

## 저온 및 재래식 공정에 따른 쌀·야채류 압출성형물의 항산화 활성 비교

안상희 · 류기형

공주대학교 식품공학과

### Comparison of Antioxidant Activities of Extruded Rice with Vegetables by Cold and Conventional Extrusion

Sang-Hee An and Gi-Hyung Ryu

Department of Food Science and Technology, Kongju National University

**ABSTRACT** The study was designed to investigate the effects of cold and conventional extrusion on antioxidant properties of extruded rice with vegetables. Moisture content and screw speed were fixed at 25% and 150 rpm. Cold extrusion and conventional extrusion were adjusted at die temperature of 80°C with a CO<sub>2</sub> injection rate of 300 mL/min and 140°C without a CO<sub>2</sub> injection, respectively. Pumpkin, tomato, strawberry, and green tea powder of 10% were individually blended with rice flour. 1,1-Diphenyl-2-picrylhydrazyl radical-scavenging activity of extruded pumpkin and tomato mix by conventional extrusion was higher than that by cold extrusion. Total phenolic content in extruded pumpkin, tomato, and strawberry mix by cold extrusion was higher than that by conventional extrusion. Total flavonoid content was highest (18.82 mg/g) in extruded green tea by conventional extrusion. Total carotenoid content decreased in extruded pumpkin but increased in extruded tomato. Tomato extrudates with cold extrusion had higher lycopene content than conventional extrusion. Anthocyanin content of conventional extruded strawberry was higher than that of cold extrudates. Total chlorophyll contents decreased through the extrusion process.

**Key words:** extruded rice with vegetables, cold extrusion, conventional extrusion, antioxidant activity

## 서 론

최근 식품 산업의 발전과 식생활의 변화로 항암, 항산화 등 기능성을 가지고 있는 킬러푸드에 대한 관심이 증가하면서 식물성 식품소재를 활용하기 위한 개발과 천연물이 가지는 기능성을 식품에 접목시키는 연구가 진행되고 있다. 과일류 및 채소류 등은 phenol류, 비타민 C 및 flavonoid, anthocyan, 카로티노이드 등의 항산화 성분을 갖는 천연 식물 자원으로 알려져 있다(1).

특히 단호박은 회복기의 환자, 위장이 약한 사람, 산후 부종 제거 등에 좋은 식품으로 많이 알려져 있으며, 비타민 A, 카로티노이드류, Ca, Na, P 등의 영양소와 섬유질이 풍부한 건강식으로 소비가 증가하고 있다(2).

토마토는 전 세계적으로 널리 소비되고 있는 식물 자원으로 주성분은 수분이며 비타민 A, B 및 C와 섬유질, 칼슘, 식이섬유가 풍부하게 들어있다. 라이코펜은 카로티노이드와 함께 중요한 천연 항산화성 물질이며, 과피에 다량 함유되어 있는 펙놀 물질은 전립선암 예방에 효과적이다. 이러한

생리활성 물질들은 항암작용, 고혈압, 비만과 다이어트 등의 다양한 효능을 나타낸다(3,4).

딸기는 비타민 C, quercetin, caffeic acid, flavonol류 및 페놀화합물 등의 다양한 항산화 물질이 함유되어 있으며, 항암물질의 활성화 및 산소라디칼의 제거 등과 관련된 항산화 효과가 우수하다. 이러한 성분의 효능 때문에 과실류와 채소류 중 가장 많이 소비된다(5,6).

녹차는 폴리페놀류, 섬유질, 단백질, 탄수화물, 유리당, 지방 및 무기질 등으로 구성되어 있고 폴리페놀은 녹차 성분 중 건량의 20~35%로 가장 많이 함유되어 있으며, 대부분 catechin으로 알려진 flavonol류다. 이러한 기능성 성분들은 혈압 및 혈중 콜레스테롤 저하, 항균, 항암작용 등 항산화 효과와 다양한 생리활성이 있는 것으로 알려져 있다(7).

압출성형 공정은 온도, 압력, 전단에 의해 혼합, 분쇄, 가열, 성형, 건조와 같은 단위조작이 단시간에 가공되는 연속 공정으로 다른 열처리 가공공정과 비교하여 경제적이며 효율적인 공정이다(8). 일반적인 압출성형 공정은 100°C 이상에서 수분의 상변화를 통해 팽화가 일어나는 반면에 CO<sub>2</sub> 주입 압출성형 공정은 수분의 상변화 대신 CO<sub>2</sub>의 압력차에 의한 비체적 변화로 100°C 이하에서도 팽화가 가능하다. 또한 재래식 압출성형 공정보다 낮은 전단력으로 스크루 마모율 감소와 에너지 투입량이 낮다(9). 압출성형 독립변수인

Received 12 May 2015; Accepted 6 July 2015

Corresponding author: Gi-Hyung Ryu, Department of Food Science and Technology, Kongju National University, Chungnam 32439, Korea

E-mail: ghryu@kongju.ac.kr, Phone: +82-41-330-1484

수분 함량, 스크루 회전속도, 사출구의 구조, 스크루 배열 등을 조절하여 다양한 특성을 가지는 제품을 생산할 수 있다(10). 이러한 압출성형 공정의 특성을 이용하여 플레이크나 에너지바(bar) 제조 등이 이루어지고 있으며, 곡류 압출성형물의 물리적 특성에 관한 연구가 발표되었다(11-13).

