

사출구 온도와 CO₂ 주입이 쌀·토마토 압출성형물의 물리적 특성 및 항산화 활성에 미치는 영향

안상희 · 류기형
공주대학교 식품공학과

Effects of Die Temperature and CO₂ Injection on Physical Properties and Antioxidant Activity of Extruded Rice with Tomato Flour

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 die temperature and CO₂ injection on the physical and antioxidant properties of extruded rice with tomato flour. Moisture content and screw speed were fixed at 25% and 150 rpm, respectively. Die temperatures and CO₂ injection were adjusted to 80, 110, and 140°C and 0, and 300 mL/min, respectively. Specific mechanical energy input decreased as die temperature increased from 80 to 140°C. The expansion index increased, while bulk density decreased with CO₂ injection. All extrudates showed increased water soluble index (WSI) and water absorption index through the extrusion process. WSI increased as die temperature increased. 1,1-Diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) radical-scavenging activity and total phenolic compounds increased as die temperature increased from 80 to 140°C. Total carotenoid and lycopene contents decreased through the extrusion process. Total carotenoid and lycopene contents upon 0 mL/min CO₂ injection and 140°C die temperature were highest at 6.65 µg/g and 2.69 mg/kg, respectively. In conclusion, CO₂ injection affects expansion properties while an increased die temperature leads to increased DPPH radical scavenging activity and total phenols.

Key words: extruded rice with tomato flour, die temperature, CO₂ injection, physical properties, antioxidant activity

서 론

최근 식품 산업의 발전과 식생활의 변화로 식품의 기능성에 대한 관심이 증가하면서 식물성 식품소재를 활용하기 위한 개발과 천연물이 가지는 기능성을 식품에 접목시키는 연구가 진행되고 있다(1).

토마토는 전 세계적으로 널리 소비되고 있는 가지과 식물로 주성분은 수분이며 섬유질, 칼슘, 식이섬유가 풍부하게 들어 있다. 그 밖에 토마토에는 비타민 A, B 및 C와 같은 영양성분뿐만 아니라 필수아미노산도 존재하여 맛과 영양 및 기능성을 가진 채소이다(2,3). 토마토가 함유하고 있는 영양소 중 라이코펜은 카로티노이드와 함께 중요한 천연 항산화성 물질로 토마토의 라이코펜 함량은 수박, 구아바, 붉은 고추 등에 비해 풍부하다(2). 또한 토마토 과피에 다량 함유되어 있는 페놀 물질은 전립선암 예방에 효과적이며, 토마토의 생리활성물질들은 항암작용, 고혈압, 비만과 다이어트 등의 다양한 효능을 나타낸다(4,5).

쌀은 세계적으로 중요한 식량 자원 중 하나로 특히 우리나라에서는 중요한 주곡작물이다. 쌀에 함유되어 있는 페놀 물질, 총 플라보노이드, 비타민 등의 기능성 성분은 항산화 활성을 갖는다(6). 최근 들어 쌀의 기능성 성분에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있으나 국내 생산량의 약 5% 정도만이 가공용으로 소비되고 있다(7).

압출성형공정은 온도, 압력, 전단에 의해 혼합, 분쇄, 가열, 성형, 건조와 같은 단위조작이 단시간에 가공되는 연속공정으로, 다른 열처리공정과 비교하여 경제적이며 효율적인 공정이다(8). 일반적인 압출성형공정은 100°C 이상에서 수분의 상변화를 통해 팽화가 일어나는 반면에 CO₂ 주입 압출성형공정은 CO₂를 이용하여 압력차에 의한 비체적 변화로 100°C 이하에서도 팽화가 가능하다. 또한 재래식 압출성형공정보다 낮은 전단력으로 스크루 마모율 감소와 에너지 투입량이 낮다(9). 압출성형 독립변수인 수분 함량, 스크루 회전속도, 사출구의 구조, 스크루 배열 등을 조절하여 다양한 특성을 가지는 제품을 생산할 수 있다(10). 이러한 압출성형공정의 특성을 이용하여 후레이크나 에너지바(bar) 제조 등이 이루어지고 있으며, 곡류 압출성형물의 물리적 특성에 관한 연구가 발표되었다(11-13).

현재까지 토마토 분말을 첨가한 식품의 품질 특성 및 생리

활성 성분 분석에 대한 연구가 이루어지고 있으며, 토마토 분말 첨가 시 케이크의 전반적 기호도에 영향을 미치는 결과가 보고되었다(1,3). 온도와 수분 함량에 따른 곡류 압출성형물의 물리적 특성 비교 및 저온 압출성형 현미·야채류의 물리적 특성 연구가 보고되었다(11,13,14).

위와 같이 토마토를 이용한 성분 분석 및 수분과 온도에 따른 곡류와 야채류 압출성형물의 물리적 특성 변화에 대한 연구는 다수 발표되었으나, 쌀과 토마토를 이용하여 80°C 이상의 사출구 온도와 CO₂ 주입 압출성형물의 물리 및 항산화 활성에 대한 연구는 진행되지 않았다. 따라서 본 연구는 압출성형 쌀·토마토 팽화스낵 및 제과, 제빵, 면류 등과 같은 식품의 중간소재로 활용할 수 있는 가능성을 제시하기 위한 방안으로 쌀과 토마토를 원료로 압출성형을 통하여 사출구 온도 및 CO₂ 주입에 따른 팽화 특성, 수분용해지수 및 수분 흡착지수, 색도 등의 물리적 특성과 DPPH 라디칼 소거능, 총 페놀, 총 플라보노이드, 총 카로티노이드 및 라이코펜 함량 등의 항산화 활성의 변화를 알아보았다.

재료 및 방법

재료

본 연구에 사용된 쌀은 충남 아산 신통정미소에서 정미한 2013년도 혼합쌀을 9월에 도정하여 사용하였다. 토마토 분말은 가루나라(Seoul, Korea)에서 구입하여 사용하였다. 쌀과 토마토 혼합원료는 토마토 분말을 10%로 배합하여 사용하였으며(14), 원료의 일반성분은 Table 1에 나타내었다.

