

압출성형 공정변수가 압출성형 비지의 이화학적 특성에 미치는 영향

정상현 · 권경태¹ · 류기형*
공주대학교 식품공학과, ¹한가람gf

Effects of Extrusion Process Variables on the Physicochemical Characteristics of Extruded Biji

Sang-Hyun Cheong, Kyung-Tae Kwon¹, and Gi-Hyung Ryu*

Department of Food Science and Technology, Kongju National University
¹Hangaram gf

Abstract

This study aims to investigate the physicochemical properties of extruded Biji. As the extrusion process variables, the barrel temperature and the moisture content were adjusted at barrel temperatures of 120, 140, and 160°C and 35, 45% respectively. L-value (lightness) increased as the moisture content and barrel temperature increased from 35% to 45% and 120°C to 160°C. In contrast, decreasing a-value and b-value resulted in increasing moisture content and barrel temperature. Total sugar, DPPH (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl) radical-scavenging activity, ABTS (2,2'-azino-bis-(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid)) radical scavenging activity, and total phenolic compound were increased by the extrusion process. The water solubility index (WSI) and dietary fiber of the extruded biji decreased to 3.9% and 592.6 mg/g compared to the non-extruded biji of 12.3% and 592.6 mg/g. According to the result of this study, the extruded biji could be used in various kinds of food processing, and future study is needed to find the optimum condition of the extrusion.

Key words: extrusion, extruded biji, process variables, antioxidant

서 론

대두는 콩과 식물로 만주지방이 원산지이며, 기원전 4-5세기경부터 우리나라에서 재배가 시작된 것으로 기록되어 있다(Choi et al., 2000). 최근 대두의 각종 기능성 및 생리활성 물질들이 보고되면서 건강식품 소재로 인식되어 다양하게 활용되고 있다(Stephen, 1999). 대두에는 대두단백, 펩티드, 올리고당, 인지질, 이소플라본, 사포닌, 무기질과 비타민 등 인체에 유익한 성분을 포함하고 있고, 이러한 성분들은 항산화효과 및 항암능력을 가지고 있다고 알려져 있다(Yoon et al., 1996; Devanand et al., 2007). 비지에는 많은 양의 수용성 물질이 빠져나간 상태이지만, 양질의 단백질과 풍부한 섬유소를 비롯해 인체에 필요한 다양한 영양성분들을 포함하고 있다(Shurtliff & Aoyagi, 1995). 특히,

비지는 단백질 섭취량에 따른 체중 증가량의 비율을 나타내는 값인 단백질 효율비(protein efficiency ratio, PER)가 대두, 두유 및 두부 중에서 가장 높은 우수한 단백질 자원이다(Hackler et al., 1963). 또한 비지의 식이 섬유소는 citrus 펙틴과는 다른 다량의 중성당을 함유한 펙틴 다당류인 것으로 알려져 있다(Yamaguchi et al., 1996). 비지에 남아있는 단백질은 다른 식품 단백질에서 부족하기 쉬운 함황 아미노산과 lysine이 비교적 많아서 양질의 단백질로 평가되고 있으며 daidzein, genistein 및 L-carnitine과 같은 isoflavone 또는 β -conglycinin 및 glycinin을 풍부하게 함유하고 있다(Hackler et al., 1967).

비지는 가축사료로 사용되기도 하지만 수분함량이 높아 건조 비용이 많이 들고, 부패 및 변질이 쉬워 보관상의 어려움이 있다(Woo et al., 2001). 또한 비지는 대두의 껍질 부분을 포함한 비수용성 물질로 구성되어 있어 소화성이 좋지 않아 현재 일부분만이 대두유 생산에 활용되고 나머지는 가축의 사료로 이용되거나 부패된 상태로 폐기처리되고 있는 실정이라 식량 자원의 낭비뿐만 아니라 환경오염도 초래하고 있다(Hackler et al., 1963; Yamaguchi et al., 1996). 따라서 비지의 활용은 부산물의 이용이라는 측면

*Corresponding author: Gi-Hyung Ryu, Department of Food Science and Technology, Kongju National University, Yesan, Choongnam, 32439, Korea
Phone: +82-10-8880-0906
E-mail: ghryu@kongju.ac.kr
Received December 6, 2017; revised January 10, 2018; accepted January 16, 2018

면에서 뿐만 아니라 환경 오염원의 처리비용 절감이라는 측면에서 필요하다.