현재까지 저장온도에 따른 야채류의 성분 변화, 야채류 첨가에 따른 쿠키 및 케이크 제조 등의 품질 특성과 생리활성 성분 분석 등에 대한 연구가 이루어지고 있으며(1,5,7,14), 온도와 수분 함량에 따른 곡류 압출성형물의 물리적 특성 비교 및 저온 압출성형 현미·야채류의 물리적 특성 연구가 보고되었다(11,13,15).

위와 같이 야채류를 이용한 성분 분석 및 수분과 온도에 따른 곡류와 야채류 압출성형물의 물리적 특성 변화에 대한 연구는 다수 발표되었으나 저온 및 재래식 압출성형 공정을 통한 야채류 압출성형물의 항산화 활성 비교에 대한 연구는 진행되지 않았다. 따라서 본 연구는 단호박, 토마토, 딸기, 녹차를 원료로 압출성형을 통하여 저온 및 재래식 압출성형에 따른 DPPH(1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl) 라디칼 소거능, 총 페놀, 총 플라보노이드, 총 카로티노이드, 라이코펜 함량, 안토시아닌 및 총 클로로필 등의 항산화 활성의 변화를 알아보았다.

## 재료 및 방법

### 재료

압출성형물 제조를 위한 쌀은 충남 아산 신통정미소에서 정미한 2013년도 혼합쌀을 9월에 도정하여 사용하였다. 단호박, 토마토, 딸기, 녹차 분말은 가루나라(Seoul, Korea)에서 구입하여 사용하였으며, 쌀과 야채류 혼합원료는 야채류 분말을 10%로 배합하였다(15). 원료의 일반성분은 Table 1에 나타내었으며, AOAC법(16)에 따라 수분 함량은 105°C 상압건조법, 조회분은 직접회화법, 조지방은 Soxhlet 추

출법, 조단백은 Ninhydrin법(17)으로 정량하였다.

### 압출성형

압출성형물의 제조에 사용된 압출성형기는 자체 제작한 실험용 쌍축 압출성형기(THK31T, Incheon Machinery Co., Incheon, Korea)를 사용하였으며 스크루 배열은 Fig. 1과 같다. 스크루 직경은 30.0 mm이며, 길이와 직경의 비(L/D ratio)는 23:1이었고, 사출구는 원형으로 직경이 3.0 mm인 것을 사용하였으며, 원료 사입량은 100 g/min으로 고정하였다. 수분 함량은 25%, 스크루 회전속도는 150 rpm으로 고정하였다. 저온 압출성형은 사출구 온도가 80°C, CO<sub>2</sub> 주입은 3.0 MPa에서 300 mL/min으로 조절하였다.

한편 재래식 압출성형은 사출구 온도 140°C로 조절하였으며 CO<sub>2</sub> 주입은 하지 않았다(15). 압출성형 공정을 거쳐 제조된 압출성형물은 열풍건조기(DS-FCPO250, Dongseo Sci. Co., Seoul, Korea)에서 50°C로 건조하여 물리적 특성 연구에 사용하였고, 가정용 분쇄기(FM-681, Hanil, Haman, Korea)로 분쇄하여 직경이 0.5 mm 이하인 체를 통과한 분말을 분석 시료로 사용하였다.

### 추출물의 제조

압출성형물은 유용 성분을 추출하기 위하여 Kim 등(18)의 방법을 수정하여 추출하였다. 시료 1 g에 70% 메탄올 20 mL를 가하고 24시간 동안 30°C의 shaking incubator에서 130 rpm으로 추출한 다음 3,000 rpm으로 20분간 원심 분리 한 후 상등액을 0.2 µm nylon filter로 여과하여 DPPH 라디칼 소거능, 총 페놀 함량 및 총 플라보노이드 함량을 측정하는 추출물로 사용하였다.

### DPPH 라디칼 소거능

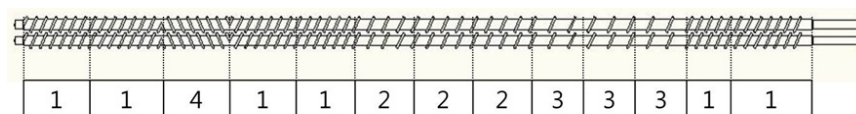
전자공여능 또는 라디칼 소거능은 DPPH를 사용하여 측정하였다. 추출물 0.2 mL에 0.1 mM DPPH를 0.8 mL 첨가

**Table 1.** Proximate compositions of rice with vegetables

Material <sup>1)</sup>	Proximate component (%)				
	Moisture content	Crude ash	Crude fat	Crude protein	Carbohydrate <sup>2)</sup>
Rice	13.50±0.16	0.70±0.14	0.31±0.01	5.52±0.10	79.97±0.13
Pumpkin mix	15.80±0.01	0.81±0.02	1.42±0.14	4.70±0.23	77.27±0.08
Tomato mix	15.66±0.08	0.61±0.30	0.92±0.33	5.65±0.29	77.16±0.07
Strawberry mix	16.16±0.01	0.70±0.21	0.67±0.16	4.63±0.45	77.84±0.65
Green tea mix	15.24±0.03	0.97±0.03	1.26±0.14	3.53±1.83	79.00±1.96

<sup>1)</sup>Material before extrusion cooking.

<sup>2)</sup>Total carbohydrate was calculated by removing moisture content, crude ash, crude fat, and crude protein.