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 rpm으

로 고정하고 사출구 온도는 80, 110, 140°C, CO₂ 주입은 3.0 MPa에서 0, 300 mL/min으로 각각 조절하였다(14). 압출성형공정을 거쳐 제조된 압출성형물은 열풍건조기(DS-FCPO 250, 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.

비기계적 에너지

비기계적 에너지 투입량(specific mechanical energy input)은 원료가 투입되어 압출성형기를 통과할 때 원료 단위 질량당 소비된 전기에너지(electric energy)로 나타내었다. 즉 원료 투입 시 전력(electric power)에서 모터 공회전 시의 전력의 차와 생산량과의 비로부터 실제 원료에 투입된 전력을 구하였다. 비기계적 에너지 투입량의 계산식은 식 (1)과 같다(11).

$$SME \text{ input} = \frac{(E - E_0)}{P_R} \quad (1)$$

E: Electric power when input to material (kJ/s)

E₀: Electric power when idling (kJ/s)

P_R: Production rate (kg/s)

직경팽화율 및 비길이

직경팽화율은 캘리퍼스(CD-15C, Mitutoyo Co., Tokyo, Japan)로 10회 측정하여 사출구의 직경과 압출성형물 직경비의 평균값으로 산출하였고, 비길이는 일정한 길이로 절단한 압출성형물의 단위 무게당 길이의 비로 10회 측정하여 평균값으로 계산하였다(11,14).

체적밀도

압출성형물의 체적밀도는 차조를 이용하여 종자치환법으로 총 10회 반복하여 평균값을 산출하였다. 즉 125 mL 계량컵을 사용하여 차조를 일정한 높이에서 떨어뜨려 가득 채우고 눈금자로 평평하게 한 다음 질량을 측정하여 차조 부피의 평균값을 구하였다. 위의 방법과 동일하게 압출성형물과 차

Table 1. Proximate compositions of rice with tomato flour

Material ¹⁾	Proximate component (%)				
	Moisture content	Crude ash	Crude fat	Crude protein	Carbohydrate ²⁾
Rice	13.50±0.16	0.70±0.14	0.31±0.01	5.52±0.10	79.97±0.13
Tomato mix	13.34±0.04	0.63±0.53	1.63±0.08	6.37±0.39	78.04±0.44

¹⁾Material before extrusion cooking.

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

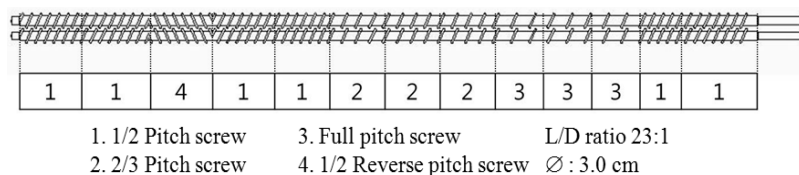


Fig. 1. Screw configuration for extruded rice with tomato flour (Model THK 31T).

조를 포함한 부피를 측정하여 압출성형물의 체적밀도를 식 (2)를 이용하여 계산한 후 평균값을 산출하였다(13).

$$\rho_e = \frac{M}{M + M_0 - M_1} \times \rho_m \quad (2)$$

ρ_e : Bulk density of extrudate (g/cm^3)

ρ_m : Bulk density of millet (g/cm^3)

M: Mass of extrudate (g)

M_0 : Mass of millet in cup (g)

M_1 : Mass of extrudate and millet in cup (g)

수분용해지수 및 수분흡착지수

압출성형물의 수용성 성질을 분석하기 위해 AACC 방법 (15)을 사용하여 수분용해지수(water solubility index, WSI)와 수분흡착지수(water absorption index, WAI)를 측정하였다. 수분용해지수는 시료 1.5 g에 증류수 30 mL를 가하여 30°C의 항온수조(BF-45SB, Biofree Co., Seoul, Korea)에서 30분간 진탕 교반한 후 원심분리기(H-1003-3, Hanil Science Industrial Co., Gangneung, Korea)에서 3,000 rpm으로 20분간 원심분리 하였다. 상등액을 알루미늄 접시에 부은 후 105°C의 열풍건조기(HB-502MP, Han Beak Co., Bucheon, Korea)에서 2시간 동안 건조하였다. 건조된 시료를 데시케이터에 담아 30분간 방냉 후 고형분의 무게를 측정하여 침전물의 WSI로 하였으며, WAI는 침전물의 무게를 측정하여 각각 식 (3)과 식 (4)를 사용하여 계산하였다.

$$\text{WSI} (\%) = (\text{Dry solid wt. recovered by evaporating the supernatant} / \text{Dry sample wt.}) \times 100 \quad (3)$$

$$\text{WAI} (\text{g/g}) = (\text{Hydrated sample wt.} - \text{Dry sample wt.}) / \text{Dry sample wt.} \quad (4)$$

색도

색도는 색차계(Chroma Meter CR-300, Minolta Co., Ltd., Osaka, Japan)를 이용하여 명도(lightness, L), 적색도(redness, a), 황색도(yellowness, b) 값을 3회 측정된 평균값으로 나타내었다. 표준 색판의 값은 $L=94.88$, $a=0.65$, $b=1.48$ 이었다. L 값은 100(white)에서 0(black), a 값은 +60(red)에서 -60(green), b 값은 +60(yellow)에서 -60(blue)이며, 색도차(ΔE)는 식 (5)를 이용하여 구하였다.

$$\Delta E = \sqrt{(L_0 - L)^2 + (a_0 - a)^2 + (b_0 - b)^2} \quad (5)$$

ΔE : Color difference

L_0 and L: Lightness of raw material and extruded sample, respectively

a_0 and a: Redness of raw material and extruded sample, respectively

b_0 and b: Yellow of raw material and extruded sample, respectively

추출물의 제조

압출성형물은 유용성분을 추출하기 위하여 Kim 등(16)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 원심분리 한 후 상등액을 0.2 μm nylon filter로 여과하여 추출물로 사용하였다.

