g 및 300 rpm에서 2.18±0.029로 스크류 회전속도 150 및 250 rpm에서 총플라보노이드 함량이 증가하였다. 이전 연구에서 스크류 회전속도에 따른 홍삼 압출성형물의 진세노사이드 함량의 변화는 스크류 회전속도를 200 rpm에서 250 rpm으로 증가시켰을 때 압출성형 홍삼의 총진세노사이드

드 함량이 증가한 것으로 보고하였다(18). 이로 미루어 보아 스크류 회전속도를 증가시켰을 때 압출성형물의 생리활성 물질 함량이 증가하는 것은 스크류 회전속도의 감소에 따른 압출성형기 내부의 체류시간이 증가하게 되어 생리활성 물질의 변화가 있는 것으로 판단된다. 그러나 본 실험에서는 스크류 속도를 증가시켰을 때 총폴리페놀의 함량은 증가하는 경향을 보였으나, 총플라보노이드의 함량은 유의적인 차이가 나타나지 않는 것으로 관찰되었다.

### 수분함량에 따른 무청 분말의 수율, 총폴리페놀 및 총플라보노이드 함량 변화

무청 분말에 대한 압출성형공정 변수 중 수분함량의 최적 조건을 알아보기 위하여 배럴 온도(130°C) 및 스크류 회전속도(250 rpm)를 고정하고 수분함량(20, 25 및 30%)에 따른 추출 수율, 총폴리페놀 및 총플라보노이드 함량에 관하여 평가해보았다(Table 3). 압출성형 무청 분말의 수분함량별 추출 수율은 수분함량 30%에서 40.04±0.95(g/g), 25%에서 40.87±0.87(g/g) 및 20%에서 41.28±1.13(g/g)로 수분함량이 감소함에 따라 추출 수율이 증가하는 것으로 나타났다. 이전의 연구에서 압출성형 조건 중 수분함량의 감소 및 스크류 회전속도의 증가는 홍삼 압출성형물에 투입되는 비 기계적 에너지 투입량이 증가하여 홍삼의 기능성 성분인 산성 다당체 및 폴리페놀의 추출 수율이 증가한다고 보고하였다(18). 본 연구에서도 압출성형 무청 분말의 수분함량에 따른 추출 수율이 증가한 이유는 수분함량의 감소 및 스크류 회전속도의 증가에 따라 무청 분말의 수용성 지수가 증가하

**Table 2.** Change of extraction yield, and total polyphenols and total flavonoids contents of radish leaves extracts and extruded radish leaves extracts with different screw rotational speed (150, 200, 250 and 300 rpm) of extrusion condition

Sample <sup>1)</sup>	Yield (g/g, %)	Total polyphenols (gallic acid, mg/g)	Total flavonoids (naringin, mg/g)
ERLE (150 rpm)	46.49±1.023 <sup>a2)3)</sup>	26.23±0.542 <sup>b</sup>	2.32±0.040 <sup>a</sup>
ERLE (200 rpm)	47.23±1.112 <sup>a</sup>	24.83±0.342 <sup>c</sup>	2.09±0.012 <sup>c</sup>
ERLE (250 rpm)	48.26±1.477 <sup>a</sup>	27.01±0.380 <sup>a</sup>	2.27±0.035 <sup>a</sup>
ERLE (300 rpm)	48.51±1.081 <sup>a</sup>	27.32±0.588 <sup>a</sup>	2.18±0.029 <sup>b</sup>

Extrusion condition: barrel temperature 130°C, moisture contents 25%.

<sup>1)</sup>ERLE (150 rpm): extracts from extruded radish leaves at 150 rpm screw rotational speed, ERLE (200 rpm): extracts from extruded radish leaves at 200 rpm screw rotational speed, ERLE (250 rpm): extracts from extruded radish leaves at 250 rpm screw rotational speed, ERLE (300 rpm): extracts from extruded radish leaves at 300 rpm screw rotational speed.

<sup>2)</sup>Each value is mean±SD.

<sup>3)</sup>Values with different letters in same column are significantly different ( $P<0.05$ ).