1. 1/2 Pitch screw      3. Full pitch screw      L/D ratio 23:1  
2. 2/3 Pitch screw      4. 1/2 Reverse pitch screw      Ø : 3.0 cm

**Fig. 1.** Screw configuration for extruded rice with vegetables (Model THK 31T).

하여 30분간 실온에서 반응시킨 후 UV/VIS Spectrophotometer(Libra S12, Biochrom Ltd., Cambridge, UK)를 사용하여 520 nm에서 흡광도를 측정하였다. DPPH에 의한 radical-scavenging activity는 아래와 같은 식 (1)을 이용하여 계산하였다(18).

$$\text{Scavenging activity (\%)} = \frac{\text{Abs}_{\text{blank}} - \text{Abs}_{\text{sample}}}{\text{Abs}_{\text{blank}}} \times 100 \quad (1)$$

$\text{Abs}_{\text{blank}}$ 는 70% 메탄올을 사용하여 측정된 흡광도 값이고,  $\text{Abs}_{\text{sample}}$ 은 추출물의 흡광도 값이다.

### 총 페놀 함량

총 페놀성 화합물 함량은 Folin-Ciocalteu 비색법(19)을 수정하여 측정하였으며, tannic acid를 표준물질로 사용하여 표준곡선을 작성하였다. 즉 0.5 mL의 추출물에 10배 희석한 Folin-Ciocalteu's phenol reagent(Sigma-Aldrich Co., St. Louis, MO, USA) 1.5 mL를 첨가하여 5분간 반응시킨 다음 6%의  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  1.5 mL를 첨가하여 암소에서 90분 동안 반응시킨 후 765 nm에서 흡광도 값을 측정하였다.

### 총 플라보노이드 함량

압출성형물의 총 플라보노이드 함량은 Ko 등(20)의 방법을 수정하여 측정하였다. 추출물 0.5 mL에 증류수 3.2 mL와 5%  $\text{NaNO}_2$  0.15 mL를 가한 다음 5분 후 10%  $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  0.15 mL를 가하여 1분간 방치하고 1 M  $\text{NaOH}$  1 mL를 가한 후 흡광도 값을 510 nm에서 측정하였다. 표준물질은 quercetin을 사용하여 표준곡선을 작성하였다.

### 총 카로티노이드 함량

단호박과 토마토 압출성형물의 총 카로티노이드 함량은 Hwang 등(21)의 방법을 수정하여 측정하였다. 시료 0.5 g에 acetone 5 mL를 넣고 실온에서 40분 동안 교반한 후 Whatman No. 2 filter paper(Whatman International Ltd, Cambridge, UK)를 사용하여 여과한 다음 450 nm에서 흡광도를 측정하였다. 총 카로티노이드 함량은  $\beta$ -carotene을 이용하여 작성한 표준곡선으로부터 함량을 구하였다.

### 라이코펜 함량

라이코펜 함량은 Javanmardi와 Kubota(22)의 방법에 따라 측정하였다. 시료 1 g을 알루미늄 호일을 감싼 PTFE test tube에 넣고 lycopene 추출 용액(hexane : 0.05% butylated hydrotoluene/acetone : ethanol=1:1:1) 39 mL를 각 시험관에 첨가하여 10분 동안 교반한 후 상온에서 15분 동안 방치하였다. 상층액(헥산층)은 UV/VIS Spectrophotometer(Libra S12, Biochrom Ltd.)를 이용하여 503 nm에서 흡광도를 측정 후 아래의 식 (2)에 의하여 라이코펜 함량을 환산하였다.

$$\text{Lycopene (mg/kg)} = (x/y) \times A_{503} \times 3.12 \quad (2)$$

여기서 x는 hexane(mL)의 양을 나타내고 y는 시료의 무게(g)이며,  $A_{503}$ 은 503 nm에서의 흡광도 값이고 3.12는 정지계수를 나타낸다.

### 안토시아닌 함량

안토시아닌 함량은 Seo 등(23)의 방법을 사용하였다. 시료 1 g에 0.1% HCl이 포함된 methanol 10 mL를 가하여 3시간 동안 25°C에서 150 rpm으로 추출한 후 3,000 rpm으로 20분간 원심분리 한 상등액을 안토시아닌 분석 시료로 사용하였다. 위 추출물 1 mL에 0.025 M potassium chloride buffer(pH 1.0) 1 mL와 0.4 M sodium acetate buffer(pH 4.5) 1 mL를 각각 혼합하여 반응액의 흡광도 값을 510 nm와 700 nm에서 측정하였다. 총 안토시아닌 함량은 cyanidin-3-glucoside의 몰흡광계수( $\epsilon=26,900 \text{ M}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ )를 이용하여 아래의 식 (3)에 의해 산출하였다.

$$\text{Anthocyanin content (mg/L)} = \frac{A \times \text{MW} \times 1,000}{\epsilon \times V} \quad (3)$$

$$A \text{ (absorbance)} = (A_{510} - A_{700})_{\text{pH}1.0} - (A_{510} - A_{700})_{\text{pH}4.5}$$

$$\text{MW (molecular weight of cyanidine-3-glucoside)} = 449.2$$

$$\epsilon = 26,900 \text{ M}^{-1} \text{ cm}^{-1}$$

$$V = \text{추출물의 부피}$$

### 클로로필 함량

클로로필 함량은 Lee 등(24)과 Lim 등(25)의 방법을 수정하여 측정하였다. 시료 10 mg에 80% cold acetone 1 mL를 가하여 5분간 교반 추출 후 원심분리 한 상등액을 645 nm와 663 nm에서 흡광도를 측정하였으며, 아래의 식 (4)에 따라 클로로필 함량을 계산하였다.