압출성형 공정은 독립변수인 수분함량, 스크루 회전속도, 배럴온도, 시료투입량, 사출구 크기 및 모양 등의 변화에 따라 종속변수인 압력, 점도, 비기계적 에너지 등을 제어하여 목적하는 제품을 다양한 특성의 제품으로 생산할 수 있으며(Gu & Ryu, 2011), 혼합, 분쇄, 가열, 성형, 건조와 같은 단위조작이 단시간에 일어나므로 다른 열처리 가공공정과 비교하여 효율적이고 경제적인 공정이다.

또한 식품에서 이용되는 압출성형은 제조되는 제품의 특성에 따라 수분함량, 스크루 회전속도, 사출구의 구조, 스크루 배열 등을 조절하여 전분의 수화, 팽윤, 호화 및 텍스트리화, 단백질의 변성, 효소의 불활성화, 독성물질의 파괴, 조직 팽창 및 밀도조절, 갈색화 반응 등이 일어나는 장점이 있다(Lee et al., 2006). Kim & Ryu (2013)에 의하면 압출성형공정 중에 발생하는 고온, 고압 및 고전단력이 원료의 분자적 구조 특성을 효율적으로 변화시킨다고 보고하였으며, 압출성형공정은 원료의 배합과 공정변수의 조절이 가능하여 물리적 효과를 주어 원료의 구조를 단순화시킬 수 있다고 보고되어 있다(Lee & Schwarz, 1994). 국내에서 압출성형을 이용하여 식물 세포벽의 구조를 변화시켜 물성을 개선하고 천연 생고분자 식품소재 생산하고자 한 연구는 곡류, 사과박, 해조류를 대상으로 시작되었으며(Kim et al., 1994), 최근에 고분자 플라스틱, 식품, 사료, 생물 산업 및 의약품 산업 등 다양한 분야에서 응용되고 있다(Han et al., 2007). 현재 압출성형 공정을 이용한 기술은 식품가공 생산에 널리 적용 되고 있으나, 비지를 이용한 압출성형에 대한 연구는 Ryu (1995)의 압출성형공법을 이용한 비지의 중간소재 식품화에 관한 연구와 Han et al. (2002)의 까나리 액젓 부산물과 비지가 혼합된 압출성형소재의 식이효율 증가 등의 연구 결과 등이 발표 되었지만 압출성형 공정을 통한 기능성 증가에 대한 연구는 아직까지 미비한 실정이다.

따라서 본 연구는 다양한 기능성 물질인 비지를 식품에 효과적으로 활용할 수 있는 가능성을 제시하기 위한 방안으로 수분함량, 스크루 회전속도 및 용융물의 온도 조절에 따른 압출성형 비지의 이화학적 특성에 대해 조사하였다.

재료 및 방법

실험재료

본 실험에 사용된 비지는 두유 생산 시 부산물로 얻어지는 원료로서 정식품(Jung's Food, Chungju, Korea) 으로부터 제공 받았다. 두유제조 부산물로 생성된 콩비지는 70°C에서 12시간 열풍 건조 후 입도를 80 mesh로 하여 실온에서 보관하며 실험재료로 사용하였다.

압출성형 공정

압출성형 비지의 제조에는 자체 제작한 실험용 쌍축 압출성형기(Incheon Machinery, Incheon, Korea)를 사용하였으며, 스크루 직경은 30.0 mm, 직경과 길이의 비(L/D ratio)는 23:1이었고, 사출구는 원형으로 직경이 3.0 mm인 것을 사용하였다. 스크루 배열은 Fig. 1과 같다. 원료 투입량은 120 g/min으로 고정하였고 스크루 회전속도는 200, 300 rpm으로 조절하였으며, 수분함량은 35, 45%로 조절하였다. 배럴온도는 전열기와 냉각수를 사용하여 120, 140, 160°C로 조절하였다(Table 1). 압출성형 비지는 열풍건조기(DS-520SS, Daewonsci Co., Bucheon, Korea)에서 60°C 조건으로 8시간 건조하였으며, 분쇄기(MQ745, Braun Co., Aschaffenburg, Germany)를 이용하여 분쇄하였다. 시료는 1차 50 mesh 표준체(Testing Sieve, Chunnggye Sanggong Co., Gunpo, Korea)를 통과하였고, 2차 80 mesh 표준체를