**Table 3.** Change of extraction yield, and total polyphenols and total flavonoids contents of radish leaves extracts and extruded radish leaves extracts with different moisture contents (20, 25 and 30%) of extrusion condition

Sample <sup>1)</sup>	Yield (g/g, %)	Total polyphenols (gallic acid, mg/g)	Total flavonoids (naringin, mg/g)
ERLE (M.C 20%)	41.28±1.13 <sup>a2)3)</sup>	29.77±0.96 <sup>a</sup>	6.91±0.25 <sup>a</sup>
ERLE (M.C 25%)	40.87±0.87 <sup>a</sup>	29.66±0.80 <sup>a</sup>	6.33±0.30 <sup>b</sup>
ERLE (M.C 30%)	40.04±0.95 <sup>a</sup>	29.42±0.75 <sup>a</sup>	6.67±0.48 <sup>ab</sup>

Extrusion condition: barrel temperature 130°C, screw rotational speed 250 rpm.

<sup>1)</sup>ERLE (M.C 20%): extracts from extruded radish leaves at 20% moisture contents, ERLE (M.C 25%): extracts from extruded radish leaves at 25% moisture contents, ERLE (M.C 30%): extracts from extruded radish leaves at 30% moisture contents.

<sup>2)</sup>Each value is mean±SD.

<sup>3)</sup>Values with different letters in same column are significantly different ( $P<0.05$ ).

였기 때문에 생각한다. 수분함량별 압출성형 무청 분말 추출물의 총폴리페놀 함량은 수분함량 30%에서 29.42±0.75 mg/g, 25%에서 29.66±0.80 mg/g 및 20%에서 29.77±0.96 mg/g으로 수분함량이 감소함에 따라 총폴리페놀 함량이 증가하였으나 유의적인 영향을 미치지 않았다. 총플라보노이드 함량은 수분함량 30%에서 6.67±0.48 mg/g, 25%에서 6.33±0.30 mg/g 및 20%에서 6.91±0.25 mg/g으로 수분함량에 따른 유의적 차이가 나타나지 않았다. 이전의 연구에서 탈 전분 옥수수 섬유의 폐놀화합물은 수분함량이 30%에서 50%로 증가함에 따라서 감소하였으며, 이는 원재료의 수분함량에 의해 충분한 전단력을 받지 못해 원재료의 화학적 구조의 단순화가 이루어지지 않아 감소한 것으로 보고하였다(21).

수분함량에 따른 압출성형 무청 분말의 추출 수율, 총폴리페놀 및 총플라보노이드 함량 변화에 대해 알아본 결과 수분함량의 감소가 압출성형 무청 분말의 추출 수율, 총폴리페놀 및 총플라보노이드 함량에 대해 유의적인 영향을 미치지 않았다. 따라서 무청 분말 압출성형의 최적조건은 배럴 온도(130°C), 스크류 회전속도(250 rpm) 및 수분함량(20%)으로 결정하였다.

**압출성형 무청 분말의 총글루코시놀레이트 함량**

글루코시놀레이트는 티오글루코사이드의 일종으로 탄소와 질소의 이중결합을 기준으로 황과 연결된 glucose와 아미노산에서 유래된 결사슬을 갖는 유기황화합물이며, 자연적으로 십자과 식물 내에서 풍부하게 생성되는 2차 대사산물이다(22). 글루코시놀레이트의 생합성 과정에서 이용되는 아미노산의 종류에 따라서 다양한 결사슬을 취하며, 120여 가지에 해당하는 글루코시놀레이트가 존재한다. 따라서 글루코시놀레이트는 반응기 그룹의 구조 특성에 의해 크게 aliphatic, aromatic 및 heterocyclic 세 그룹으로 나뉘고 세부적으로는 9가지로 구분된다. 일반적으로 글루코시놀레이트는 식물세포 내의 액포에 저장되어 있고, 식물체 조직이 외부적 요인에 의해 손상되면 myosin 세포의 myrosinase 효소와 반응하여 가수분해 되어 불안정한 aglycone인 thi-ohydroximate-O-sulfonate를 형성하며, 이러한 반응으로 생성되는 다양한 가수분해물은 십자과 식물의 주된 이취 성분이다(23). 이에 따라 조리과정 중 발생하는 이취를 절감하기 위해서 가공 조건에 따른 글루코시놀레이트의 분해율 및 분해산물의 변화에 대해 연구가 활발히 진행되고 있다. 따라서 압출성형공정이 무청 분말의 글루코시놀레이트 함량 변화에 미치는 영향을 평가하기 위해서 배럴 온도(130°C), 스크류 회전속도(250 rpm) 및 수분함량(20%)의 압출성형 조건에서 압출성형 한 무청 분말 및 일반 무청 분말의 총글루코시놀레이트 함량에 대해 비교하였다(Table 4).