$$\text{Chlorophyll a (mg/L)} = 12.72 \times \text{OD}_{663} - 2.58 \times \text{OD}_{645} \quad (4)$$

$$\text{Chlorophyll b (mg/L)} = 22.88 \times \text{OD}_{645} - 5.50 \times \text{OD}_{663}$$

$$\text{Total chlorophyll (mg/L)} = 7.22 \times \text{OD}_{663} + 20.3 \times \text{OD}_{645}$$

### 통계처리

통계분석은 SPSS 통계프로그램(Statistical Package for the Social Science, ver. 12.0, SPSS Inc., Chicago, IL, USA)을 이용하여 통계분석 하였으며, 각 실험군은 평균과 표준편차로 나타내었다. 각 군의 결과 값에 대해 유의수준  $P < 0.05$ 에서 Duncan's multiple range test를 실시하였다.

## 결과 및 고찰

### DPPH 라디칼 소거능

DPPH 라디칼 소거능은 플라보노이드류 및 기타 페놀성

물질에 대한 항산화 활성의 지표이며, 천연물의 수용성 또는 유기용매 추출물의 항산화 활성에 널리 사용되는 측정법이다(5,26). 저온 및 재래식 압출성형 공정에 따른 쌀·야채류 압출성형물의 DPPH 라디칼 소거능은 Table 2와 같다. 압출성형물의 DPPH 라디칼 소거능은 저온 녹차 압출성형물이 87.94%로 가장 높았고, 저온 딸기 압출성형물이 30.74%로 가장 낮았다. 단호박 및 토마토를 첨가한 압출성형물의 DPPH 라디칼 소거능은 저온 압출성형 공정보다 재래식 압출성형 공정에서 더 높게 측정되었으나 딸기 및 녹차 압출성형물은 저온 및 재래식 공정에 따른 유의적인 차이는 나타나지 않았다.

또한 단호박과 토마토 압출성형물은 압출성형 무처리구보다 압출성형 처리구의 DPPH 라디칼 소거능이 증가하였는데, 이는 압출성형 공정 시 발생하는 고온 및 전단력 등에 의해 생리활성 물질이 증가되었다고 판단된다. Kim 등(18)은 과채류를 열처리 하였을 때 DPPH 라디칼 소거능의 증가는 열처리로 인한 마이야르 반응이 일어나 항산화 활성을 가진 마이야르 반응 물질(MRPs)인 xylose와 lysine MRPs와 같은 새로운 화합물이 DPPH 라디칼 소거능을 나타낸다고 하였다. 생성된 다양한 MRPs 물질의 hydroxyl기가 항산화 효과에 중요한 역할을 하며, 그 밖에 fructose와 glucose 등 아미노산의 MRPs는 polyphenoloxidase를 저해하여 자유 라디칼 제거능과 관련된 것으로 보고된 바 있다(27).

### 총 페놀 함량

페놀성 화합물은 식물계에 널리 분포하는 항산화 물질로서 다양한 구조와 분자량을 가지며, polyphenolic 화합물들의 분자 내 phenolic hydroxyl기가 단백질, 효소 단백질 등과 결합하는 성질에 의해 항산화, 항암 및 항균 등의 다양한 생리활성을 나타낸다(28). 압출성형물의 총 페놀 함량은 Table 2에 나타내었다.

녹차를 첨가한 저온 압출성형물이 116.52 mg/g으로 가장 높았고, 딸기를 첨가한 저온 압출성형물이 3.62 mg/g으

로 가장 낮았다. 단호박, 토마토 및 딸기를 첨가한 압출성형물은 압출성형 후 총 페놀 함량이 증가하였으며, 저온 압출성형물보다 재래식 압출성형물에서 총 페놀 함량이 다소 높았다. 녹차 첨가 압출성형물은 다른 압출성형물에 비해 총 페놀 함량이 높게 나타났는데 이는 다른 야채류 압출성형물에 비해 녹차 자체에 함유되어 있는 페놀 함량이 높기 때문이며, 식품을 열처리하면 가공 중 식물체 속 페놀 성분 등의 천연 비효소적 항산화물질이 활성화된다고 보고된 바 있다(7,27). 압출성형 후 총 페놀 함량의 변화는 단백질과 결합된 고분자의 페놀성 화합물이 압출성형 공정으로 인한 고온고압처리에 의해 조직이 파괴되어 불용성 성분으로부터 단백질의 가수분해 등으로 인해 폴리페놀 성분이 유리되었기 때문에 총 페놀 함량이 증가된 것으로 판단된다(18).

### 총 플라보노이드 함량

총 플라보노이드는 자연계에 존재하는 페놀류의 화합물로 대부분 당과 결합된 배당체 형태로 존재하며, 노란색 또는 적자색을 띠는 색소화합물로 유기를 소거하거나 연쇄 반응을 종결시켜 항산화능을 나타낸다(26). 저온 및 재래식 압출성형 공정에 따른 쌀·야채류 압출성형물의 총 플라보노이드 함량은 Table 2에 나타내었다.

