

카카오 빈 함량에 따른 쌀 압출성형물의 이화학적 특성 및 항산화 활성

박주연¹ · 김영호² · 류기형¹

¹공주대학교 식품공학과

²대전대학교 제과제빵학과

Physicochemical Properties and Antioxidant Activity of Extruded Rice Flour with Various Cacao (*Theobroma cacao* L.) Bean Content

Ju-Yeon Park¹, Young-Ho Kim², and Gi-Hyung Ryu¹

¹Department of Food Science and Technology, Kongju National University

²Department of Baking Technology, Hyejeon College

ABSTRACT This study was carried out to determine the effect of cacao bean addition on the physicochemical properties of extruded rice flour. Rice-based cacao beans (0, 20, 40, 60%) were extruded at a die temperature of 130°C, screw speed of 200 rpm, and moisture content of 25%. As the content of cacao beans increased from 20% to 60%, expansion index decreased, while piece density and specific length increased. The water soluble index and water absorption index of the extrudate increased through extrusion cooking. Lightness decreased as cacao bean content increased while redness increased. As the content of cacao beans increased, paste viscosity decreased. Cold peak viscosity was observed in all extrudates of raw roasted cacao beans. α, α -Diphenyl- β -picrylhydrazyl (DPPH) radical-scavenging activity increased upon extrusion and cacao bean addition. As content of cacao beans increased, non-roasted cacao beans had higher total phenolic contents than roasted cacao beans. This study showed that addition of cacao beans to extruded rice snack improved antioxidant activity.

Key words: extruded rice, cacao bean, roasting, physicochemical properties, antioxidant activity

서 론

최근 자연 지향적 추세에 따라 천연물 유래의 각종 생리활성 물질들이 식품 개발에 다양하게 이용되고 있다(1). 카카오(*Theobroma cacao* L.)는 벽오동나무과(Sterculiaceae)에 속하는 다년생 식물로 Latin America가 원산지이지만, 최근에는 적도의 남북 위도 20° 이내의 수렴지역에서 광범위하게 재배되고 있다(2). 카카오 빈(cacao bean)은 형태학적으로 외피(shell or husk), 내피(thin skin), 배유(cotyledon) 및 배아(germ)로 구성되어 있고, 산업적으로 이용되고 있는 것은 배유를 마쇄한 paste상의 물질로 cacao mass 또는 cacao liquor라고 한다(3). 이 cacao mass는 shell이 탈각된 85% 정도로서 초콜릿, 초콜릿 음료 등의 원료로 가공되고 있으며(4), 초콜릿의 주성분으로 각종 기능성 식품 및 생리활성 소재로 널리 주목받고 있는 폴리페놀류가 매우 풍부하게 함유되어 있다(5). 페놀성 화합물은 항산화 물질로서 다양한 구조와 분자량을 가지며, polyphenolic 화합물들

의 분자 내 phenolic hydroxyl기가 단백질 등과 결합하는 성질에 의해 항산화, 항암 및 항균 등의 다양한 생리활성을 나타낸다(6). 특히 Castillejo 등(7)은 변비 진단을 받은 소아 환자들에게 식이섬유가 풍부한 카카오 빈을 섭취시킨 그룹과 위약을 섭취시킨 대조군을 비교한 실험에서 카카오 빈에 있는 식이섬유가 변비 증상 완화에 효과가 있다고 하였다.

식품의 압출성형기술은 적당한 수분 함량을 갖는 천연 고분자 물질이 압출성형기 내부의 높은 온도와 압력 하에서 스크류의 회전과 가열에 의해 열반응과 성형이 동시에 발생하도록 함으로써 스낵, 아침편의식(8), 애완동물용 사료, 식물조직화단백질 제조(9,10) 등에 이용되고 있다. 또한, 밀가루를 대체한 쌀과자 및 쌀빵, 쌀국수, 압출성형 쌀스낵 등의 제품들이 다수 개발되어 판매되고 있다(11,12).

카카오에 대한 연구로는 카카오 내피로부터 분리한 총치 예방물질 연구(13), 카카오 용매분획물의 항산화 및 항염증 연구(14), 발효, 건조, 로스팅을 하는 동안 코코아의 화학적 특성(15), cocoa powder와 cornmeal을 이용한 압출성형(16) 등이 있었지만 부가가치를 높이기 위해 카카오를 첨가한 다양한 형태의 제품개발이 필요하다.

이에 본 연구는 밀가루에 비해 알레르기 유발 비율이 현저히 낮고 소화가 잘되며 필수아미노산 등 영양적인 측면에서 우수한 쌀(17,18)과 항산화 활성이 높은 폴리페놀을 다량

Received 9 August 2017; Accepted 19 September 2017

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

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

함유하고 있는 카카오 빈의 영양 및 기능적 특성이 강화된 팽화스넥이나 제과, 제빵 등의 중간소재로 활용하여 보다 간편하고 다양한 식품으로 이용하기 위하여 카카오 빈 함량을 20, 40, 60%로 달리하여 압출성형 하고 팽화특성 등의 물리적 특성과 α, α -diphenyl- β -picrylhydrazyl(DPPH) 라디칼 소거능, 총 페놀 등의 항산화 활성의 변화를 조사하였다.

재료 및 방법

재료

본 연구에 사용된 쌀은 신통정미소(Asan, Korea)에서 구입하였고, 카카오 빈은 초코동이(Suwon, Korea)에서 구입하여 130°C로 30분간 열처리한 roasted 카카오 빈(RC)과 열처리하지 않은 non-roasted 카카오 빈(NRC)으로 사용하였다.

쌀을 base로 RC, NRC를 각각 0, 20, 40, 60%로 첨가하여 압출성형 시료로 사용하였으며, 쌀의 일반성분은 수분 10.92, 조지방 0.58, 조단백 5.37, 조회분 0.38, 탄수화물 82.75%였으며, 카카오 빈의 일반성분은 수분 6.85, 조지방 48.06, 조단백 11.56, 조회분 3.70, 탄수화물 29.83%였다.