DPPH 라디칼 소거능

전자공여능 또는 라디칼 소거능은 DPPH(1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl)를 사용하여 측정하였다. 추출물 0.2 mL에 0.1 mM DPPH를 0.8 mL 첨가하여 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 (6)을 이용하여 계산하였다(16).

$$\text{Scavenging activity} (\%) = \frac{\text{Abs}_{\text{blank}} - \text{Abs}_{\text{sample}}}{\text{Abs}_{\text{blank}}} \times 100 \quad (6)$$

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

총 페놀 함량

총 페놀성 화합물 함량은 Folin-Ciocalteu 비색법(17)을 수정하여 측정하였으며, tannin acid를 표준물질로 사용하여 검량선을 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 Na_2CO_3 1.5 mL를 첨가하여 암소에서 90분 동안 반응시킨 후 765 nm에서 흡광도 값을 측정하였다.

총 플라보노이드 함량

압출성형물의 총 플라보노이드 함량은 Ko 등(6)의 방법을 수정하여 측정하였다. 추출물 0.5 mL에 증류수 3.2 mL와 5% 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 NaOH 1 mL를 가한 후 흡광도 값을 510 nm에서 측정하였다. 표준물질은 quercetin을 사용하여 검량선을 작성하였다.

총 카로티노이드 함량

압출성형물의 총 카로티노이드 함량은 Hwang 등(18)의 방법을 수정하여 측정하였다. 시료 0.5 g에 acetone 5 mL를 넣고 실온에서 40분 동안 교반한 후 Whatman No. 2 filter paper(Whatman Inc., Florham Park, NJ, USA)를 사용하여 여과한 다음 450 nm에서 흡광도를 측정하였다. 총 카로티노이드 함량은 β -carotene을 이용하여 작성한 표준곡선으로부터 함량을 구하였다.

라이코펜 함량

라이코펜 함량은 Javanmardi와 Kubota(19)의 방법에 따라 측정하였다. 시료 1 g을 알루미늄 호일을 감싼 PTFE test tube에 넣고 라이코펜 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 Spectrophotometer를 이용하여 503 nm에서 흡광도를 측정한 후 아래의 식 (7)에 의하여 라이코펜 함량을 환산하였다.

$$\text{Lycopene (mg/kg)} = (x/y) \times A_{503} \times 3.12 \quad (7)$$

여기서 x는 hexane(mL)의 양을 나타내고 y는 시료의 무게(g)이며, A₅₀₃은 503 nm에서의 흡광도 값이고 3.12는 정지계수를 나타낸다.

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

비기계적 에너지

압출성형공정에서 기계적 에너지 투입량은 중요한 시스템변수로 전분의 호화, 전분사슬의 절단과 반죽의 체류시간에 영향을 미친다. 재래식 쌍축 압출성형기의 기계적 에너지와 열에너지 투입량의 비는 4:1로 기계적 에너지 투입량은 압출성형물의 물리적 특성에 큰 영향을 미친다(20). 압출성형물의 기계적 에너지 투입량은 토마토 분말을 첨가하지 않았을 때 사출구 온도 80°C, CO₂ 주입량 0 mL/min에서 668.52 kJ/kg으로 가장 높은 값을 나타내었으며, 사출구 온도 140°C, CO₂ 주입량 300 mL/min에서 182.72 kJ/

kg으로 가장 낮은 값을 나타내었다(Table 2). 사출구 온도가 증가할수록 기계적 에너지 투입량이 모두 감소하였다. 이는 Gu와 Ryu(9)가 사출구 구조와 CO₂ 주입에 따라 옥수수를 압출성형 하였을 때 사출구의 온도가 110°C일 때 95°C보다 기계적 에너지 투입량이 감소하였다는 연구 결과와 일치하였다. Gil과 Ryu(20)는 현미와 야채를 이용하여 압출성형 하였을 때 사출구 온도가 증가하면 내부 반죽의 점도가 감소하여 흐름저항이 감소하기 때문에 기계적 에너지 투입량이 감소한다고 보고하였다.

팽화 특성

일반적인 압출성형에서 팽화 특성인 직경팽화율, 비길이, 체적밀도는 조직감, 제품의 품질 및 소비자 기호성에 영향을 미치는 중요한 인자이다(21). 사출구 온도와 CO₂ 주입에 따른 쌀·토마토 압출성형물의 팽화 특성을 Table 2에 나타내었다. 직경팽화율은 토마토 분말을 첨가했을 때 사출구 온도 140°C, CO₂ 주입량 300 mL/min에서 3.31로 가장 높았으며 사출구 온도 80°C, CO₂ 주입량 0 mL/min일 때 1.54로 가장 낮았다. 또한 사출구의 온도가 증가할수록 직경팽화율도 증가하였으며, CO₂ 주입량이 0 mL/min에서 300 mL/min으로 증가할수록 압출성형물의 직경팽화율은 증가하였다. 본 연구 결과는 옥수수 압출성형물의 직경팽화율이 사출구 온도와 CO₂ 주입량이 증가할수록 증가한 Gu와 Ryu(9)의 연구 결과와 일치하였다. Ryu 등(22)은 100°C 이상에서 물의 상변화에 의해 호화된 반죽은 팽화가 일어나며, CO₂를 주입할 경우 압력차가 기공형성제로 작용하여 발생하는 상변화에 의한 비체적 변화에 의해 팽화가 일어난다고 보고하였다.