녹차를 첨가한 재래식 압출성형물이 18.82 mg/g으로 가장 높았으며, 단호박을 첨가한 재래식 압출성형물이 0.24 mg/g으로 가장 낮았다. 단호박, 토마토 및 딸기 압출성형물보다 녹차 압출성형물의 총 플라보노이드 함량이 높았는데 이는 다른 야채류에 비해 녹차 자체에 함유되어 있는 플라보노이드 성분이 많기 때문으로 사료된다. 압출성형 후 총 플라보노이드 함량이 감소한 것은 압출성형으로 인해 용출된 유효 성분이 저분자화되면서 생성된 화합물 중에 확인되지 않은 활성 성분(26)에 의하여 감소되었거나 열처리에 의해 플라보노이드 물질이 감소된 것으로 사료된다(5,29). 열처리에 의한 총 플라보노이드 함량 감소를 규명하기 위해서는 정성 분석과 같은 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

**Table 2.** Antioxidant activity of extruded rice with vegetables

Feed material	Extrusion type	DPPH radical scavenging activity (%)	Total phenolic compound (TAE mg/g)	Total flavonoid (mg/g)
Pumpkin mix	Raw <sup>1)</sup>	29.72±2.97 <sup>g2)</sup>	7.34±0.11 <sup>g</sup>	0.98±0.07 <sup>de</sup>
	Cold extrusion	40.38±0.74 <sup>f</sup>	8.85±0.42 <sup>f</sup>	0.44±0.11 <sup>ef</sup>
	Conventional extrusion	48.08±0.25 <sup>e</sup>	9.29±0.21 <sup>f</sup>	0.24±0.01 <sup>f</sup>
Tomato mix	Raw	52.45±0.25 <sup>d</sup>	10.58±0.41 <sup>c</sup>	1.19±0.19 <sup>d</sup>
	Cold extrusion	55.33±0.37 <sup>c</sup>	11.13±0.35 <sup>de</sup>	0.45±0.01 <sup>ef</sup>
	Conventional extrusion	62.15±0.37 <sup>b</sup>	11.65±0.29 <sup>d</sup>	0.55±0.03 <sup>ef</sup>
Strawberry mix	Raw	29.83±0.60 <sup>g</sup>	3.00±0.29 <sup>i</sup>	0.51±0.04 <sup>ef</sup>
	Cold extrusion	30.74±0.17 <sup>g</sup>	3.62±0.07 <sup>hi</sup>	0.47±0.04 <sup>ef</sup>
	Conventional extrusion	31.59±0.69 <sup>g</sup>	4.09±0.02 <sup>h</sup>	0.35±0.01 <sup>f</sup>
Green tea mix	Raw	87.06±0.01 <sup>a</sup>	124.66±0.10 <sup>a</sup>	23.06±0.18 <sup>a</sup>
	Cold extrusion	87.94±0.25 <sup>a</sup>	116.52±0.21 <sup>b</sup>	17.73±0.53 <sup>c</sup>
	Conventional extrusion	87.67±0.12 <sup>a</sup>	101.08±0.82 <sup>c</sup>	18.82±0.60 <sup>b</sup>

<sup>1)</sup>Material before extrusion cooking.

<sup>2)</sup>Values of different letters in the same column are significantly different ( $P<0.05$ ).

본 실험 결과 총 플라보노이드의 함량은 총 페놀 함량에 비해 미량 함유되었는데, 이는 페놀이 플라보노이드계 화합물을 포함하는 큰 범주이기 때문이며 플라보노이드계 화합물을 제외한 페놀 성분이 증가한 것으로 판단된다(30).

### 총 카로티노이드 함량

카로티노이드 계열의 색소는 항산화 활성이 뛰어난 천연 생리활성 물질로 동맥경화 억제, 심장질환 및 성인병 예방 등 다양한 효능을 나타내고 자연계에서 불안정한 구조로 존재하여 온도, 빛 및 산소 등에 의해 영향을 받으며, 추출, 분쇄 및 저장 등의 가공에 의해 산화되거나 이성질화될 수 있다(31). 단호박 및 토마토를 첨가한 압출성형물의 총 카로티노이드 함량은 Table 3과 같다.

저온 단호박 압출성형물이 36.13  $\mu\text{g/g}$ 으로 가장 높았으며 저온 토마토 압출성형물이 19.66  $\mu\text{g/g}$ 으로 가장 낮았다. 단호박을 첨가한 압출성형물은 압출성형 후 총 카로티노이드 함량이 낮아졌으나 토마토 압출성형물은 증가하였다. 카로티노이드는 불포화도가 매우 크기 때문에 가열산화 및 자동산화 등에 약하여 감소가 일어난다고 알려져 있으며, Shin 등(32)은 호박 분말의 카로티노이드 함량이 가열 및 열풍건조로 인하여 현저하게 감소가 일어났다고 보고하였다. 토마토 압출성형물의 총 카로티노이드의 증가는 압출성형 공정 시 발생하는 고온고압에 의하여 토마토 조직 구조가 파괴되어 라이코펜 함량이 증가되었기 때문으로 판단된다(33).