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 200 rpm으로 고정하고 사출구 온도는 130°C로 각각 조절하였다. 제조된 압출성형물은 열풍건조기(DS-FCPO 250, Dongseo Sci. Co., Seoul, Korea)에서 50°C로 건조하여 물리적 특성 연구에 사용하였고, 가정용 분쇄기(SMKA-4000, PN Poongnyun Co., Ltd., Ansan, Korea)로 분쇄하여 50~70 mesh의 분말을 시료로 사용하여 화학적 특성을 측정하였다.

일반성분 분석

쌀가루와 카카오분말의 일반성분 분석은 AOAC법(19)에 따라 수분은 105°C 상압건조법, 조지방은 Soxhlet 추출법, 조단백은 semi-micro-Kjeldahl법, 조회분은 직접회화법으

로 정량하고 탄수화물 함량은 100-(회분+조단백+조지방+수분)으로 계산하였다.

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 평균값을 각각 식 (1)과 (2)로 계산하였다(20).

$$\text{Expansion ratio} = \frac{D_e}{D_d} \quad (1)$$

D_e : Diameter of extrudate

D_d : Diameter of die hole

$$\text{Specific length} = \frac{\text{Length of extrudate (cm)}}{\text{Weight of extrudate (g)}} \quad (2)$$

조각밀도

압출성형물의 조각밀도는 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 차조를 포함한 부피를 측정하여 압출성형물의 조각밀도를 식 (3)을 이용하여 계산한 후 평균값을 산출하였다(21).

$$\rho_e = \frac{M}{M + M_0 - M_1} \rho_m \quad (3)$$

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

ρ_m : Piece 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)

겉보기 탄성계수와 파괴력

압출성형물의 겉보기 탄성계수와 파괴력은 Sun Rheometer(Compac-100 II, Sun Sci. Co., Tokyo, Japan)를 사용하여 10회 측정하여 평균값을 산출하였다. 측정조건은 probe angle type(65°), 최대응력 10 kg, 지지대 이동속도 60 mm/min, 지지대간의 거리 3 cm였다. 측정치를 Ryu와

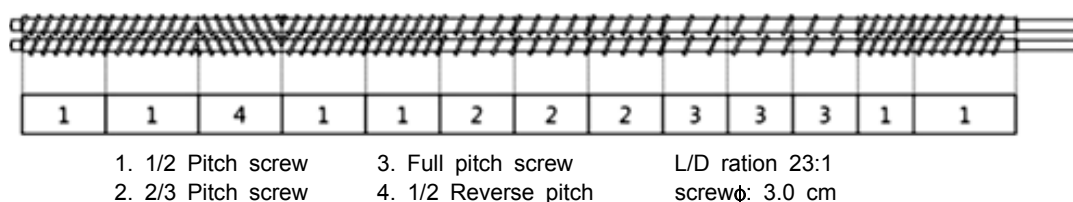


Fig. 1. Screw configuration used in this experiment (Model THK 31T).

Ng(22)의 방법을 이용하여 겉보기 탄성계수(E_{app})와 파괴력(F_{bs})을 각각 식 (4)와 (5)로 계산하였다.

$$E_{app} \text{ (N/cm}^2\text{)} = (dF/dl)(64d^3/48\pi D^4) \quad (4)$$

E_{app} : Apparent elastic modulus
 dF/dl : Slope of the linear section of the force-dis-tance curve

D: Diameter of extrudate

d: Distance between two supports

$$F_{bs} \text{ (N/m}^2\text{)} = F_m/S \quad (5)$$

F_{bs} : Breaking strength

F_m : Maximum stress of extrudate

S: Cross-sectional area of extrudate

압출성형물의 미세구조

압출성형물을 2 mm 길이로 잘라 12시간 건조한 다음 백금으로 코팅 후 고분해능 주사전자현미경(MIRA LMH, Tescan, Brno, Czech)으로 가속전력 10 kV에서 14배율로 관찰하였다.

수분흡착지수와 수분용해지수

압출성형물과 무처리구(RAW)의 수용성 성질을 분석하고자 AACC 방법(23)을 응용하여 건량 기준의 시료 1 g에 증류수 25 mL를 가하여 30°C의 항온수조(BF-45SB, Biofree Co., Seoul, Korea)에서 30분간 교반한 후 원심분리기(H-1000-3, Hanil Science Industrial Co., Incheon, Korea)에서 3,000 rpm으로 30분간 원심분리 하였다. 상등액을 알루미늄 접시에 부은 후 침전물의 무게를 측정하고, 알루미늄 접시를 105°C 열풍건조기(HB-502MP, Han Beak Co., Gyeonggi, Korea)에서 2시간 동안 건조한 후 상등액의 고형분 함량을 측정하여 수분흡착지수(water absorption index)와 수분용해지수(water solubility index)를 아래의 식 (6)과 (7)로 각각 계산하였다.

$$WAI = \frac{\text{Hydrated sample wt.} - \text{Dry sample wt.}}{\text{Dry sample wt.}} \quad (6)$$

$$WSI \text{ (\%)} = (\text{Dry solid wt. recovered by evaporating the supernatant} / \text{Dry sample wt.}) \times 100 \quad (7)$$

색도

RAW와 압출성형물을 분쇄한 시료를 색차계(Chroma Meter CO-300, Minolta Co., Ltd., Osaka, Japan)를 이용하여 명도(lightness, L), 적색도(redness, a), 황색도(yellowness, b) 값을 3회 측정된 평균값으로 나타내고 식(8)로 색 변화도(color difference, ΔE) 값을 나타내었다. 표준색판의 값은 $L=93.05$, $a=-0.19$, $b=3.70$ 이었다.

$$\Delta E = \sqrt{(L-L_0)^2 + (a-a_0)^2 + (b-b_0)^2} \quad (8)$$

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: yellowness of raw material and extruded sample, respectively

페이스트 점도

압출성형물과 RAW의 페이스트 점도를 측정하기 위해 신속점도 측정기(RVA, Rapid viscosity analyser, RVA3D, Newport Scientific Inc., Narrabeen, Australia)를 사용하였다. 시료 3.5 g(14%, w.b.)을 알루미늄 캔에 넣은 후 증류수 25 mL를 가하고 유리막대를 이용하여 1차 교반한 다음 페이스트 점도를 측정하였다.