Table 1. Extrusion conditions and sample number

| Sample No. | Screw speed (rpm) | Barrel temperature (°C) | Moisture (%) | |
|------------|-------------------|-------------------------|--------------|----|
| #1 | 200 | 120 | 35 | |
| #2 | | | 45 | |
| #3 | | 140 | 35 | |
| #4 | | | 45 | |
| #5 | 300 | 160 | 35 | |
| #6 | | | 45 | |
| #7 | | | 120 | 35 |
| #8 | | | | 45 |
| #9 | | 140 | 35 | |
| #10 | | | 45 | |
| #11 | | 160 | 35 | |
| #12 | | | 45 | |

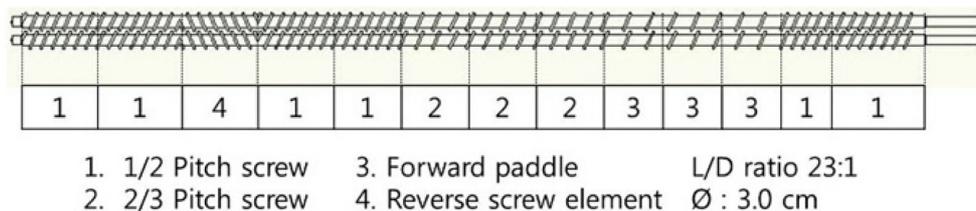


Fig. 1. Screw configuration used in this experiment (model THK 31T).

통과한 분말을 시료로 사용하였다.

일반성분

AOAC (2005)법에 따라 비지 시료 5g의 조단백, 조지방 및 조회분 함량을 Kjeldahl Method, Soxhelt Method 및 550°C 건식 회화법으로 측정하였다. 수분 함량은 105°C에서 30분간 수분분석기(HB43-S Halogen, Mettler Toledo, Columbus, OH, USA)를 이용하여 측정하였다. 탄수화물 함량은 100에서 조단백 함량, 조지방 함량, 조회분 함량, 수분 함량을 뺀 값을 사용하였다. 각 실험은 3회 반복하여 얻은 평균값을 사용하였다.

팽화율

직경 팽화율은 캘리퍼스(CD-15C, Mitutoyo Co., Tokyo, Japan)로 10회 측정하여 사출구의 직경과 압출성형 비지 직경비의 평균값으로 산출하였고, 비길이는 단위 무게당 길이의 비로 식 (1)을 이용하여 평균값을 산출하였다.

$$\text{Expansion ratio} = \frac{D_{\text{extrudate}}}{D_{\text{die}}} \times 100 \quad (1)$$

$D_{\text{extrudate}}$: diameter of extrudate

D_{die} : diameter of die

수분용해지수

압출성형비지의 수용성 성질을 분석하기 위해 AACC (1983)법에 따라 수분용해지수(water solubility Index, WSI)를 측정하였다. 수분용해지수는 시료 1.5g에 DW 30 mL를 가하여 30°C의 항온수조(BF-45SB, Biofree Co., Seoul, Korea)에서 30분간 진탕교반한 후 원심분리기(H-1003-3, Hanil Science Industrial Co., Gangneung, Korea)에서 3000 rpm으로 20분간 원심분리하였다. 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 3회 반복 측정하여 평균값을 구하고 식 (2)를 이용하여 수분용해지수를 계산하였다.

$$\text{WSI (\%)} = \frac{\text{Dry solid wt. recovered by evaporating the supernant}}{\text{Dry sample wt.}} \times 100 \quad (2)$$

색도

압출성형 비지를 분쇄하여 80 mesh 표준체를 통과한 분말을 색도계(DP-400 Chroma meter, Minolta Konica, Tokyo, Japan)를 이용하여 명도(lightness, L), 적색도(redness, a), 황색도(yellowness, b) 값을 3회 반복 측정하여 그 평균값을 사용하였으며, 이 때 사용한 표준 백색 판의 L = 97.22,

a = 0.32, b = 2.47이었다.