### 라이코펜 함량

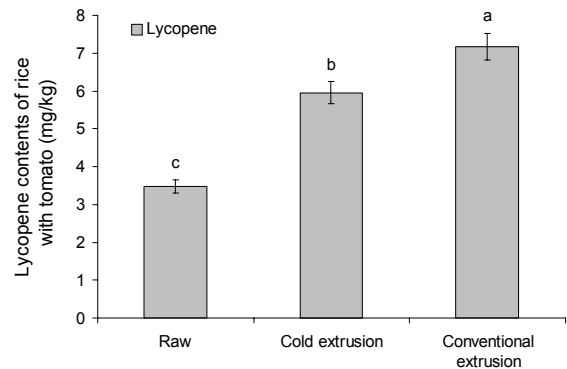
토마토에 함유되어 있는 카로티노이드 중 항산화 활성이 뛰어난 라이코펜은 체내에 흡수되면 비타민 A로 전환되는  $\beta$ -카로틴과  $\alpha$ -카로틴, 루테인 등을 함유하고 있으며, 항산화 작용을 가지는 항산화제로 알려져 있다(3). 토마토를 첨가한 저온 및 재래식 압출성형물은 압출성형 후 라이코펜 함량이 증가하였으며, 저온 압출성형물보다 재래식 압출성형물이 7.17 mg/kg으로 높았다(Fig. 2). 이는 압출성형 공정의 전단력과 고온에 의해 라이코펜과 조직 행렬 사이의 약한 표면결합이 파괴되어 추출용매에 대한 용해도가 증가되었기 때문에 압출성형물의 라이코펜 함량이 증가되었다고 판단된다(33). 토마토 라이코펜의 생리활성은 가열처리

**Table 3.** Total carotenoid contents of extruded rice with pumpkin and tomato

Feed material	Extrusion type	Total carotenoid contents ( $\mu\text{g/g}$ )
Pumpkin mix	Raw <sup>1)</sup>	132.95 $\pm$ 1.66 <sup>a2)</sup>
	Cold extrusion	36.13 $\pm$ 0.15 <sup>b</sup>
	Conventional extrusion	31.86 $\pm$ 0.64 <sup>c</sup>
Tomato mix	Raw	6.50 $\pm$ 0.04 <sup>f</sup>
	Cold extrusion	19.66 $\pm$ 0.40 <sup>e</sup>
	Conventional extrusion	23.54 $\pm$ 0.08 <sup>d</sup>

<sup>1)</sup>Material before extrusion cooking.

<sup>2)</sup>Values of different letters are significantly different ( $P<0.05$ ).



**Fig. 2.** Lycopene contents of rice with tomato. Values represent the mean of triplicate measurements of analyzed sample. Different letters (a-c) above the bars indicate statistically significant differences at  $P<0.05$ .

에 영향을 받으며, 토마토를 가공이나 가열하면 생체 이용률이 높은 *cis*형 라이코펜으로 전환되고 *cis*형 라이코펜은 온도에 따라 증가한다고 보고하였다(3,33).

### 안토시아닌 함량

딸기에 함유되어 있는 안토시아닌 화합물은 페놀화합물 중 하나로 적색, 자색 등을 나타내는 색소이며 산소라디칼 제거, 산화적 스트레스로 인한 세포 변형 억제 등 항산화 효과가 우수하다(6). 딸기 압출성형물의 안토시아닌 함량은 Table 4와 같다. 재래식 압출성형물이 0.28 mg/L로 저온 압출성형물보다 안토시아닌 함량이 높았으나 유의적인 차이는 나타나지 않았다. 압출성형 후 안토시아닌 함량은 감소하였다. Lee와 Park(34)의 비열처리구에 비해 열처리구의 안토시아닌 색소 구성 성분이 감소한 결과와 일치하였다. 가열에 의한 안토시아닌 함량의 변화는 안토시아닌 색소가 열에 민감하여 가공 시 열처리로 인한 색소의 파괴가 일어났기 때문으로 판단된다(5).

### 클로로필 함량

클로로필은 식물체에 널리 분포하는 녹색 색소로 기상 및 환경조건 등에 따라 함량이 다르며 카로티노이드와 함께 단백질 또는 지단백질과 결합한 상태로 상처 치료 효과, 세균 생육 저지, 조혈 작용 등의 생리활성을 가지며 항산화성 및 항암성이 보고되고 있다(35). 녹차 압출성형물의 클로로필 a와 b의 함량비는 거의 비슷하거나 클로로필 b의 함량이 높게 나타났다(Table 5).

**Table 4.** Anthocyanin contents of extruded rice with strawberry

Feed material	Extrusion type	Anthocyanin (mg/L)
Strawberry mix	Raw <sup>1)</sup>	1.72 $\pm$ 0.01 <sup>a2)</sup>
	Cold extrusion	0.23 $\pm$ 0.09 <sup>b</sup>
	Conventional extrusion	0.28 $\pm$ 0.07 <sup>b</sup>

<sup>1)</sup>Material before extrusion cooking.

<sup>2)</sup>Values of different letters are significantly different ( $P<0.05$ ).

**Table 5.** Chlorophyll contents of extruded rice with green tea (mg/L)

Feed material	Extrusion type	Chlorophyll a	Chlorophyll b	Total chlorophyll
Green tea mix	Raw <sup>1)</sup>	1.94±0.03 <sup>2)</sup>	1.13±0.03 <sup>a</sup>	3.07±0.06 <sup>a</sup>
	Cold extrusion	0.61±0.01 <sup>b</sup>	0.69±0.01 <sup>b</sup>	1.33±0.04 <sup>b</sup>
	Conventional extrusion	0.62±0.02 <sup>b</sup>	0.71±0.01 <sup>b</sup>	1.33±0.01 <sup>b</sup>

<sup>1)</sup>Material before extrusion cooking.

<sup>2)</sup>Values of different letters in the same column are significantly different ( $P<0.05$ ).