비길이는 사출구 온도가 증가함에 따라 압출성형물의 비길어도 증가하는 경향을 보였다. 토마토 분말을 첨가하였을 때 사출구 온도 140°C, CO₂ 0 mL/min에서 58.28 cm/g으로 비길이가 가장 높았으며, 토마토 분말을 첨가하지 않았을 때 사출구 온도 80°C, CO₂ 300 mL/min에서 30.32 cm/g으로

Table 2. Specific mechanical energy (SME) and expansion properties of extruded rice with tomato flour

Feed material	Die temp. (°C)	CO ₂ gas injection (mL/min)	SME input (kJ/kg)	Expansion index	Specific length (cm/g)	Bulk density (g/cm ³)
Rice	80	0	668.52±0.24 ^{a1)}	1.80±0.04 ^f	34.35±0.75 ^{gh}	0.81±0.07 ^b
		300	614.27±4.18 ^b	2.06±0.03 ^e	30.32±0.44 ⁱ	0.89±0.09 ^b
	110	0	404.75±2.99 ^c	2.69±0.10 ^d	35.54±0.92 ^f	0.52±0.05 ^{de}
		300	399.26±3.61 ^c	2.72±0.14 ^d	35.33±0.73 ^{fg}	0.58±0.09 ^d
	140	0	176.47±0.75 ^j	2.89±0.05 ^c	34.59±1.10 ^{fgh}	0.49±0.04 ^e
		300	182.72±0.92 ⁱ	3.03±0.06 ^b	33.86±1.08 ^h	0.46±0.05 ^e
Tomato mix	80	0	339.75±3.22 ^f	1.54±0.01 ^g	45.63±0.55 ^e	1.40±0.19 ^a
		300	465.20±0.35 ^c	1.80±0.04 ^f	45.38±0.59 ^e	0.76±0.08 ^c
	110	0	312.60±3.80 ^g	2.78±0.03 ^d	51.27±0.67 ^d	0.35±0.02 ^f
		300	413.33±3.56 ^d	2.88±0.07 ^c	54.39±0.75 ^b	0.29±0.02 ^f
	140	0	182.79±0.14 ⁱ	3.05±0.10 ^b	58.28±1.17 ^a	0.33±0.02 ^f
		300	198.20±0.26 ^h	3.31±0.18 ^a	53.19±0.83 ^c	0.30±0.01 ^f

¹⁾Values with different letters in the same column indicate significant differences ($P < 0.05$).

Table 3. Water solubility index and water absorption index of extruded rice with tomato flours

Feed material	Die temp. (°C)	CO ₂ gas injection (mL/min)	WSI ¹⁾ (%)	WAI ²⁾ (g/g)		
Rice	80	Raw ³⁾		2.31±0.12 ^{d)}	2.68±0.01 ^e	
		0	21.50±0.15 ^{fg}	4.73±0.05 ^c		
	110	300	21.79±0.05 ^{fg}	4.77±0.04 ^c		
		0	28.36±0.03 ^c	5.79±0.07 ^b		
	140	300	24.65±0.24 ^{de}	5.52±0.04 ^b		
		0	42.61±1.66 ^a	4.69±0.04 ^c		
	Tomato mix	80	Raw		7.88±0.14 ⁱ	2.87±0.01 ^e
			0	18.40±0.42 ^h	4.10±0.05 ^d	
110		300	19.12±0.20 ^{gh}	4.12±0.01 ^d		
		0	22.96±0.12 ^{ef}	5.71±0.19 ^b		
140		300	23.66±0.30 ^{ef}	5.47±0.12 ^b		
		0	27.64±3.54 ^c	6.22±0.27 ^a		
		300	27.14±0.70 ^{cd}	6.46±0.39 ^a		

¹⁾Water soluble index. ²⁾Water absorption index. ³⁾Material before extrusion cooking.

⁴⁾Values with different letters in the same column indicate significant differences ($P<0.05$).

로 가장 낮게 나타났다. Table 2와 같이 직경팽화율이 증가하면 비길어도 증가하는 경향을 나타내었는데, 이는 CO₂ 주입에 따른 옥수수 분말의 압출성형공정에서 직경팽화율의 증가와 함께 비길어도 증가했다고 보고한 Ryu와 Mulvaney (23)의 연구 결과와 일치하였다.

체적밀도는 압출성형물의 조직감과 밀접한 관계가 있으며, 체적밀도가 감소할수록 견고성과 파괴력은 감소하는 경향이 있다(22). 압출성형물의 체적밀도는 토마토를 첨가하였을 때 사출구 온도 80°C, CO₂ 0 mL/min에서 1.40 g/cm³로 가장 높았으며, 사출구 온도 110°C, CO₂ 300 mL/min에서 0.29 g/cm³로 가장 낮았다(Table 2). Gu와 Ryu(9)는 CO₂ 주입량이 증가할수록 체적밀도는 감소하였다고 보고하였으며, Gil 등(14)의 저온 압출성형공정에서 현미, 야채류 압출성형물의 체적밀도가 CO₂ 주입에 따라 전체적으로 감소한 본 실험 결과와 일치하였다. 이는 CO₂에 의해 기공이 형성되면서 밀도가 감소한 것으로 판단된다(9). 직경팽화율이 증가하면 체적밀도는 감소하는 연관성을 나타내었는데 이는 Gil 등(14)의 보고와 일치하였다. 또한 사출구 온도가 증가함에 따라 체적밀도가 감소하였는데 배럴온도가 증가함에 따라 삼중질 압출성형물의 밀도가 감소한 Gu 등(21)의 보고와 유사하였으며, 이는 전분의 호화도와 과열증기 함량의 증가로 압출성형물의 밀도가 감소한 것으로 판단된다.

수분용해지수와 수분흡착지수

수분용해지수(WSI) 및 수분흡착지수(WAI)는 압출성형공정과 같은 팽화제품 특성을 규명하는 데 많이 사용되는 항목으로 호화도 및 팽화율에 영향을 받으며 스펙 제품에서 이들의 수치가 높을수록 전분사슬의 절단 및 다공성 조직의 형성으로 조직감이 향상되어 좋은 품질로 인정된다(13,24). 사출구 온도와 CO₂ 주입량에 따른 쌀·토마토 압출성형물의 수분용해지수와 수분흡착지수는 Table 3에 나타내었다.