식이섬유함량

압출성형 비지의 식이섬유 정량은 AOAC (2005)법을 이용하여 측정하였다. 총식이섬유의 측정은 시료 1g을 각각의 비이커에 넣고 0.08 M-sodium phosphate monobasic 50 mL을 넣은 뒤, 0.1 mL의 α -amylase를 혼합하고, 95°C 수조에 15분간 반응을 시켰다. 실온에서 냉각 처리 후 pH를 7.5±0.2가 되도록 하고 0.27 N-NaOH를 혼합하여 완충용액에 희석된 5 mg/mL의 protease를 각각의 비커에 넣어 60°C 항온수조에서 30분간 반응을 시킨 뒤 실온냉각 처리를 하였다. pH 4.0-4.6이 되도록 0.325 M-HCl을 가하여 0.1 mL의 amyloglucosidase를 첨가한 후 30분간 반응시킨 다음, 반응을 멈추기 위해 95% ethanol을 가하였다. 규조토가 도포된 유리여과기를 사용하여 여과 후 DW, 95% ethanol, acetone으로 세척하였다. 세척된 여과기를 105°C에서 항량까지 건조한 후, 평균 잔사 중량(Residue)을 측정하고 각각의 잔사 단백질(Protein)과 회분(Ash)값의 중량을 측정하여 그 값을 빼 주었다. 그 후, 공시험 잔사의 단백질 함량과 회분량을 측정하여 보정 후 총식이섬유 함량을 정량 하였다.

불용성 식이섬유의 측정은 총식이섬유에서 얻은 잔사에 4배 용량의 95% 에탄올을 가한 후 60°C에서 1 시간 동안 침지하여 규조토를 도포한 유리여과기를 사용해 여과 하고, 78% ethanol, 95% ethanol, acetone 순으로 세척하여 건조 하였다. 건조한 잔사의 단백질과 회분을 측정하여 식 (3)에 대입하여 불용성 식이섬유 함량을 계산하였으며, 수용성 식이섬유는 총식이섬유와 불용성 식이섬유의 차로 계산하였다.

$$\text{Dietary fiber (g/100g)} = \frac{R - P - A - \text{Blank}}{S} \times 100 \quad (3)$$

R: residue weight

P: protein weight

A: ash weight

S: sample weight

환원당

환원당 함량은 DNS (Miller, 1959)법으로 측정하였다. 시료 0.1g을 DW 10 mL에 녹여 진탕한 후 3,000 rpm에서 20분간 원심분리 하였다. 여과된 용액 1 mL를 시험관에 옮겨 DNS용액 3 mL을 가하고 끓는 물에서 5분간 반응시킨 후 찬물에서 15분간 냉각하였다. DW를 가하여 25 mL로 mess up한 후 UV/VIS spectrophotometer (WPA Lightwave II, Biochrom Ltd., Cambourne, UK)를 이용하여 550 nm에서 흡광도를 측정하였다. 환원당의 표준물질로는 D-glucose를 사용하였다.

총당

총당 함량은 phenol-H₂SO₄ (Dubois, 1956)법을 정량하였다. 건조분말 시료 1 g에 DW 100 mL를 가하여 80°C에서 2시간 환류냉각 추출한 뒤 Whatman No. 2 여과지로 여과한 여액에 DW를 가하여 500 mL로 정용하여 시료액을 만들었다. 시료액 1 mL에 5% 페놀수용액 1 mL를 가한 뒤 진한황산(98% v/v) 5 mL를 가하여 혼합하고 상온에서 15분간 방치하여 반응시켰다. 이를 UV/VIS Spectrophotometer를 이용하여 550 nm에서 흡광도를 측정하였고 D-glucose를 이용하여 검량곡선을 작성하였다.

압출성형 비지의 추출

압출성형 된 비지는 그 조직이 형성되지 않았으나 원료 비지에 비해 표면이 단단하고 약간의 뭉침 현상이 발생하였다. 따라서 원활한 추출을 위해 압출성형된 비지를 분쇄하고 입도를 80 mesh로 하여 시료 200 g에 유기용매인 70% methanol을 10배수 가하여 12시간 동안 150 rpm에서 교반한 후, 초음파 추출기를 사용하여 3시간 동안 40°C에서 추출하였다. 추출물들은 Advantec NO. 2 filter paper를 사용하여 진공 여과한 다음 얻어진 여액을 Cooling Vacuum Evaporator (N-1110S-W, TOKYO RIKAKIKAI Co., Tokyo, Japan)를 사용하여 40°C에서 감압농축 하였다. 농축액은 4°C에서 저장하여 DPPH Radical 소거능, ABTS Radical 소거능, total phenolic 함량을 측정하였다.