압출성형 후 녹차 압출성형물의 총 클로로필 함량은 감소하였으며 클로로필 a, b 및 총 클로로필은 저온 및 재래식 공정에 따른 유의적인 차이는 없었다. 열처리로 인해 클로로필 함량이 감소한 본 실험 결과는 blanching에 의한 열처리로 총 클로로필 함량이 감소한 Jung 등(36)의 연구 결과와 유사하였다. 녹차에 함유된 클로로필은 가열과정 시 클로로필 일부가 페오피딘, 페오필린 등으로 분해되어 클로로필 함량 및 비율이 달라졌다고 판단된다(37).

결론적으로 저온 및 재래식 압출성형은 쌀·야채류의 항산화 활성 변화에 영향을 미친다. 재래식 압출성형 공정은 단호박 및 토마토를 첨가한 압출성형물의 DPPH 라디칼 소거능을 증가시키며, 저온 압출성형 공정은 단호박 및 토마토 압출성형물의 페놀 함량을 증가시킨다. 저온 압출성형 공정보다 재래식에서 토마토의 라이코펜 함량이 증가하였다. 야채류의 종류에 따라 저온 및 재래식 공정의 조건을 달리하면 높은 항산화 활성을 갖는 식품 소재로 이용할 수 있으며, 압출성형 쌀·야채류는 소비자의 건강 지향적 욕구에 따른 기능성 소재로써 활용될 수 있는 가치가 있을 것으로 판단된다.

## 요 약

본 연구는 저온 및 재래식 압출성형 공정에 따른 쌀·야채류 압출성형의 항산화 활성에 대해 분석하였다. 압출성형 조건은 수분 함량 25%, 스크루 회전속도 150 rpm으로 고정하였다. 저온 압출성형 조건은 사출구 온도 80°C, CO<sub>2</sub> 주입량 300 mL/min, 재래식 압출성형은 사출구 온도 140°C, CO<sub>2</sub> 0 mL/min으로 조절하였다. 원료는 쌀 분말에 단호박, 토마토, 딸기 및 녹차 분말을 각각 10%씩 혼합하여 사용하였다. 단호박 및 토마토 첨가한 압출성형물의 DPPH 라디칼 소거능은 저온 압출성형 공정보다 재래식 압출성형 공정에서 더 높았다. 단호박, 토마토 및 딸기를 첨가한 압출성형물은 압출성형 후 총 페놀 함량이 증가하였으며, 저온 압출성형물보다 재래식 압출성형물에서 총 페놀 함량이 다소 높았다. 총 플라보노이드 함량은 녹차를 첨가한 재래식 압출성형물이 18.82 mg/g으로 가장 높았다. 압출성형 후 단호박을 첨가한 압출성형물의 총 카로티노이드 함량은 낮아졌으나 토마토 압출성형물은 증가하였다. 토마토 압출성형물의 라이코펜 함량은 압출성형 후 증가하였으며, 재래식 압출성형에서 더 높았다. 딸기 압출성형물의 안토시아닌 함량은 저온 압출성형보다 재래식 압출성형 공정에서 높았다. 압출성형 후 녹차 압출성형물의 총 클로로필 함량은 감소하였으며 클로로필

a, b 및 총 클로로필은 저온 및 재래식 공정에 따른 유의적인 차이는 없었다.

## 감사의 글

본 연구는 한국연구재단에서 시행한 이공분야기초연구사업(2014R1A1A4A03004018)의 연구비지원에 의해 수행된 과제의 일부로 이에 감사드립니다.

## REFERENCES

- Paik J, Kim S, An H, Joo N. 2013. Processing optimization and antioxidant activity of chiffon cake prepared with tomato powder. *J Korean Diet Assoc* 19: 1-13.
- Kim SR, Ha TY, Song HN, Kim YS, Park YK. 2005. Comparison of nutritional composition and antioxidative activity for Kabocha squash and pumpkin. *Korean J Food Sci Technol* 37: 171-177.
- Kim HS, Chin KB. 2011. Physico-chemical properties and antioxidant activity of pork patties containing various tomato powders of solubility. *Korean J Food Sci Ani Resour* 31: 436-441.
- Na Y, Joo N. 2012. Processing optimization and antioxidant activity of sausage prepared with tomato powder. *Korean J Food Cookery Sci* 28: 195-206.
- Gam LS. 2013. Effect of heat treatment on the antioxidant activities and quality characteristics of strawberries. *MS Thesis*. Gyeongsang National University, Jinju, Korea.
- Kim YA. 2008. Effects of strawberry powders on the quality characteristics of yellow layer cake. *Korean J Food Cookery Sci* 24: 536-541.
- Choi GN, Jeong CH, Kim JH, Kwak JH, Shin YH, Lee SC, Cho SH, Choi SG, Heo HJ. 2009. Effect of storage temperature on water activity on antioxidant activities of powdered green tea extracts. *Korean J Food Preserv* 16: 333-341.
- Lee GH. 2011. Extrusion characteristics for the snack of corn flour using twin-screw extruder. *J Agric Life Environ Sci* 23: 47-52.
- Gu BJ, Ryu GH. 2012. Effect of die geometry and carbon dioxide injection on physical properties of extruded corn flour. *Food Eng Prog* 16: 83-91.
- Lee JK, Im BS, Ryu GH. 2006. Changes in paste viscosity of extruded buckwheat by extrusion process variables. *Food Eng Prog* 10: 92-99.
- Kim CH, Tie J, Ryu GH. 2012. Effects of moisture content on physical properties of extruded cereal flours. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 14: 1603-1610.
- Tie J, Park HY, Ryu GH. 2005. Characteristics of cereals prepared by extrusion-cooking and freeze-drying. *Korean J Food Sci Technol* 37: 757-762.
- Tie J, Yu JH, Ryu GH. 2012. Effect of moisture content