신속점도 측정기의 가열과 냉각조건은 초기온도 25°C에서 2분간 유지한 다음 5분간 95°C로 가열 후 3분간 95°C로 유지하였으며, 5분간 25°C로 냉각하였다. 총 소요 시간은 20분이었으며 페달의 회전은 초기 시료의 분산을 증대시키기 위해 960 rpm으로 회전시킨 후 160 rpm에서 점도를 측정하였다(24).

Fig. 2의 페이스트 점도곡선으로부터 최고점도(peak viscosity, PV), 저온최고점도(cold peak viscosity, CPV), 최저점도(trough viscosity, TV), 최종점도(final viscosity, FV), 구조파괴점도(breakdown viscosity, BV) 등의 페이스트 점도 지표를 각각 구하였다.

DPPH 라디칼 소거 활성

RAW와 압출성형물의 DPPH 라디칼 소거 활성 실험은 Brand-Williams 등(25)의 방법을 사용하였다. 시료 1 g을 80% methanol 10 mL에 넣고 2시간 동안 추출한 후 3,000 rpm으로 30분 동안 원심분리 하였다. 상등액 0.1 mL를 취하여 methanol에 녹인 DPPH 시약 3.9 mL에 넣고 실온의 암실에서 30분 동안 반응시킨 후 분광광도계 515 nm 파장에서 흡광도를 측정하였다. 공시험도 역시 같은 방법으로 시행하고 산출된 흡광도를 이용하여 다음 식(9)에 대입하였다.

$$\text{Radical scavenging activity (\%)} = \frac{A_0 - A_1}{A_0} \times 100 \quad (9)$$

A_0 : Absorbance of the blank

A_1 : Absorbance of the sample

총 페놀 함량

총 페놀성 화합물의 함량은 Folin-Ciocalteu 비색법(26)에 따라 측정하였다. 즉 반응액 0.1 mL의 샘플용액에 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 상온의 암소에

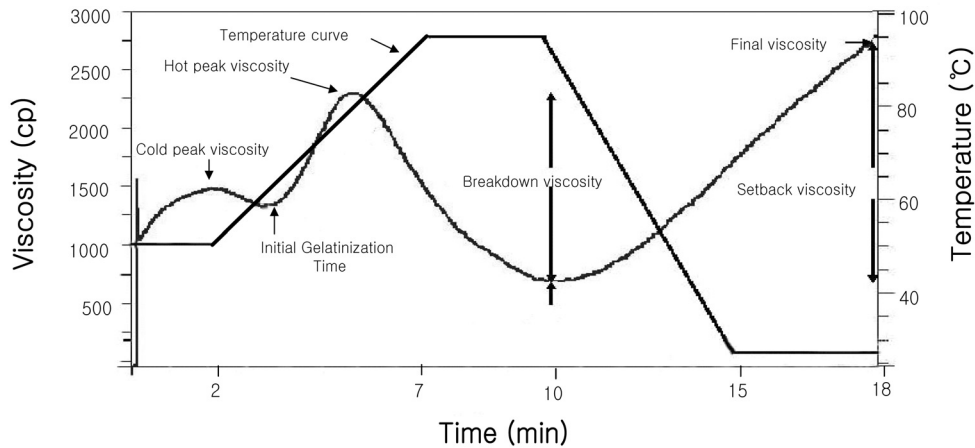


Fig. 2. RVA temperature profile and pasting parameters.

서 90분 동안 반응시켜 UV/Vis-spectrophotometer를 사용하여 725 nm에서 흡광도 값을 측정하였다. Gallic acid의 다양한 농도를 이용하여 작성한 검량선을 통해 페놀성 화합물을 계산하였다.

통계처리

결과의 통계처리는 SPSS(Statistical Package for the Social Science, version 23.0) 프로그램(IBM-SPSS, Thornwood, NY, USA)을 이용하여 일원배치분산분석(one-way ANOVA)을 실시한 후 유의적 차이가 있는 항목에 대해서 $P < 0.05$ 수준에서 그 결과를 Duncan's multiple range test로 검정하였다.

결과 및 고찰

카카오 빈 압출성형물의 팽화특성

일반적인 압출성형에서 물리적 특성(팽화율, 비길이, 조각밀도)은 압출성형물의 조직감, 소비자의 기호성 및 제품의 품질을 결정하는 데 중요하다. 카카오 빈을 첨가한 압출성형물의 물리적 특성은 Table 1과 같다. 압출성형물의 팽화는 압출성형기 내에서 원료가 고온, 고압의 상태에서 사출구를 통과할 때 압력의 차이로 인한 수분 증발이 용융물의 기포를 생성시켜 급격하게 팽화가 일어나게 된다(27). 압출

성형물 RC 20% 첨가군의 팽화율이 3.89로 가장 높았으며, 압출성형한 쌀 100% 대조군의 팽화율은 3.82였고, 카카오 빈의 함량이 20, 40, 60%로 늘어날수록 RC 첨가군은 3.89, 2.64, 1.81로 감소하였고, NRC 첨가군은 3.70, 2.50, 1.71로 감소하였다.

비길이는 카카오 빈의 함량이 증가할수록 증가하는 경향을 보였으며, 쌀 100% 대조구가 2.74 cm/g으로 가장 낮았으며, RC군 60%가 7.15 cm/g으로 가장 높게 나타났다. 이는 밀과 옥수수가루를 이용한 130°C 이상의 압출성형공정에서 직경팽화율이 증가하면 비길이는 감소하는 음의 상관관계를 갖는다고 보고한 Gu와 Ryu(28)의 결과와 일치하였다.

밀도는 카카오 빈의 함량이 증가할수록 증가하는 경향을 보였는데 RC 20% 첨가군일 때 0.17 g/cm³로 가장 낮았으며, NRC 60% 첨가군일 때 0.56 g/cm³로 가장 높았다. 쌀 100% 대조군은 0.31 g/cm³로 카카오 빈을 40% 첨가했을 때와 유의적인 차이가 나타나지 않았다. 직경팽화율이 증가하면 체적밀도는 감소하는 연관성을 나타내었는데 이는 Gil 등(20)의 보고와 일치하였다.