일반 무청 및 압출성형 무청에서 추출한 총글루코시놀레이트 함량을 측정된 결과, 압출성형 무청 분말 추출물 4.21±0.10 µg/g 및 일반 무청 분말 추출물 7.21±0.14 µg/g으로

**Table 4.** Change of total glucosinolate contents of radish leaves extracts and extruded radish leaves extracts with optimum extrusion condition

Sample <sup>1)</sup>	Total glucosinolate contents (sinigrin, µg/g)
RLE	7.21±0.14 <sup>a2)3)</sup>
ERLE	4.21±0.10 <sup>b</sup>

Extrusion condition: barrel temperature 130°C, moisture contents 20%, 250 rpm screw rotational speed.

<sup>1)</sup>RLE: radish leaves extracts, ERLE: extracts from extruded radish leaves.

<sup>2)</sup>Each value is mean±SD.

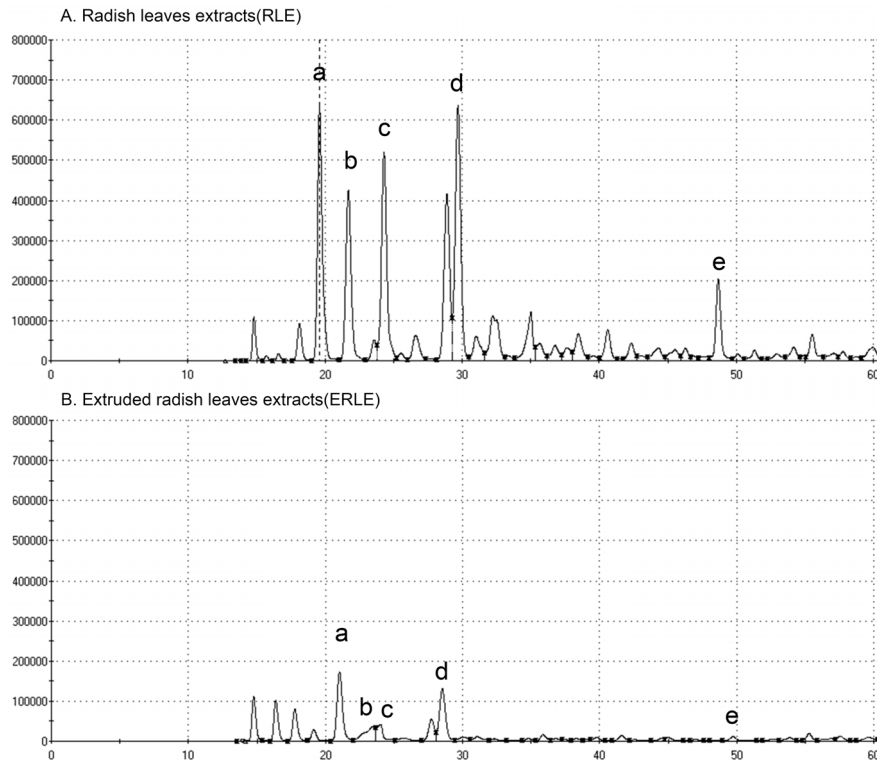
<sup>3)</sup>Values with different letters in same column are significantly different (P<0.05).