- and temperature on physical properties of instant puffed rice snacks. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 41: 846-852.
14. Park ID. 2012. Effects of sweet pumpkin powder on quality characteristics of cookies. *Korean J Food Culture* 27: 89-94.
  15. Gil SK, Choi JH, Ryu GH. 2014. Change in physical properties of cold-extruded brown rice and vegetable mix at various pregelatinized brown rice content and CO<sub>2</sub> gas injection. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 43: 1716-1723.
  16. AOAC. 1990. *Official methods of analysis*. 15th ed. Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC, USA. p 8-35.
  17. Starcher B. 2001. A ninhydrin-based assay to quantitate the total protein content of tissue samples. *Anal Biochem* 292: 125-129.
  18. Kim HY, Woo KS, Hwang IG, Lee YR, Jeong HS. 2008. Effects of heat treatments on the antioxidant activities of fruits and vegetables. *Korean J Food Sci Technol* 40: 166-170.
  19. Obiang-Obounou BW, Ryu GH. 2013. The effect of feed moisture and temperature on tannin content, antioxidant and antimicrobial activities of extruded chestnuts. *Food Chem* 141: 4166-4170.
  20. Ko MR, Choi HJ, Han BK, Yoo SS, Kim HS, Choi SW, Hur NY, Kim CN, Kim BY, Baik MY. 2011. Antioxidative components and antioxidative capacity of brown and black rices. *Food Eng Prog* 15: 195-202.
  21. Hwang SJ, Kim JY, Eun JB. 2011. Physical characteristics and changes in functional components of *gochujang* with different amounts of sweet persimmon powder. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 40: 1668-1674.
  22. Javanmardi J, Kubota C. 2006. Variation of lycopene, antioxidant activity, total soluble solids and weight loss of tomato during postharvest storage. *Postharvest Biol Technol* 41: 151-155.
  23. Seo SJ, Choi Y, Lee SM, Kong S, Lee J. 2008. Antioxidant activities and antioxidant compounds of some specialty rices. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 37: 129-135.
  24. Lee LS, Park JD, Cha HS, Kim JT, Kim SH. 2011. Physicochemical properties of shade-cultivated powdered green teas. *Korean J Food Sci Technol* 43: 719-722.
  25. Lim JH, Kim BK, Park CE, Park KJ, Kim JC, Jeong JW, Jeong SW. 2008. Antioxidative and antimicrobial activities of persimmon leaf tea and green tea. *J East Asian Soc Dietary Life* 18: 797-804.
  26. Lee HJ, Oh SK, Kim DJ, Yoon MR, Chun A, Choi IS, Lee JS, Kim YG. 2013. Comparison of antioxidant activities by different extraction temperatures of some commercially available cultivars of rice bran in Korea. *Korean J Food & Nutr* 26: 1-7.
  27. Hwang IG, Woo KS, Jeong HS. 2011. Biological activity and heat, treatment, processing of foods. *Food Sci Ind* 44(3): 56-65.
  28. Shon MY, Kim SH, Nam SH, Park SK, Sung NJ. 2004. Antioxidant activity of Korean green and fermented tea extracts. *J Life Sci* 14: 920-924.
  29. Kim SH. 2007. Effect of the extruded ginseng on antioxidant activity. *J East Asian Soc Dietary Life* 17: 402-408.
  30. Kim EJ, Choi JY, Yu M, Kim MY, Lee S, Lee BH. 2012. Total polyphenols, total flavonoid contents, and antioxidant activity of Korean natural and medicinal plants. *Korean J Food Sci Technol* 44: 337-342.
  31. Kim KH, Kim YS, Koh JH, Hong MS, Yook HS. 2014. Quality characteristics of *Yanggaeng* added with tomato powder. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 43: 1042-1047.
  32. Shin DS, Yoo YM, Park B. 2013. Physicochemical characteristics of pumpkin (*Cucurbita moschata* Duch.) powder with different treatment conditions. *Korean J Food Cookery Sci* 29: 691-697.
  33. Ha DJ, Kwak EJ. 2008. Comparison of quality and sensory characteristics of tomato for tomato sauce production. *J East Asian Soc Dietary Life* 18: 965-973.
  34. Lee SY, Park JD. 2004. Effects of heating temperatures and times on anthocyanin pigments in grape juice. *Korean J Food Preserv* 11: 336-341.
  35. Lee MH, Han JS, Kozukue N. 2005. Changes of chlorophyll contents in spinach by growth periods and storage. *Korean J Food Cookery Sci* 21: 339-345.
  36. Jung JY, Lim JH, Jeong EH, Kim BS, Jeong MC. 2007. Effects of blanching conditions and salt concentrations on the quality properties of *Aster scaber*. *Korean J Food Preserv* 14: 584-590.
  37. Lee LS, Park JD, Cha HS, Lee YM, Park JW, Kim SH. 2010. Physicochemical properties of powdered green teas in Korea. *Korean J Food Sci Technol* 42: 33-38.