겉보기 탄성계수와 파괴력

겉보기 탄성계수와 파괴력은 팽화율과 밀도, 기공구조에 영향을 받으며, 압출성형물의 품질을 결정하는 데 중요하다(29). 카카오 빈을 첨가한 압출성형물의 겉보기 탄성계수와

Table 1. Expansion properties, breaking strength, and apparent elastic modulus of extruded rice flour with cacao beans contents

	Cacao bean contents (%)	Expansion index	Specific length (cm/g)	Piece density (g/cm ³)	Breaking strength (N/cm ²)	Elastic modulus (N/cm ²)
Roasting	0	3.82±0.51 ^{a1)}	2.74±1.55 ^c	0.31±0.03 ^c	60.09±6.30 ^{ab}	6.87E+03 ^{cd}
	20	3.89±0.65 ^a	4.76±2.74 ^c	0.17±0.01 ^d	62.20±7.37 ^a	2.45E+03 ^d
	40	2.64±0.32 ^c	4.95±2.99 ^c	0.32±0.02 ^c	56.63±2.42 ^{bc}	1.22E+04 ^{cd}
	60	1.81±0.22 ^e	7.15±2.58 ^a	0.52±0.02 ^b	34.14±1.57 ^d	3.91E+04 ^b
Non-roasting	20	3.70±0.44 ^b	4.28±2.37 ^d	0.19±0.01 ^d	65.76±1.98 ^a	3.78E+03 ^d
	40	2.50±0.29 ^d	4.85±2.19 ^c	0.29±0.02 ^c	48.30±0.30 ^c	1.68E+04 ^c
	60	1.71±0.15 ^e	6.14±1.69 ^b	0.56±0.05 ^a	33.45±2.46 ^d	6.23E+04 ^a

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

과피력은 Table 1과 같다. 카카오 빈의 함량이 증가할수록 겉보기 탄성계수는 증가하였다. RC 20% 첨가군과 NRC 20% 첨가군은 쌀 100% 대조군보다 낮은 겉보기 탄성계수를 나타내었으며, NRC 첨가군이 RC 첨가군보다 높은 겉보기 탄성계수를 나타내었다. 과피력은 카카오 빈의 함량이 20, 40, 60%로 증가할수록 감소하였다. 쌀 100% 대조군이 60.09 N/cm²로 RC, NRC 20% 첨가군보다 낮은 과피력을 보였으며, 카카오 빈의 함량이 증가할수록 RC군이 62.20, 56.63, 34.14 N/cm²로 감소하였고, NRC군도 65.76, 48.30, 33.45 N/cm²로 감소하였다. Chinnaswamy와 Hanna(30)는 옥수수전분을 사용하여 사출구 온도 110~120°C의 압출성형공정을 이용한 실험에서 팽화율이 증가할수록 과피력은 감소한다고 하였는데, 본 실험에서는 지방이 많은 카카오 빈의 첨가로 인하여 전분의 양은 감소하고 지방의 양이 상대적으로 증가하면서 나타난 결과로 판단된다.

미세구조

카카오 빈을 함유한 쌀 압출성형물의 기공 구조를 Fig. 3에 나타내었다. 카카오 빈의 함량이 증가할수록 기공의 크기는 감소하고 조밀한 구조를 보였으며 카카오 빈의 함량이 증가할수록 직경팽화율이 감소한 결과는 Ondo와 Ryu(16)의 코코아 파우더의 함량이 증가할수록 옥수수 압출성형물의 기공 크기는 작고 기공의 수는 증가한 결과와 일치하였다. 이는 카카오 빈이 증가할수록 상대적으로 전분의 양은 감소하고 지방의 증가로 압출성형물의 점도가 낮아져 기공의 크기는 작고 기공의 수는 증가하는 것으로 판단된다. 그러나 쌀 100% 대조군보다 높은 직경팽화율을 보인 카카오 빈 20% 첨가군의 경우 카카오 빈이 전분의 점도에 영향을 미쳐 쌀 100% 대조군보다 균일한 크기의 기공을 보인 것으로 판단된다. 또한, 쌀 100% 대조군은 크기가 다양한 기공과 두꺼운 벽을 가졌다.

수분흡착지수와 수분용해지수

카카오 빈의 함량을 달리하여 제조한 압출성형물의 수분 흡착지수(WAI)와 수분용해지수(WSI)는 Table 2에 나타내었다. 수분흡착지수와 수분용해지수는 호화도와 팽화율에 영향을 받으며 스낵 제품으로서 이들의 수치는 높을수록 좋은 품질로 인정된다(31). 압출성형 처리구의 WSI와 WAI는 RAW에 비해 증가하였다. RAW의 WAI는 카카오 빈의 함량에 따라 큰 차이를 보이지 않았으나 압출성형물의 경우 쌀 100% 대조구가 2.99 g/g을 나타내었고, 카카오 빈의 함량이 20, 40, 60%로 증가할수록 RC 군이 4.21, 3.83, 3.63, NRC 군이 4.06, 4.05, 3.43 g/g으로 감소하였다. WAI는 전분과 단백질의 수화를 나타내는 지표로서(32) 수분흡착지수의 증가 요인은 전분 용융물이 기계적 전단력이 취약해져 수분을 흡수하기 쉬운 기공이 많은 조직으로 변화되었기 때문에 본 실험에서 카카오 빈의 함량이 증가할수록 상대적으로 감소한 전분의 양에 비례하여 감소하는 결과가 나타났다. WSI는 압출성형 하였을 때 RAW에 비해 크게 증가하는 값을 나타내었다. RAW에서는 쌀 100% 대조군이 가장 낮은 1.96%를 나타내었으며, 카카오 빈의 함량이 늘어날수록 RC군은 4.30, 6.08, 9.34%로 증가하였고, NRC군은 4.06, 5.70, 8.41로 증가하였다. 그와 반대로 압출처리구의 경우 카카오 빈의 함량이 증가할수록 감소하여 쌀 100% 대조구에서 62.09%의 가장 높은 수치를 나타내었고, 카카오 빈의 함량이 증가할수록 RC군은 41.65, 34.14, 23.86%, NRC군은 39.74, 36.27, 30.34%로 감소하였다. Tie 등(33)은 호화도가 증가할수록 WSI가 높은 값을 나타낸다고 보고하였으며, WSI는 전분분자의 붕괴에 의해 발생하는 수용성 물질의 양에 비례한다고 하였는데(34) 카카오 빈의 함량이 증가할수록 WSI 값이 감소한 것은 카카오 빈의 함량이 증가하면서 전분의 함량은 감소하고 지방의 양이 증가하여 나타난 것으로 판단된다.