DPPH Radical 소거활성 측정

DPPH Radical 소거능은 Blois (1958)법을 변형하여 측정하였다. 추출물 100 µL에 DPPH 용액 0.2 mM, 50 µL를 가하고 10분 동안 반응시킨 후 흡광도의 변화를 517 nm에서 측정하였다. DPPH 항산화능은 시료용액의 첨가구와 무 첨가구의 흡광도 감소율로 계산하였고, DPPH 항산화 활성이 50% 감소하는데 필요한 시료의 농도인 RC₅₀ 값으로 나타내었다.

ABTS Radical 소거활성 측정

ABTS Radical 소거활성 측정은 Blois (1958)법을 변형하여 측정하였다. 즉, 7 mM ABTS와 2.45 mM potassium persulfate 용액을 혼합하여 하루 동안 암소에 방치해 ABTS^{•+}를 형성시킨 후, 이 용액을 734 nm에서 0.7-0.9가 되도록 흡광계수를 이용하여 DW로 희석하였다. 추출물 50 µL에 희석된 ABTS^{•+} 용액 100 µL를 가해 흡광도의 변화를 정확히 5분 뒤에 측정하였다. ABTS의 항산화능은 시료용액의 첨가구와 무 첨가구의 흡광도 감소율로 계산하였고, ABTS 항산화 활성이 50% 감소하는데 필요한 시료의 농도인 RC₅₀ 값으로 나타내었다.

총 페놀 함량 측정

총 폴리페놀의 함량은 분석방법으로 널리 사용되고 있는

Gutfiger (1981)법을 변형하여 측정하였다. 희석액 100 µL에 Folin-Ciocalteu 용액 100 µL를 가하고 3분간 방치한 다음 1 mL의 0.7 M-Na₂CO₃ 용액을 가하였다. 이 혼합액을 60분 동안 방치한 후, UV/VIS spectrophotometer를 사용하여 750 nm에서 흡광도를 측정하였다. 시료의 총 폴리페놀 함량은 tannic acid로 표준곡선을 작성하여 계산하였다.

통계처리

결과의 통계처리는 SPSS (version 23.0, SPSS Inc., Chicago, IL, 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

일반성분

압출성형 비지의 일반성분은 Table 2에 나타내었다. 압출성형 비지의 경우 원료비지와 비교하여 수분, 회분에서 유의적인 차이가 나타나지 않았으며, 단백질의 함량은 31.4±0.80에서 29.5±0.17로 유의적인 차이를 나타내었다. 하지만 원료 비지와 압출성형 비지의 WSI를 비교하였을 때, 압출성형 비지의 WSI 값이 매우 낮은 것을 확인할 수 있는데 압출성형시 비지가 고온에 노출되어 단백질 변성이 일어나 소량의 단백질만 소실된 것으로 판단되며, 이는 압출성형 시 열 변성된 콩 단백질은 내부의 -SH기와 소수성 아미노산 잔기가 분자표면에 노출되어 분자간의 S-S결합이나 소수결합이 형성되면서 수용성인 주 단백질이 물에 불용화 되기 때문이라는 Woo & Kim (2001)의 연구결과와도 유사함을 확인하였다. 반면 조지방 함량은 21.8±0.82에서 15.4±0.40로 압출성형 후 감소하였는데, 이는 압출성형 시 용융물이 강한 압력을 받으면서 지방이 추출되어진 것으로 사료된다. Sio (1971)의 연구결과에서는 식물성 단백질인 대두 단백질의 농도가 증가할수록 압출성형물의 조직이 단단했다고 하였는데, 본 연구에서는 단백질의 함량은 조직형성에 영향을 나타내지 못하였다. 압출성형 후 조지방의 감소로 인하여 탄수화물의 함량이 36.01±1.91에서 46.1±0.74로 증가하였다.

팽화율

수분 주입량과 스크루 회전속도, 온도의 변화에 따른 압출성형 비지의 팽화율은 Table 3과 같다. 비지의 경우 단독으로 압출성형 하였을 때 팽화가 일어나지 않았고, 고온 고압에 의한 조직화 정도가 약한 성형현상만 관찰되었다. 이는 비지 내에 유분이 다량 존재하고 흐름성이 적어 원료의 균일한 주입이 일어나지 못하여 압출성형에 영향을 미쳤을 것으로 판단되며, 또한 스크루 내부에서 지질이 추출

되어 caking 현상이 발생하여 균일한 압력이 전달되지 않아 팽화가 되지 않은 것으로 사료된다.