압출성형 처리구의 WSI와 WAI는 무처리구에 비해 높았다. 압출성형물의 WSI는 토마토 분말을 첨가하지 않았을 때 사출구 온도 140°C, CO₂ 0 mL/min에서 42.61%로 가장 높았으며, 사출구 온도가 증가함에 따라 압출성형물의 WSI도 증가하였다. 이는 압출성형공정을 거치면서 가해지는 열과 수분에 의한 부분적인 전분의 호화와 스크루 회전 및 마찰열에 의한 전분사슬의 절단과 함께 아밀로오스 함량이 증가하여 압출성형물의 가용화율이 증가되었기 때문이다(12). 토마토 분말을 첨가한 압출성형물은 토마토 분말을 첨가하지 않은 압출성형물에 비해 WSI가 낮게 나타났다. 본 연구 결과는 삼중질을 첨가한 압출성형물이 삼중질 미첨가 압출성형물보다 WSI가 낮은 경향이 나타난 Gu 등(21)의 결과와 일치하였으며, 토마토 분말의 첨가에 따른 전분 함량의 감소와 섬유질 함량의 증가로 비기계적 에너지 및 점도의 감소가 층밀림과 압력의 영향을 감소시켰기 때문이라고 보고하였다.

WAI는 전분과 단백질 사이의 수화를 나타내는 지표로 압출성형 처리구가 무처리구의 WAI보다 높았다는 Gil과 Ryu (20)의 연구 결과와 일치하였으며, WAI가 증가한 요인은 전분의 호화와 함께 팽화에 의해 다공성 조직으로 변화되었기 때문이라고 보고한 바 있다(13).

색도

사출구 온도와 CO₂ 주입량에 따른 쌀·토마토 압출성형물의 색도를 Table 4에 나타내었다. 명도(L)는 토마토 분말을 첨가하지 않고 사출구 온도 80°C, CO₂ 0 mL/min에서 압출성형 하였을 때 85.71로 가장 높았고, 사출구 온도 140°C, CO₂ 0 mL/min일 때 토마토 분말을 첨가한 압출성형 조건에서 67.85로 가장 낮았다. 모든 조건에서 사출구 온도의 증가와 함께 명도가 감소하였으며, 동일한 압출성형 조건에서 토마토 분말 처리구의 명도는 토마토 분말 무처리구에 비해

Table 4. Change in color value of extruded rice with tomato flour

Feed material	Die temp. (°C)	CO ₂ gas injection (mL/min)	Lightness (L)	Redness (a)	Yellowness (b)	Color difference
Rice	Raw ¹⁾		91.47±0.08 ^{a2)}	-0.59±0.03 ^e	3.62±0.02 ^g	—
	80	0	85.71±0.65 ^b	-0.97±0.02 ^f	6.97±0.13 ^f	6.85±0.59
		300	85.29±0.36 ^{bc}	-0.92±0.03 ^f	7.48±0.32 ^{ef}	7.44±0.47
	110	0	85.46±0.23 ^b	-0.97±0.06 ^f	7.70±0.22 ^e	7.43±0.32
		300	85.67±0.06 ^b	-0.88±0.01 ^f	7.54±0.04 ^{ef}	7.15±0.03
	140	0	85.23±0.13 ^{bc}	-0.92±0.03 ^f	8.03±0.09 ^e	7.80±0.15
		300	84.87±0.41 ^c	-0.81±0.07 ^{ef}	8.13±0.08 ^e	8.12±0.32
	Tomato mix	Raw		83.44±0.29 ^d	3.45±0.31 ^d	9.46±0.29 ^d
80		0	70.58±0.40 ^e	9.80±0.16 ^b	39.15±0.57 ^b	32.98±0.59
		300	70.57±0.34 ^e	9.86±0.30 ^b	39.85±1.00 ^a	33.63±0.84
110		0	70.23±0.20 ^e	9.41±0.16 ^c	37.32±0.54 ^c	31.40±0.44
		300	70.27±0.25 ^e	9.82±0.13 ^b	39.08±0.45 ^b	33.04±0.53
140		0	67.85±0.30 ^f	11.03±0.07 ^a	38.87±0.27 ^b	34.15±0.19
		300	68.35±0.06 ^f	11.04±0.08 ^a	38.70±0.19 ^b	33.77±0.16

¹⁾Material before extrusion cooking.

²⁾Values with different letters in the same column indicate significant differences ($P<0.05$).

감소하였다.

적색도(a)는 토마토 분말 무처리구 5% 수준에서 유의적인 차이가 없었으며, 토마토 분말 처리구에서 사출구 온도 140°C, CO₂ 300 mL/min일 때 11.04로 가장 높았다. 사출구 온도의 증가와 CO₂ 주입량에 따른 경향성 있는 변화는 나타나지 않았다.

황색도(b)는 원료보다 압출성형물이 증가하였고, 토마토 분말 무처리구에서 사출구 온도의 증가와 함께 증가하였다. 사출구 온도 80°C, CO₂ 300 mL/min에서 토마토 분말을 첨가하였을 때 39.85로 가장 높았다. 수분 함량과 배럴온도에 따른 압출성형물의 특성 변화를 분석한 Han 등(25)의 보고와 같이 온도가 증가할수록 황색도보다 적색도가 영향을 많이 받았다는 결과가 본 실험 결과와 일치하였다.

총 색도차는 토마토 분말 무처리구에서 사출구 온도가 증가함에 따라 증가하였으며, 토마토 분말 처리구에서 사출구 온도 140°C, CO₂ 0 mL/min에서 34.15로 가장 높았다. Kim 등(11)의 배럴온도가 높아질수록 갈변 반응이 증가하여 색도 변화가 크다는 연구 결과와 일치하였고, 팽화스낵 제조과정 중 유리 아미노기가 환원당과 결합하여 마이야르 반응에 의해 전분이 갈색으로 변하기 때문으로 판단되며 갈변반응은 일반적으로 온도가 높을수록 쉽게 일어나는 것으로 알려져 있다(13).

또한 토마토 분말 첨가에 의한 색도 변화는 토마토 분말을 양갱에 첨가하였을 때 토마토 분말 첨가량이 증가할수록 유의적으로 증가하는 경향을 나타낸 Kim 등(5)의 연구 결과와 일치하였으며, 열에 의해 토마토에 함유되어 있는 라이코펜과 β-카로틴 함량의 변화와 올리고당 및 아미노산 등에 의한 갈변반응이 복합적으로 색도 변화에 영향을 미친 것으로 사료된다(3).