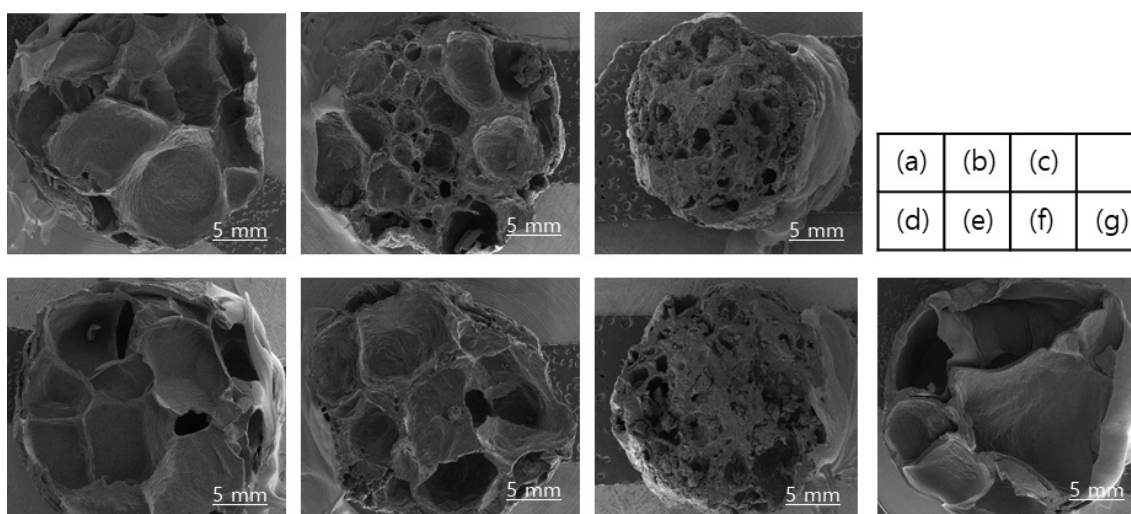


Fig. 3. Scanning electron micrographs of cross-sections of extruded rice flour at different cacao bean contents: (g) 100% rice, (a-c) 20%, 40%, 60% roasted cacao bean, (d-f) 20%, 40%, 60% non-roasted cacao bean.

Table 2. Change in water absorption index and water solubility index of extruded rice flour with cacao bean contents

		Cacao bean contents (%)	WAI ²⁾ (g/g)	WSI ³⁾ (%)
RAW ¹⁾	Roasting	0	2.84±0.08 ^{bc4)}	1.96±0.06 ^c
		20	2.91±0.05 ^{abc}	4.30±0.66 ^d
		40	2.78±0.09 ^{cd}	6.08±0.28 ^c
	Non-roasting	60	2.61±0.06 ^d	9.34±0.63 ^a
		20	3.07±0.08 ^a	4.06±0.16 ^d
		40	2.99±0.07 ^{ab}	5.70±0.41 ^c
Extrusion	Roasting	60	2.88±0.15 ^{abc}	8.41±0.37 ^b
		0	2.99±0.70 ^c	62.09±5.60 ^a
		20	4.21±0.16 ^a	41.65±0.92 ^b
	Non-roasting	40	3.83±0.05 ^{ab}	34.14±0.15 ^{cd}
		60	3.63±0.04 ^{abc}	23.86±0.22 ^e
		20	4.06±0.32 ^{ab}	39.74±5.67 ^{bc}
Non-roasting	40	4.05±0.10 ^{ab}	36.27±0.34 ^{bcd}	
	60	3.43±0.04 ^{bc}	30.34±0.36 ^{de}	

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

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

색도

카카오의 함량을 달리한 쌀 압출성형물의 색도 L, a, b값을 Table 3에 나타내었다. 카카오 빈의 첨가량이 증가할수록 명도(L)가 감소하였으며 압출성형 처리구와 무처리구(RAW) 모두에서 NRC군이 RC군보다 L값이 높았다. 압출성형 처리구가 RAW에 비해 낮은 L값을 나타내었으며 roasting을 한 후 압출성형을 한 처리군에서 모두 낮은 L값을 보였는데 이는 팽화스낵 제조과정 중 발생하는 Maillard reaction과 roasting에 의한 갈변반응이 원인인 것으로 판단되며 갈변반응은 일반적으로 온도가 높을수록 쉽게 일어나는 것으로 알려져 있다(21).

적색도(a)는 압출성형 처리구와 RAW 모두에서 쌀 100%가 가장 낮았고 압출성형 처리구의 NRC 40% 첨가군에서

가장 높은 11.6을 나타내었다. 카카오 빈의 함량이 증가할수록, RAW보다 압출성형 처리구가 높은 a값을 나타내었다.

황색도(b)는 RAW보다 압출성형 처리구가 높은 b값을 나타내었고 RAW의 경우 카카오 빈의 함량이 증가할수록 b값이 증가한데 비해 압출성형 처리구의 경우 카카오 빈의 함량이 증가할수록 낮은 b값을 나타내었다.

총 색도차는 RC, NRC군 모두 카카오 빈의 함량이 증가할수록 증가하였으며 RC군이 NRC군보다 색도 변화가 크게 일어났다. 팽화스낵 제조과정 중 유리 아미노기가 환원당과 결합하여 마이야르 반응에 의해 전분이 갈색으로 변화하고 RC군의 경우 roasting 과정 중 열을 한 번 더 가하여 갈변화가 증가한 것으로 판단된다.