관찰되었으며, 압출성형에 의해 글루코시놀레이트 함량이 일반 무청의 총글루코시놀레이트 함량보다 약 1.5배 감소하였음을 확인할 수 있었다. 무청의 총글루코시놀레이트 감소에 관한 연구 결과에서 조리과정 중 데치기의 경우 식물체의 손상된 조직을 통해 글루코시놀레이트가 조리수로 침출되므로 총글루코시놀레이트 함량을 감소시킨다고 보고하였고(24), 산성 조건에서 양성 전하를 나타내는 키토산은 전자가 풍부한 글루코시놀레이트와 중합반응을 통해 무청의 총글루코시놀레이트 함량을 낮추는 것으로 관찰되었다(25). 본 연구에서도 이러한 결과와 유사하게 압출성형 무청 분말은 일반 무청 분말보다 총글루코시놀레이트 함량이 낮은 것으로 관찰되었고, 이로 미루어 보아 무청의 가공 전처리 과정에서 압출성형은 총글루코시놀레이트 함량 절감에 효율적인 공정으로 생각한다.

**압출성형 무청 황화합물 함량 변화**

식품에서 향기 성분의 분석은 gas chromatography(GC)와 GC-mass spectrometry(GC-MS) 및 관능검사 등을 통해 측정되고 있으나, 이와 같은 분석법들은 시료의 전처리 과정 및 측정 방법이 복잡하다는 단점을 갖고 있다(26). 반면 전자코 분석은 시료의 전처리 과정이 간단하고 GC 및 GC-MS와 달리 구체적인 성분으로 동정하지 않은 상태에서 시료의 향기 성분에 대한 전체적인 패턴을 분석할 수 있는 비교적 편리한 방법이다(27).

압출성형 무청 분말의 이취 성분의 함량은 전자코를 이용하여 분석하였으며, 이취 성분 함량 변화는 Fig. 1에 나타내었다. 일반 무청 분말에서 발생하는 주요 이취 성분은 carbon disulfide, thiophene, 2-methylthiophene, 3-methyl-2-butene-1-thiol, dimethyl sulfoxide 및 dimethyl disulfide 등으로 관찰되었으며, 배럴 온도(130°C), 스크류 회전속도(250 rpm) 및 수분함량(20%)의 조건으로 압출성형 된 무청 분말은 일반 무청 분말보다 carbon disulfide 41.24±0.23%, thiophene 33.92±0.67%, 2-methylthiophene 20.29±1.13%, 3-methyl-2-butene-1-thiol 9.71±0.38%, dimethyl sulfoxide 9.71±0.59%, dimethyl disulfide 8.52±0.83%로 감소하는 경향을 나타냈다.



**Fig. 1.** Change of volatile compounds produced from RLE and ERLE in electronic nose. a: carbon disulfide, b: thiophene, c: dimethyl disulfide, d: 2-methylthiophene, e: 3-methyl-2-butene-1-thiol and dimethyl sulfoxide.

황화합물은 주로 음식물의 부패 시 발생하며, 부패 과정에서 다양한 형태의 이취물질들을 생성 및 배출하는 과정에서 악취를 발생시킨다(28). 악취를 발생시키는 물질 중 환원황 성분들은 methyl sulfide, dimethyl sulfide, hydrogen sulfide 및 methyl mercaptan 등이 대표적이며, 이들은 양파, 양배추, 배추 및 무 등과 같은 채소가 물리적 및 화학적 요인에 의해 발생하는 이취 성분으로 잘 알려져 있다. 이전 연구에서 김치에 첨가되는 부재료 중 마늘, 생강, 양파 및 파에서 유래하는 methyl allyl sulfide, dimethyl disulfide, diallyl disulfide, thieno[3,2-b]thiophene, 1,2,4,6-tetrathiepane 및 methyl allyl trisulfide와 같은 황화합물이 김치에서 발생하는 균덕내(staled or mold odor) 및 신내(sour odor) 등의 이취를 강하게 생성한다고 보고하였으며(29,30), 또한 고등어 및 명태의 냉장저장 과정에서 발생하는 methyl mercaptan, dimethyl sulfide, carbon disulfide, dimethyl disulfide 및 dimethyl trisulfide 등과 같은 황화합물은 그 역치가 낮고 악취 발생에 크게 관여하는 것으로 보고하였다(31). 본 연구에서 압출성형 된 무청의 이취 성분에 관하여 전자코 분석을 수행한 결과 무청의 이취 성분으로 carbon disulfide, thiophene, 2-methylthiophene, 3-methyl-2-butene-1-thiol, dimethyl sulfoxide 및 dimethyl disulfide 등의 황화합물이 검출되었으며, 이러한 황화합물의 함량은 압출성형공정에 의해 크게 감소하는 것으로 관찰되었다.