수분용해도

압출성형 비지의 수분용해도는 Table 3과 같다. 압출성형 후 비지는 원료 비지 12.3±0.10%에 비해 스크루 회전속도 200 rpm, 용융물 온도 120°C, 수분함량 35%에서 3.9±0.10%로 크게 감소하였으며, 스크루 회전속도 300 rpm, 용융물 온도 160°C, 수분함량 35%에서 6.6±0.26%로 가장 높게 나타났다. 원료비지의 수분함량이 7%에서 35%로 증가할수록 수분용해도는 감소하는 경향을 보였으며, 수분주입량의 증가에 따라 수분용해도가 감소된다는 Stojceska (2008)의 보고와도 일치하였다. 또한 스크루 회전속도가 200 rpm에서

300 rpm으로 증가하고, 용융물 온도가 120°C에서 160°C로 높아짐에 따라 수분용해도는 5.8±0.10에서 6.6 ±0.26로 증가하였다. 압출성형공정을 통해 수분용해지수는 증가하였으며 이는 수분주입량과 용융물 온도를 조절하여 제조한 카사바 전분 압출성형물의 특성 결과와 동일한 경향을 나타내었다(Serge et al., 2011). 압출성형공정을 통해 수분용해지수가 증가한 원인은 수분함량, 스크루 회전속도, 용융물 온도와 비기계적 에너지에 의한 단백질 구조의 파괴가 진행되어 수용성 다당류의 양이 증가되었기 때문이다(An et al., 2014).

색도

압출성형 비지의 명도(L), 적색도(a), 황색도(b) 값은 Table 3과 같다. 명도는 배럴온도 120°C, 스크루 회전속도

Table 2. Approximate composition of extruded biji

| Sample No. | Moisture content (%) | Protein (%) | Fat (%) | Carbohydrate (%) | Ash (%) |
|------------|---------------------------|------------------------|------------------------------|----------------------------|-------------------------|
| Control | 7.3±0.0 ^{a*} | 31.4±0.80 ^a | 21.8±0.82 ^a | 36.0±1.91 ^c | 3.5±0.35 ^{a,b} |
| #1 | 7.5±0.17 ^{b,c} | 29.3±0.92 ^b | 17.4±0.35 ^b | 42.4±1.23 ^{c,d} | 3.4±0.20 ^b |
| #2 | 7.5±0.00 ^{b,c} | 29.2±0.70 ^b | 17.1±0.10 ^{b,c,d} | 42.8±0.62 ^d | 3.4±0.17 ^b |
| #3 | 7.6±0.17 ^{a,b,c} | 29.2±0.30 ^b | 16.5±0.10 ^{c,d,e} | 43.2±0.44 ^{c,d} | 3.5±0.10 ^{a,b} |
| #4 | 7.5±0.10 ^{b,c} | 29.3±0.69 ^b | 16.3±0.30 ^{d,e,f} | 43.2±0.61 ^{c,d} | 3.7±0.26 ^{a,b} |
| #5 | 7.6±0.00 ^{a,b,c} | 29.4±0.52 ^b | 15.4±0.40 ^g | 44.0±0.10 ^{b,c,d} | 3.6±0.17 ^{a,b} |
| #6 | 7.6±0.00 ^{a,b,c} | 29.5±0.17 ^b | 16.6±0.30 ^{c,d,e} | 42.8±0.69 ^d | 3.5±0.30 ^{a,b} |
| #7 | 7.7±0.20 ^{a,b} | 27.7±0.70 ^c | 16.4±0.46 ^{c,d,e} | 44.5±1.18 ^{b,c} | 3.7±0.17 ^{a,b} |
| #8 | 7.5±0.26 ^{b,c} | 29.1±0.35 ^b | 16.7±0.20 ^{b,c,d,e} | 42.8±0.40 ^d | 3.9±0.10 ^a |
| #9 | 7.9±0.00 ^a | 29.0±0.44 ^b | 17.1±0.35 ^{b,c} | 42.5±0.26 ^d | 3.5±0.26 ^{a,b} |
| #10 | 7.8±0.26 ^{b,c} | 28.9±0.75 ^b | 16.2±0.44 ^{e,f} | 43.6±1.30 ^{b,c,d} | 3.5±0.10 ^{a,b} |
| #11 | 7.6±0.10 ^{b,c} | 27.0±0.38 ^c | 15.6±0.17 ^{f,g} | 46.1±0.74 ^a | 3.7±0.20 ^{a,b} |
| #12 | 7.7±0.17 ^{a,b} | 27.7±0.20 ^c | 15.9±0.79 ^{f,g} | 45.1±0.62 ^{a,b} | 3.6±0.20 ^{a,b} |