Table 3. Change in color value of extruded rice flour with cacao bean contents

		Cacao bean contents (%)	Lightness (L)	Redness (a)	Yellowness (b)	Color difference
RAW ¹⁾	Roasting	0	89.7±0.1 ^{a2)}	-1.18±0.0 ^g	5.97±0.0 ^e	—
		20	65.1±0.4 ^d	4.70±0.1 ^c	12.7±0.2 ^c	—
		40	61.6±0.3 ^e	4.37±0.0 ^d	10.2±0.1 ^d	—
	Non-roasting	60	44.8±0.1 ^g	10.1±0.1 ^a	17.7±0.2 ^a	—
		20	77.2±0.4 ^b	0.94±0.2 ^f	5.94±0.1 ^c	—
		40	68.1±1.8 ^c	2.09±0.1 ^c	6.33±0.1 ^c	—
Extrusion	Roasting	60	49.6±1.0 ^f	8.56±0.2 ^b	15.9±0.3 ^b	—
		0	77.8±0.2 ^a	-1.50±0.0 ^e	9.86±0.1 ^f	4.09±0.0 ^e
		20	47.0±0.4 ^c	8.88±0.1 ^d	17.6±0.2 ^a	4.24±0.2 ^e
	Non-roasting	40	37.5±0.4 ^d	9.92±0.3 ^b	14.4±0.1 ^d	5.36±0.1 ^c
		60	28.5±0.2 ^f	9.56±0.2 ^c	8.54±0.2 ^g	7.22±0.1 ^a
		20	49.8±0.2 ^b	8.89±0.1 ^d	16.2±0.1 ^b	4.28±0.0 ^e
Non-roasting	40	37.6±0.2 ^d	11.6±0.1 ^a	15.1±0.1 ^c	4.93±0.3 ^d	
	60	31.1±0.5 ^e	11.4±0.1 ^a	11.1±0.3 ^c	6.42±0.1 ^b	

¹⁾Material before extrusion cooking.

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

Table 4. Paste viscosity of extruded rice flour with cacao bean contents

	Cacao bean contents (%)	Paste viscosity (cP) ²⁾								
		CPV	PV	TV	BV	FV	SV	PT		
RAW ¹⁾	0	— ^d	4,287 ^a	1,822 ^a	2,464 ^a	4,190 ^a	2,367 ^a	8.20 ^a		
	Roasting	20	36 ^{c3)}	2,625 ^c	1,091 ^c	1,534 ^b	2,544 ^c	1,453 ^c	7.87 ^{bc}	
		40	109 ^b	1,395 ^d	697 ^d	699 ^d	1,526 ^e	829 ^e	7.97 ^{ab}	
		60	156 ^a	426 ^e	311 ^e	115 ^e	635 ^f	324 ^g	7.87 ^{bc}	
	Non-roasting	20	— ^d	2,784 ^b	1,400 ^b	1,383 ^c	3,078 ^b	1,677 ^b	8.17 ^a	
		40	— ^d	1,380 ^d	686 ^d	695 ^d	1,719 ^d	1,034 ^d	8.04 ^{ab}	
		60	— ^d	431 ^e	249 ^e	182 ^e	689 ^f	440 ^f	7.60 ^c	
	Extrusion	0	224 ^a	228 ^a	53 ^b	175 ^a	119 ^a	66 ^a	2.53 ^a	
		Roasting	20	205 ^{ab}	171 ^b	87 ^a	84 ^b	138 ^a	52 ^c	2.17 ^a
			40	158 ^{bc}	127 ^{cd}	30 ^b	97 ^b	74 ^b	45 ^d	2.60 ^a
			60	30 ^d	37 ^e	0 ^c	37 ^c	0 ^c	0 ^e	2.80 ^a
		Non-roasting	20	143 ^c	119 ^d	32 ^b	87 ^b	86 ^b	54 ^b	2.27 ^a
40			134 ^c	136 ^c	44 ^b	93 ^b	89 ^b	45 ^d	2.37 ^a	
60			29 ^d	31 ^e	0 ^c	31 ^c	0 ^c	0 ^e	2.77 ^a	

¹⁾Material before extrusion cooking.

²⁾CPV: cold peak viscosity, PV: peak viscosity, TV: trough viscosity, BV: breakdown viscosity, FV: final viscosity, SV: setback viscosity, PT: peak time (min).

³⁾Values with different letters in the same column indicate significant differences ($P < 0.05$).

페이스트 점도

신속점도 측정기(RVA)로 측정한 압출성형물과 무처리군(RAW)의 페이스트 점도는 Table 4와 같다. 카카오 빈을 첨가한 압출성형 처리군에서 최고점도, 최저점도, 구조파괴점도, 최종점도, 회복점도가 RAW에 비해 현저히 낮게 나타났다. 압출성형 처리군과 RAW 모두 카카오 빈의 함량이 증가할수록 최고점도, 최저점도, 구조파괴점도, 최종점도, 회복점도가 모두 감소하였다.

주목할 만한 것은 일반적으로 곡류 압출성형물의 페이스트 점도 곡선을 보면 50°C 이하에서 저온최고점도가 나타나는데, 이는 압출성형과정 중 곡류전분이 호화가 일어나 낮은 온도(25°C)에서 생전분과 다르게 물을 흡수하여 점도가 나타나기 때문으로 RAW의 RC 첨가군 20, 40, 60%에서 저온최고점도가 나타난 것은 카카오 빈의 roasting 과정 중 카카오 빈 내부의 전분이 호화가 일어난 것으로 판단되며 열처리한 카카오 빈의 함량이 증가할수록 저온최고점도도 증가하였다. 압출성형 처리군에서는 RC, NRC군 모두 저온최고점도와 빠른 peak time을 나타내었고, 카카오 빈의 함량이 증가할수록 감소하였다. 최저점도는 압출성형 처리군이 현저히 낮았고, RC, NRC군의 첨가에 따른 변화는 NRC군의 경우 현저히 낮게 나타났다.

구조파괴점도는 최고점도와 최저점도의 차이로 호화과정 중 RVA의 paddle이 페이스트에 작용하는 물리적 힘에 의한 호화전분입자의 파괴와 전분사슬의 절단 정도를 나타낸다(35). 쌀 100% 첨가 시 압출성형 처리군보다 RAW가 현저히 높게 나타났으며, 카카오 빈의 함량이 증가할수록 감소하였다.

최종점도와 회복점도는 쌀 100%의 RAW가 가장 높았으

며, 압출성형 처리군의 RC 60%, NRC 60% 첨가군은 최종점도와 회복점도 값이 나타나지 않았다. 노화도가 낮을수록 최종점도는 낮게 나타나는데, 실험 결과 카카오 빈의 함량이 증가했을 때 상대적으로 전분의 양은 감소하고 카카오 빈의 지방 성분이 아밀로오스와 결합하여 호화에 영향을 준 것으로 판단된다.