## 요 약

무청은 무의 지상부 엽채를 말하며, 우리나라에서는 주로 건조하여 국이나 나물로 조리하여 이용하였고, 영양학적으로 35% 이상의 식이섬유 및 20% 내외의 단백질, 철분 및 칼슘 등을 함유하고 있다. 그러나 무청의 주요 성분인 글루코시놀레이트는 가공과정 중 발생하는 이취에 주된 원인물질이며, 이러한 이취는 무청을 이용한 가공식품의 원료로 사용하는 데 제한적 요인이 되고 있다. 따라서 본 연구에서는 압출성형 조건에 따른 무청 분말의 항산화 활성 및 이취 성분 변화에 관하여 알아보기 위하여 압출성형 독립변수 중 배럴 온도, 스크류 회전속도 및 수분함량을 조절하여 압출성형 무청 추출물의 추출 수율, 총폴리페놀 함량, 총플라보노이드 함량, 총글루코시놀레이트 함량 및 이취 성분을 분석하였다. 추출 수율 및 항산화 활성은 배럴 온도가 증가함에 따라 유의적으로 증가하였다. 압출성형 최적조건인 배럴 온도(130°C), 스크류 회전속도(250 rpm) 및 수분함량(20%)에서 총글루코시놀레이트 함량은 일반 무청 분말보다 약 1.5배 감소하는 경향을 나타냈으며, 이러한 황화합물의 함량 변화에 관한 정확한 성분을 분석한 결과 압출성형공정은 무청의 이취물질(methyl mercaptan, dimethyl sulfide, carbon disulfide, dimethyl disulfide 및 dimethyl trisulfide) 함량을 효과적으로 감소시켜 무청의 이취를 감소시키는 것으로 관찰되었다.

### 감사의 글

본 연구는 중소기업청의 기술혁신개발사업의 일환으로 수행하였음(S2311851, 기호성과 기능성이 증진된 야채스프 개발 및 산업화).