*Means ±SD

^{a-g}Means with different letters within a column are significantly different ($p<0.05$) by Duncan's multiple range test.

Table 3. Expansion, water soluble index and color contents characteristic of extruded biji

| Sample No. | Expansion ratio (%) | WSI (%) | Color ¹⁾ | | |
|------------|----------------------------|------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------------|
| | | | L | a | b |
| Control | - | 12.3±0.10 ^a | 68.39±0.02 ^b | 5.27±0.01 ^f | 22.50±0.01 ^a |
| #1 | 1.08±0.01 ^{a*} | 5.8±0.10 ^c | 60.83±0.28 ^c | 7.22±0.26 ^a | 19.50±0.07 ^{b,c} |
| #2 | 1.05±0.02 ^a | 3.9±0.10 ^f | 65.37±0.23 ^c | 6.25±0.22 ^{c,d} | 19.29±0.36 ^{b,c,d} |
| #3 | 0.96±0.03 ^b | 6.0±0.10 ^c | 57.25±0.29 ^f | 6.42±0.10 ^c | 19.01±0.22 ^{d,e} |
| #4 | 0.95±0.02 ^{b,c} | 4.5±0.17 ^e | 61.03±0.51 ^e | 6.11±0.16 ^{d,e} | 18.88±0.36 ^e |
| #5 | 0.92±0.02 ^{c,d} | 6.2±0.17 ^c | 52.88±0.85 ^g | 6.75±0.05 ^b | 19.38±0.04 ^{b,c} |
| #6 | 0.94±0.01 ^{b,c,d} | 5.2±0.26 ^d | 62.72±0.51 ^d | 6.23±0.05 ^{c,d} | 19.16±0.09 ^{c,d,e} |
| #7 | 0.94±0.02 ^{b,c,d} | 5.9±0.10 ^c | 60.79±0.38 ^e | 6.11±0.16 ^{d,e} | 19.52±0.21 ^b |
| #8 | 0.91±0.02 ^d | 4.3±0.27 ^e | 69.37±0.23 ^a | 5.29±0.18 ^f | 18.12±0.19 ^f |
| #9 | 0.91±0.02 ^d | 6.2±0.30 ^c | 56.54±0.50 ^f | 6.04±0.03 ^{d,e} | 17.62±0.18 ^g |
| #10 | 0.92±0.03 ^{c,d} | 4.4±0.26 ^e | 65.55±0.21 ^f | 5.91±0.08 ^e | 19.33±0.09 ^{b,c,d} |
| #11 | 0.91±0.01 ^d | 6.6±0.26 ^b | 56.44±0.56 ^f | 5.99±0.22 ^{d,e} | 19.21±0.05 ^{b,c,d,e} |
| #12 | 0.91±0.02 ^d | 4.5±0.17 ^e | 62.42±0.82 ^d | 5.34±0.09 ^f | 17.87±0.04 ^{f,g} |

¹⁾Color : lightness(L), redness(a), yellowness(b)

*Means ±SD

^{a-g}Means with different letters within a column are significantly different ($p<0.05$) by Duncan's multiple range test.