DPPH 라디칼 소거능

카카오 빈을 첨가한 압출성형 처리군과 무처리군(RAW)의 비교를 Table 5에 나타내었다. 압출성형물의 DPPH 라디칼 소거능은 NRC군을 첨가한 압출성형 처리군이 모든 조건에서 높았으며, RAW의 경우 RC 첨가군이 NRC 첨가군보다 높은 값을 나타내었다. 또한, 압출성형 처리군과 RAW 모두 카카오 빈의 함량이 증가할수록 DPPH 라디칼 소거능이 증가하였다. Gu 등(29)은 110°C보다 고온인 130°C에서 압출성형 한 삼중실이 DPPH 라디칼 소거능 측정 결과가 높았다고 보고하였으며, Suh 등(36)은 커피의 생두에 비해 배전 후 원두의 DPPH 라디칼 소거능이 높았다고 보고하였다. 온도 증가로 인해 압출성형물에 함유된 단백질 펩타이드가 가수분해되면서 항산화 활성능력도 비례하여 향상된 것으로 NRC를 첨가하여 압출성형 하였을 때 RAW보다 DPPH 라디칼 소거능이 높은 본 실험 결과와 일치하였다. 원료 카카오 빈은 열과 압력이 동시에 가해지는 압출성형 공정에 의해 단백질 펩타이드의 가수분해가 증가하여 DPPH 라디칼 소거능이 증가하는 것으로 판단되며, 로스팅 한 카카오 빈을 압출성형 하였을 때 DPPH 라디칼 소거능이 감소한 것은 반복된 열처리로 인하여 항산화 기능이 있는 페놀의 함량이 감소한 것으로 판단된다.

Table 5. DPPH radical scavenging activity and total phenolics contents of extruded rice flour with cacao bean contents

		Cacao bean contents (%)	DPPH (%)	Total phenolic contents (mg/100 g)
RAW ¹⁾	Roasting	0	0.92±0.09 ^{c2)}	17.35±4.24 ^c
		20	45.08±5.75 ^b	103±6.49 ^d
		40	84.75±3.58 ^a	172±6.30 ^c
	Non-roasting	60	89.00±0.17 ^a	326±14.02 ^b
		20	44.42±1.92 ^b	86.5±3.19 ^d
		40	81.66±1.17 ^a	189±14.45 ^c
Extrusion	Roasting	60	88.75±0.08 ^a	364±38.25 ^a
		0	2.84±0.67 ^c	5.89±0.66 ^c
		20	44.17±5.34 ^d	61.7±2.90 ^d
	Non-roasting	40	78.84±5.84 ^b	139±13.99 ^c
		60	87.34±2.67 ^{ab}	224±8.77 ^a
		20	62.17±0.84 ^c	73.7±5.20 ^d
	Non-roasting	40	87.42±1.25 ^{ab}	165±5.42 ^b
		60	92.84±0.34 ^a	235±14.11 ^a

¹⁾Material before extrusion cooking.

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

총 페놀 함량

페놀성 화합물은 항산화 물질로서 다양한 구조와 분자량을 가지며 분자 내의 phenolic hydroxyl기가 단백질 등과 결합하는 성질에 의해 항산화와 항암, 항균 등의 다양한 생리활성을 나타낸다(6). 압출성형물과 RAW의 총 페놀 함량은 Table 5에 나타내었다. 압출성형 처리구와 RAW 모두 카카오 빈의 함량이 증가할수록 총 페놀 함량이 증가하였다. RAW의 RC 20% 첨가군이 NRC 20% 첨가군보다 높은 것을 제외하고 RAW와 압출성형물에서 NRC 첨가군이 RC 첨가군보다 총 페놀 함량이 높았다. de Brito 등(15)은 카카오 빈을 열처리하였을 때 생두보다 총 페놀 함량이 감소한다고 하였다. 이는 카카오 빈 내의 단백질 및 다당류와 복합체를 이루는 페놀이 열처리에 의해 가수분해 되어 나타나는 것으로 RAW가 압출성형물보다 높은 총 페놀 함량을 나타낸 본 실험과 일치하였다. RC 첨가군도 열처리의 영향으로 NRC 첨가군보다 페놀 함량이 감소한 것으로 판단된다.

요 약

본 실험은 카카오 빈의 함량(0, 20, 40, 60%)을 달리하여 쌀가루와 압출성형물을 제조하여 물리화학적인 특성을 관찰하고자 하였다. 공정 조건은 수분 함량 25%, 스크루 회전 속도 200 rpm, 사출구온도 130°C로 조절하였다. 팽화율은 카카오 빈의 함량이 증가할수록 감소하였다. 밀도와 비밀도, 겉보기 탄성계수는 카카오 빈의 함량이 증가함에 따라 증가하였고, 파괴력은 카카오 빈의 함량이 증가할수록 감소하였다. 수분용해지수와 수분흡착지수는 압출성형 공정 후 모두 증가하였다. 카카오 빈의 첨가량이 증가할수록 명도는 감소하였고 적색도는 증가하였으며, 황색도는 무처리구(RAW)에서 카카오 빈이 증가함에 따라 증가하였지만, 압출성형 공정 후 카카오 빈이 증가함에 따라 감소하였다. 색도차는

카카오 빈의 함량이 증가할수록 증가하였다. 페이스트 점도는 카카오 빈의 함량이 증가할수록 모든 조건에서 감소하였으며, 압출성형을 한 모든 실험군과 RAW의 roasted 카카오 빈(RC) 첨가군에서 저온최고점도(CPV)를 나타내어 낮은 온도에서도 점성을 나타내는 특성을 보였다. 총 페놀 함량은 non-roasted 카카오 빈(NRC) 첨가군이 RC 첨가군보다 높았으며, DPPH 라디칼 소거능은 압출성형한 NRC 첨가군에서 가장 높게 나타났다. 결론적으로 카카오 빈 첨가가 쌀·카카오의 팽화 특성에 영향을 미치며, 카카오 빈의 총 페놀 함량은 로스팅과 압출성형에 의해 감소하였지만, DPPH 라디칼 소거능은 로스팅을 하지 않고 압출성형 하였을 때 증가하였다.