DPPH 라디칼 소거능

DPPH 라디칼 소거능은 천연물의 수용성 또는 유기용매 추출물의 항산화 활성에 널리 사용되는 측정법이다(21). 사출구 온도와 CO₂ 주입에 따른 쌀·토마토 압출성형물의 DPPH 라디칼 소거능은 Fig. 2와 같다. 토마토 분말을 첨가하였을 때 사출구 온도 140°C, CO₂ 300 mL/min에서 59.41%로 가장 높았다. 압출성형물의 DPPH 라디칼 소거능은 CO₂ 주입량에 유의적으로 영향을 받지 않았으나 압출성형 무처리구에 비해 증가하였으며, 사출구 온도가 높을수록 DPPH에 의한 라디칼 소거능이 증가하였다. 이는 배럴온도 110°C보다 고온인 130°C에서 압출성형한 삼중실이 DPPH 라디칼 소거능 측정 결과가 높았다는 Gu 등(21)의 결과와 일치하였다. Kim 등(16)은 과채류를 열처리 하였을 때 DPPH 라디칼 소거능의 증가는 열처리로 인한 마이야르 반응에서 항산화 활성을 가진 마이야르 반응 물질인 새로운 화합물이 생성되었기 때문이라고 보고하였다. 또한 토마토

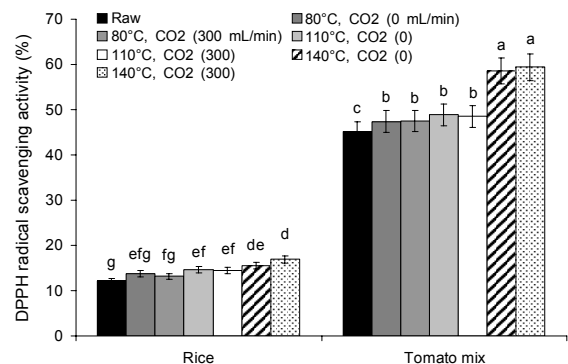


Fig. 2. DPPH radical scavenging activity of extruded rice with tomato flour. Values represent the mean of triplicate measurements of analyzed sample. Different letters above the bars indicate statistically significant differences at $P<0.05$.

분말 무처리구보다 토마토 분말 처리구의 DPPH 라디칼 소거능이 높게 나타났는데, Kim과 Chun(26)은 토마토 분말을 첨가한 설기떡의 DPPH 라디칼 소거능이 높은 것은 토마토의 라이코펜, β -카로틴 및 클로로필 등의 색소와 생리활성 물질 때문이라고 보고하였다.

총 페놀 함량

페놀성 화합물은 항산화물질로서 다양한 구조와 분자량을 가지며, polyphenolic 화합물들의 분자 내 phenolic hydroxyl기가 단백질 등과 결합하는 성질에 의해 항산화, 항암 및 항균 등의 다양한 생리활성을 나타낸다(27). 압출성형물의 총 페놀 함량은 Table 5에 나타내었다. 사출구 온도 140°C, CO₂ 0 mL/min에서 토마토 분말을 첨가하여 압출성형하였을 때 16.11 mg/g으로 가장 높았으며, 토마토 분말을 첨가하지 않은 쌀 압출성형물의 총 페놀 함량은 사출구 온도 140°C, CO₂ 300 mL/min에서 2.11 mg/g으로 가장 낮았다. 페놀성 화합물이 쌀에 함유되어 있는 양은 소량 함유되어 있으나(28) 압출성형 후 사출구 온도에 따라 증가하였다.

총 페놀 함량은 모든 조건에서 압출성형 처리구가 무처리구보다 높았으며, CO₂ 주입량에 유의적으로 영향을 받지 않았으나 사출구 온도가 높아짐에 따라 총 페놀 함량도 증가하였다. 이는 Kim 등(16)의 110°C보다 고온인 140°C에서 열처리한 과채류의 총 페놀 함량이 높게 나타난 결과와 일치하며, 식물체의 항산화 물질들은 불용성 polymer와 함께 공유결합 형태로 존재하는데 열처리에 의해 고분자의 페놀성 화합물의 조식이 파괴되어 불용성 성분으로부터 폴리페놀 성분이 유리되기 때문으로 판단된다(29). 또한 Na와 Joo(4)가 보고한 토마토 분말을 첨가한 소시지의 총 페놀 함량이 토마토 분말 자체에 함유된 페놀화합물로 인해 토마토 분말이 증가할수록 총 페놀 함량이 증가한 연구 결과는 토마토

분말 처리구가 무처리구보다 총 페놀 함량이 높게 나타난 본 연구 결과와 일치하였다.

총 플라보노이드 함량

총 플라보노이드는 자연계에 존재하는 페놀류의 화합물로 대부분 당과 결합된 배당체 형태로 존재하며, 노란색 또는 적자색을 띠는 색소화합물이다(27). 사출구 온도와 CO₂ 주입에 따른 쌀·토마토 압출성형물의 총 플라보노이드 함량은 Table 5에 나타내었다. 토마토 분말을 첨가하였을 때 사출구 온도 140°C, CO₂ 0 mL/min에서 1.21 mg/g으로 가장 높았으며, 토마토 분말을 첨가하지 않았을 때 사출구 온도 80°C, CO₂ 0 mL/min에서 0.05 mg/g으로 가장 낮았다. 압출성형물은 토마토 처리구와 무처리구에서 모두 사출구 온도 80°C보다 고온인 140°C에서 총 플라보노이드 함량이 높게 나타났다. 이는 열처리 온도가 증가할수록 과채류의 총 플라보노이드 함량이 증가하였다는 Kim 등(16)의 보고와 유사하였다. 모든 조건에서 압출성형 처리구는 무처리구보다 총 플라보노이드 함량이 낮았는데, 이는 압출성형으로 인해 용출된 유효 성분이 저분자화되면서 생성된 화합물 중에 확인되지 않은 활성 성분(27)에 의하여 감소한 것으로 사료된다(30). 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(27,31).