### REFERENCES

- Hong EJ, Kim YJ, Noh BS. 2010. The reduction of “off-flavor” in *Cheonggukjang* and *Kimchi*. *Korean J Food Cult* 25: 324-333.
- Kim BR, Park JH, Kim SH, Cho KJ, Chang MJ. 2010. Anti-hypertensive properties of dried radish leaves powder in spontaneously hypertensive rats. *Korean J Nutr* 43: 561-569.
- Ku KH, Lee KA, Kim YE. 2008. Physiological activity of extracts from radish (*Raphanus sativus* L.) leaves. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 37: 390-395.
- Jung GH, Lee HS. 1986. Changes of texture in terms of the contents of cellulose, hemicellulose and pectic substances during fermentation of radish kimchi. *Korean J Soc Food Sci* 2: 68-75.
- Ku KH, Lee KA, Kim YL, Lee MG. 2006. Effects of pre-treatment method on the surface microbes of radish (*Raphanus sativus* L.) leaves. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 35: 649-654.
- Lee YS, Kwon KJ, Kim MS, Sohn HY. 2013. Antimicrobial, antioxidant and anticoagulation activities of Korean radish (*Raphanus sativus* L.) leaves. *Korean J Microbiol Biotechnol* 41: 228-235.
- Rhee SJ, Ahn JM, Ku JH, Choi JH. 2005. Effect of radish leaves powder on hepatic antioxidative system in rats fed high-cholesterol diet. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 34: 1157-1163.
- Shimotoyodome A, Meguro S, Hase T, Tokimitsu I, Sakata T. 2001. Sulfated polysaccharides, but not cellulose, increase colonic mucus in rats with loperamide-induced constipation. *Dig Dis Sci* 46: 1482-1489.
- Yim HB, Lee G, Chae HJ. 2004. Cytotoxicity of ethanol extract of *Raphanus sativus* on a human lung cancer cell line. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 33: 287-290.
- Hwang JK, Kim CT, Hong SI, Kim CJ. 1994. Solubilization of plant cell walls by extrusion. *J Korean Soc Food Nutr* 23: 358-370.
- Ryu GH. 1995. Treatment of Biji by extrusion-cooking and its utilization. *Korean Soybean Digest* 12: 43-48.
- Appel HM, Govenor HL, D’Ascenzo M, Siska E, Schultz JC. 2001. Limitations of Folin assays of foliar phenolics in ecological studies. *J Chem Ecol* 27: 761-778.
- Davis WB. 1947. Determination of flavanones in citrus fruits. *Anal Chem* 19: 476-478.
- Kestwal RM, Lin JC, Bagal-Kestwal D, Chiang BH. 2011. Glucosinolates fortification of cruciferous sprouts by sulphur supplementation during cultivation to enhance anti-cancer activity. *Food Chem* 126: 1164-1171.
- Lee SJ, Park DW, Jang HG, Kim CY, Park YS, Kim TC, Heo BG. 2006. Total phenol content, electron donating ability, and tyrosinase inhibition activity of pear cut branch extract. *Kor J Hort Sci Technol* 24: 338-342.
- Schmidtlein H, Herrmann K. 1975. On phenolic acids of vegetables. I. Hydroxycinnamic acids and hydroxybenzoic acids of brassica-species and leaves of other cruciferae. *Z Lebensm Unters Forsch* 159: 139-148.
- Kang YH, Park YK, Oh SR, Moon KD. 1995. Studies on the physiological functionality of pine needle and mugwort extracts. *Korean J Food Sci Technol* 27: 978-984.
- Ha DC, Lee JW, Kim NM, Ryu GH. 2005. Effect of barrel temperature and screw speed on characteristics of extruded raw ginseng. *J Ginseng Res* 29: 107-112.
- Gui Y, Ryu GH. 2013. The effect of extrusion conditions on the acidic polysaccharide, ginsenoside contents and antioxidant properties of extruded Korean red ginseng. *J Ginseng Res* 37: 219-226.
- Jang EK, Seo JH, Lee SP. 2008. Physiological activity and antioxidative effects of aged black garlic (*Allium sativum* L.) extract. *Korean J Food Sci Technol* 40: 443-448.
- Kim BS, Ryu GH. 2005. Effect of die temperature and dimension on extract characteristics of extruded white ginseng. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 34: 544-548.
- Kim CH, Ryu GH. 2013. Effects of feed moisture on the physicochemical properties of extruded corn fibers. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 42: 427-433.
- Fenwick GR, Heaney RK, Mullin WJ. 1983. Glucosinolates and their breakdown products in food and food plants. *Crit Rev Food Sci Nutr* 18: 123-201.
- Park HU. 2012. Degradation patterns of glucosinolates in cruciferous vegetables under food processing conditions. *MS Thesis*. Seoul National University, Seoul, Korea. p 3-4.
- Holst B, Williamson G. 2004. A critical review of the bio-availability of glucosinolates and related compounds. *Nat Prod Rep* 21: 425-477.
- Jing P, Ruan SY, Dong Y, Zhang XG, Yue J, Kan JQ, Slavin M, Yu L. 2011. Optimization of purification conditions of radish (*Raphanus sativus* L.) anthocyanin-rich extracts using chitosan. *LWT-Food Sci Technol* 44: 2097-2103.
- Hodgins D, Simmonds D. 1995. Sensory technology for flavor analysis. *Cereal Foods World* 40(4): 186-196.
- Dusastre V. 1999. Sniffing the world of olfaction. *Nature* 402: 351-352.
- Hong OF, Kim KH. 2009. The emission characteristics of reduced sulfur compounds in relation to food decay. *Korean J Odor Res Eng* 8: 12-19.
- Hawer WD, Ha JH, Seog HM, Nam YJ, Shin DW. 1988. Changes in the taste and flavour compounds of *kimchi* during fermentation. *Korean J Food Sci Technol* 20: 511-517.
- Lee HY. 2014. Investigation on changes of volatile components in kimchi during fermentation using targeted and non-targeted approaches. *MS Thesis*. Ewha Womans University, Seoul, Korea. p 21-23.