REFERENCES

- Park SW, Woo CJ, Chung SK, Chung KT. 1994. Antimicrobial and antioxidative activities of solvent fraction from *Humulus japonicus*. *Korean J Food Sci Technol* 26: 464-470.
- Hancock BL. 1994. Cocoa bean production and transport. In *Industrial Chocolate Manufacture and Use*. 2nd ed. Beckett ST, ed. Blackie Academic and Professional, London, UK. p 8-24.
- Jinap S. 1994. Organic acids in cocoa beans. *Asean Food J* 9: 3-4.
- Porter LJ, Chan BG. 1991. Cacao procyanidins: major flavanoids and identification of some minor metabolites. *Phytochemistry* 30: 1657-1663.
- An BJ. 1998. Isolation of new polyphenol compounds from cacao. *Chocolate and Cacao International Symposium*, Seoul, Korea. p 93-105.
- 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.
- Castillejo G, Bullo M, Anguera A, Escribano J, Salas-Salva-

- do J. 2006. A controlled, randomized, double-blind trial to evaluate the effect of a supplement of cocoa husk that is rich in dietary fiber on colonic transit in constipated pediatric patients. *Pediatrics* 118: 641-648.
8. Feldberg C. 1969. Extruded starch-based snacks. *Cereal Sci Today* 14: 211-214.
 9. Cabrera J, Zapata LE, de Buckle TS, Ben-Gera I, Sandoval AM, Shomer I. 1979. Production of textured vegetable protein from cottonseed flours. *J Food Sci* 44: 826-830.
 10. Puski G, Konwinski AH. 1976. Process of making a soy-based meat substitute. *US Patent* 3950564.
 11. Kum JS, Lee HY, Shin MG, Yoo MR, Kim KH. 1994. Properties of modified rice starch by physical modification. *Korean J Food Sci Technol* 26: 428-435.
 12. Park MK, Lee KH, Kang SA. 2006. Effect of particle size of rice flour on popping rice bread. *Korean J Food Cook Sci* 22: 419-427.
 13. Kown IB, An BJ, Yu JH, Lee SY. 1993. Structure determination of anti-plaque agents for prevention of dental caries from cacao bean husk. *Korean J Biotechnol Bioeng* 8: 69-74.
 14. Kim YS, Lee JY, Cho YJ, An BJ. 2012. Anti-oxidative and anti-inflammatory effects of the solvent fraction from *Theobroma cacao* L. extract. *J Life Sci* 22: 1330-1338.
 15. de Brito ES, Garcia NHP, Gallao M, Cortelazzo AL, Fevereiro P, Braga MR. 2000. Structural and chemical changes in cocoa (*Theobroma cacao* L) during fermentation, drying and roasting. *J Sci Food Agric* 81: 281-288.
 16. Ondo SE, Ryu GH. 2013. Physicochemical and antioxidant properties of extruded cornmeal with natural cocoa powder. *Food Sci Biotechnol* 22: 167-175.
 17. Payne FA, Taraba JL, Saputra D. 1989. A review of puffing processes for expansion of biological products. *J Food Eng* 10: 183-197.
 18. Kang SH, Ryu GH. 2001. Improvement in the Yukwa manufacturing by extrusion process with CO₂ gas injection. *Food Sci Biotechnol* 10: 1-6.
 19. AOAC. 1990. *Official methods of analysis*. 15th ed. Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC, USA. p 8-35.
 20. 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.
 21. 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.
 22. Ryu GH, Ng PKW. 2001. Effects of selected process parameters on expansion and mechanical properties of wheat flour and whole cornmeal extrudates. *Starch - Stärke* 53: 147-154.
 23. AACC. 1983. *Approved methods*. 8th ed. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN, USA. Method 56-20.
 24. RVA Manual. 1995. RVA-3 series operation manual using Dos thermocline software. Newport Scientific, Narrabeen, Australia.
 25. Brand-Williams W, Cuvelier ME, Berset C. 1995. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT - Food Sci Technol* 28: 25-30.
 26. Slinkard K, Singleton VL. 1997. Total phenol analysis: Automation and comparison with manual methods. *Am J Enol Vitic* 28: 49-55.
 27. We GJ, Lee I, Cho YS, Yoon MR, Shin M, Ko S. 2010. Development of rice flour-based puffing snack for early childhood. *Food Eng Prog* 14: 322-327.
 28. Gu BJ, Ryu GH. 2011. Effects of die geometry on expansion of corn flour extrudate. *Food Eng Prog* 15: 148-154.
 29. 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.
 30. Chinnaswamy R, Hanna MA. 1990. Macromolecular and functional properties of native and extrusion-cooked corn starch. *Cereal Chem* 67: 490-499.
 31. Lee SH, Kim CK. 1994. Optimization for extrusion cooking conditions of rice extrudate by response surface methodology. *Korean J Food Nutr* 7: 137-143.
 32. Mason WR, Hosney RC. 1986. Factors affecting the viscosity of extrusion-cooked wheat starch. *Cereal Chem* 63: 436-441.
 33. Tie J, Kim MH, Ryu HJ, Lee KH, Han MS, Cho SS, Lee HK, Ryu GH. 2008. Quality characteristics of rice cake (Injulmi) made with traditional process and instant Injulmi machine and different steeping time. *Food Eng Prog* 12: 97-106.
 34. Jeong HS, Min YK, Toledo RT. 2002. Effects of low temperature extrusion method on the physical and cell structure of pregelatinized rice flour extrudate. *Food Eng Prog* 6: 145-151.
 35. EL-Dash AA, Gonzales R, Ciol M. 1980. Response surface methodology in the control of thermoplastic extrusion of starch. In *Extrusion Cooking Technology*. Jowitt R, ed. Elsevier Applied Science Publishers, New York, NY, USA. p 51-74.
 36. Suh YS, Lee SH, Shang Y, Lee WJ. 2015. Effects of roasting conditions on the physicochemical properties of *Coffea arabica* beans. *Korean J Food Preserv* 22: 690-698.