총 카로티노이드 함량

토마토에 함유되어 있는 카로티노이드는 항산화 활성이 뛰어난 천연 생리활성물질로 동맥경화 억제, 심장질환 및 성인병 예방 등 다양한 효능을 나타낸다(5). 압출성형물은

Table 5. Antioxidant activity of extruded rice with tomato flour

Feed material	Die temp. (°C)	CO ₂ gas injection (mL/min)	Total phenol (mg/g)	Total flavonoid (mg/g)	Total carotene (µg/g)	Lycopene (mg/kg)	
Rice	Raw ¹⁾		1.49±0.02 ^{g2)}	0.44±0.04 ^e	0.49±0.12 ^{ef}	0.14±0.07 ^g	
	80	0	1.67±0.01 ^{fg}	0.05±0.01 ^h	0.23±0.01 ^g	0.05±0.01 ^h	
		300	1.57±0.35 ^g	0.15±0.01 ^{gh}	0.27±0.01 ^g	0.02±0.03 ^h	
	110	0	1.86±0.02 ^{fg}	0.10±0.01 ^{gh}	0.36±0.04 ^{fg}	0.02±0.03 ^h	
		300	1.81±0.05 ^{fg}	0.07±0.03 ^{gh}	0.27±0.01 ^g	0.04±0.06 ^h	
	140	0	1.89±0.04 ^{fg}	0.17±0.03 ^g	0.33±0.01 ^{fg}	0.04±0.01 ^h	
		300	2.11±0.01 ^f	0.27±0.11 ^f	0.59±0.04 ^c	0.01±0.01 ^h	
	Tomato mix	Raw		11.86±0.17 ^c	1.44±0.07 ^a	7.38±0.16 ^a	3.90±0.01 ^a
		80	0	12.57±0.59 ^d	1.08±0.01 ^c	3.83±0.12 ^c	1.79±0.01 ^d
			300	13.11±0.01 ^c	1.03±0.04 ^c	3.31±0.12 ^d	1.85±0.01 ^d
		110	0	14.30±0.09 ^b	1.07±0.07 ^c	3.89±0.04 ^c	1.33±0.10 ^f
			300	14.34±0.19 ^b	0.94±0.04 ^d	3.85±0.08 ^c	1.55±0.03 ^e
140		0	16.11±0.01 ^a	1.21±0.01 ^b	6.65±0.08 ^b	2.69±0.03 ^b	
		300	15.89±0.12 ^a	1.04±0.01 ^c	6.49±0.04 ^b	2.50±0.01 ^c	

¹⁾Material before extrusion cooking.

²⁾Values with different letters in the same column indicate significant differences ($P<0.05$).

사출구 온도 80°C, CO₂ 0 mL/min에서 압출성형 하였을 때 0.23 µg/g으로 가장 낮았으며, 토마토 분말을 첨가하였을 때 사출구 온도 140°C, CO₂ 0 mL/min에서 6.65 µg/g으로 가장 높았다(Table 5). 또한 모든 조건에서 토마토 분말을 첨가하였을 때 총 카로티노이드 함량이 증가하였으며, 이는 토마토에 함유된 라이코펜을 비롯한 카로티노이드계의 생리활성물질에 의해 증가됨을 알 수 있었다(5).

압출성형 후 총 카로티노이드 함량은 다소 감소하였으나 사출구 온도가 증가함에 따라 증가하였는데, Kim 등(32)은 카로티노이드를 포함하고 있는 녹황색 채소류를 가열하거나 끓이면 약간의 파괴가 일어난다고 하였다. 또한 가열과정은 카로티노이드의 *cis*-isomers를 형성시켜 카로티노이드의 함량이 감소되고 *cis*-isomers는 가열에 따라 증가한다고 보고하였다. 이는 압출성형공정 시 가열로 인하여 카로티노이드계 생리활성 성분이 이성질체화되었다고 판단되며, 활성 성분의 규명에 대한 심도 있는 연구가 필요할 것으로 생각된다.

라이코펜 함량

토마토에 함유되어 있는 카로티노이드 중 항산화 활성이 뛰어난 라이코펜은 체내에 흡수되면 비타민 A로 전환되는 β-카로틴과 α-카로틴, 루테인 등을 함유하고 있으며, 항산화 작용을 가지는 항산화제로 알려져 있다(2). 토마토 분말을 첨가하여 사출구 온도 140°C, CO₂ 0 mL/min에서 압출성형 하였을 때 2.69 mg/kg으로 가장 높았으며, 토마토 분말을 첨가하지 않은 쌀 압출성형의 라이코펜 함량은 사출구 온도 140°C, CO₂ 300 mL/min에서 0.01 mg/kg으로 가장 낮았다(Table 5). 토마토 분말을 첨가하지 않았을 때 사출구 온도와 CO₂ 주입에 따른 유의적인 변화는 나타나지 않았다. 토마토 분말을 첨가한 압출성형물은 압출성형 후 라이코펜이 다소 감소하였으나 사출구 온도 80°C보다 고온인 140°C에서 라이코펜 함량이 높게 나타났다.

Shi와 Maguer(33)는 토마토를 가공이나 가열하면 세포벽의 파괴로 인해 이성질체화되어 생체 이용률이 높은 *cis*형 라이코펜으로 전환되며, *cis*형 라이코펜은 온도에 따라 증가한다고 보고하였다. 원료보다 라이코펜 함량이 감소한 것은 압출성형공정 시 전단력과 고온에 의해 *cis*형으로 전환된 라이코펜의 산화 또는 토마토의 아미노산과 ascorbic acid 간의 마이야르 반응이 일어났기 때문으로 판단된다(3). 이상의 결과에서 압출성형은 쌀·토마토의 팽화 특성 및 항산화 효과에 유의적인 영향을 주는 것으로 나타났다. 압출성형 쌀·토마토는 농산물의 소비 촉진을 위한 방안으로 소비자의 건강 지향적 욕구에 따른 기능성 팽화스낵 또는 제과, 제빵, 면류 등과 같은 식품에 중간소재로 활용될 수 있는 가치가 있을 것으로 판단된다.

요 약

본 연구는 사출구 온도와 CO₂ 주입이 쌀·토마토 압출성형의 물리적 및 항산화 활성에 미치는 영향을 분석하였다. 압출성형 조건은 수분 함량 25%, 스크루 회전속도 150 rpm으로 고정하였고, 사출구 온도 80, 110, 140°C와 CO₂ 주입량 0, 300 mL/min으로 조절하였다. 비기계적 에너지는 사출구 온도가 증가할수록 감소하였으며 CO₂ 주입을 하였을 때 직경 팽화율은 증가하였다. 사출구 온도가 증가할수록 직경 팽화율과 비길이는 증가하였으며 체적밀도는 CO₂ 주입에 따라 감소하였다. 수분용해지수와 수분흡착지수는 압출성형 후 모두 증가하였으며 사출구 온도가 증가함에 따라 압출성형물의 수분용해지수도 증가하였다. 명도는 토마토 분말을 첨가하지 않았을 때 가장 높았으며, 적색도와 황색도는 토마토 분말을 첨가하였을 때 높게 나타났다. DPPH 라디칼 소거능은 압출성형 후 모두 증가하였다. 토마토 분말을 첨가하였을 때 사출구 온도 140°C, CO₂ 주입량 300 mL/min에서 59.41%로 가장 높았으며, CO₂ 주입에 따른 유의적인 영향은 없었으나 사출구 온도가 증가함에 따라 증가하였다. 압출성형 후 총 페놀 함량도 증가하였으며 사출구 온도가 높아짐에 따라 증가하였다. 토마토 분말을 첨가하였을 때 사출구 온도 140°C, CO₂ 주입량 0 mL/min에서 16.11 mg/g으로 가장 높았다. 총 카로티노이드와 라이코펜 함량은 압출성형 후 감소하였으나 사출구 온도가 80°C보다 고온인 140°C에서 함량이 높게 나타났다. 총 카로티노이드와 라이코펜 함량은 토마토 분말을 첨가하여 사출구 온도 140°C, CO₂ 주입량 0 mL/min으로 압출성형 하였을 때 각각 6.65 µg/g과 2.69 mg/kg으로 가장 높았다. 결론적으로 CO₂ 주입에 따른 압출성형은 쌀·토마토의 팽화 특성 변화에 영향을 미치며, 사출구 온도의 증가에 따라 DPPH 라디칼 소거능 및 총 페놀 함량이 증가되었다.

감사의 글

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

REFERENCES

1. 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.
2. 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.
3. 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.
4. Na Y, Joo N. 2012. Processing optimization and antioxidant

- activity of sausage prepared with tomato powder. *Korean J Food Cookery Sci* 28: 195-206.
5. 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.
 6. 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.
 7. Won YJ, Oh SK. 2014. Development of process using technology and rice varieties for aseptic-packaged cooked rice. *Food Science and Industry* 47(2): 71-79.
 8. Lee GH. 2011. Extrusion characteristics for the snack of corn flour using twin-screw extruder. *J Agric Life Environ Sci* 23: 47-52.
 9. 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.
 10. Lee JK, Im BS, Ryu GH. 2006. Changes in paste viscosity of extruded buckwheat by extrusion process variables. *Food Eng Prog* 10: 92-99.
 11. Kim CH, Tie J, Ryu GH. 2012. Effects of moisture content on physical properties of extruded cereal flours. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 41: 1603-1610.
 12. 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.
 13. Tie J, Yu JH, Ryu GH. 2012. Effects of moisture content and temperature on physical properties of instant puffed rice snacks. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 41: 846-852.
 14. 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 CO₂ gas injection. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 43: 1716-1723.
 15. AACC. 1983. *Approved methods*. 8th ed. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN, USA. Method 56-20.
 16. 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.
 17. 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.
 18. 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.
 19. 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.
 20. Gil SK, Ryu GH. 2013. Effects of die temperature and CO₂ gas injection on physical properties of extruded brown rice-vegetable mix. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 42: 1848-1856.
 21. Gu BJ, Norajit K, Ryu GH. 2010. Physicochemical properties of extruded defatted hemp seed and its energy bar manufacturing. *Food Eng Prog* 14: 127-134.
 22. Ryu KH, Kang SH, Lee EY, Lim ST. 1997. Effect of CO₂ gas injection on properties of extruded corn starch. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 26: 436-442.
 23. Ryu GH, Mulvaney SJ. 1997. Analysis of physical properties and mechanical energy input of cornmeal extrudates fortified with dairy products by carbon dioxide injection. *Korean J Food Sci Technol* 29: 947-954.
 24. Kim MH, Gil SK, Kim CH, Lee KC, Tie J, Ryu GH. 2012. Effects of extrusion conditions on change in properties of corn fiber. *Food Eng Prog* 16: 40-46.
 25. Han JY, Kim MH, Tie J, Kim SJ, Kim MH, Ryu GH. 2007. Change in characteristics of extruded vitamin C cornstarch matrix by moisture content and barrel temperature. *Food Eng Prog* 11: 253-260.
 26. Kim MY, Chun SS. 2008. Quality characteristics of *Sulgidduk* with tomato powder. *Korean J Food Cookery Sci* 24: 412-418.
 27. Lee JH, 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.
 28. Woo KS, Jeong EG, Suh SJ, Yang CI, Jeong HS, Kim KJ. 2008. Antioxidant components and antioxidant activities of 70% ethanol extracts on *Suweon-511* and *Ilpum* rice. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 37: 1223-1230.
 29. Hwang IG, Woo KS, Jeong HS. 2011. Biological activity and heat, treatment, processing of foods. *Food Science and Industry* 44(3): 56-65.
 30. Kim SH. 2007. Effect of the extruded ginseng on antioxidant activity. *J East Asian Soc Dietary Life* 17: 402-408.
 31. 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.
 32. Kim HY, Lim Y, Russell RM. 2003. Changes in carotenoids contents in pureed and cooked carrot and spinach during storage. *Korean J Soc Food Cookery Sci* 19: 83-95.
 33. Shi J, Le Maguer M. 2000. Lycopene in tomatoes: Chemical and physical properties affected by food processing. *Crit Rev Biotechnol* 20: 293-334.