300 rpm, 수분함량 45%인 압출성형 비지의 값이 69.37±0.23으로 가장 높은 값을 나타내었고, 배럴온도 160°C, 스크루 회전속도 200 rpm, 수분함량 35%에서 52.88±0.85로 가장 낮은 값을 나타내었다. 전체적으로 L값은 수분함량이 증가할수록, 배럴온도가 감소할수록, 스크루 회전속도가 증가할수록 높아지는 경향을 나타내었다. 이는 압출성형 중 수분함량 증가로 인해 온도가 감소되고 수분이 수증기로 되어 사출구에서 빠져 나올 때 갈변화가 덜 일어났기 때문인 것으로 생각 된다(Miwa et al., 1990). a값은 팽화온도 160°C, 스크루 속도 200 rpm에서 수분함량 35%일 때 7.22±0.26%로 가장 높은 값을 나타내었으며, 팽화온도 120°C, 스크루 속도 300 rpm, 수분함량 45%에서 5.29±0.18으로 가장 낮은 값을 나타내었다. 전체적으로 a값은 수분함량이 감소할수록, 팽화온도가 증가할수록, 스크루 속도가 낮을수록 증가하는 경향을 나타내었다. b값도 a값과 마찬가지로 수분함량이 감소할수록, 배럴온도가 증가할수록, 스크루 속도가 낮을수록 증가하는 경향을 나타냈다. Jang (2006)의 빵잎 팽화과자에 관한 연구와 Cheon & Eun (2011)의 연구에서도 일반 고구마 분말을 첨가한 팽화과자의 특성연구에서 배럴온도가 증가함에 따라 L값은 감소하고 a, b값은 증가하였다고 보고하였다. 이는 본 연구결과와도 일치하였고 즉석팽화사낵 제조과정 중 발생하는 Maillard reaction에 의한 갈변반응이 원인인 것으로 판단되며, 갈변반응은 일반적으로 온도가 높을수록 수분함량이 낮을수록 더 쉽게 일어난다는 Ha et al. (2004)의 보고와도 일치하였다.

식이섬유함량

압출성형 비지의 식이섬유 함량은 Table 4와 같다. 불용성 식이섬유(insoluble dietary fiber)는 압출성형 비지가 원료 비지에 비해 낮게 측정되었으며 300 rpm, 160°C, 수분

함량 35% 조건에서 560.08±9.87 mg/g으로 낮게 분석되었다. 또한 수용성 식이섬유(soluble dietary fiber)의 함량 역시 동일 조건에서 32.22±0.33 mg/g으로 가장 높게 측정되었다. 이는 Lee & Schwarz (1994)에 의해 보고된, 압출성형 시 발생하는 고온, 고전단력에 의해 세포벽의 분해가 일어나 불용성 식이섬유는 감소하고 수용성 식이섬유는 증가한 결과와 일치하였다. 그리고 Kim et al. (2009)의 보고에 의하면 일반적으로 불용성 식이섬유의 주요 성분인 셀룰로오스와 리그닌이 압출성형 시 발생하는 고온과 전단력의 영향으로 섬유질 구조가 파괴되어 수용성 식이섬유가 증가하였으며, 불용성 식이섬유와 수용성 식이섬유가 압출성형공정을 통하여 당류로 전환되어 총식이섬유 함량이 감소한 것으로 판단된다.

총당 및 환원당

압출성형 비지의 총당 및 환원당의 함량은 Table 4와 같다. 압출성형 비지의 총당은 압출성형을 통하여 증가하는 경향을 보였으며, 300 rpm, 160°C, 수분함량 35% 조건에서 272.18±2.79 mg/g으로 높게 분석되었다. 이는 Ryu et al. (2008)의 산삼배양근을 압출성형 하였을 때 총당의 함량이 증가함을 보였다는 결과와 Ryu & Kim (2013)의 결과와도 유사하였다. 환원당의 경우 300 rpm, 160°C, 수분함량 35% 조건에서 9.58±1.18 mg/g으로 감소하였는데, 이러한 원인은 압출성형 공정을 거치면서 높은 온도로 인해 갈변화가 환원당의 감소에 영향을 미친 것으로 판단된다.

DPPH radical 소거능

압출성형 비지의 DPPH radical 소거능은 배럴의 온도가 증가할수록, 스크루 회전속도와 수분함량이 높아질수록 증가하는 경향을 나타내었으며(Table 5), 수분함량이 45%, 스

Table 4. Dietary fiber, reducing sugar and total sugar contents of extruded biji

| Sample No. | Soluble dietary fiber (mg/g) | Insoluble dietary fiber (mg/g) | Reducing sugar (mg/g) | Total sugar (mg/g) |
|------------|-------------------------------|--------------------------------|---------------------------|------------------------------|
| Control | 24.31±0.51 ^{e*} | 581.68±9.69 ^a | 12.84±0.39 ^c | 254.73±3.45 ^f |
| #1 | 31.35±0.75 ^{c,d} | 561.25±9.53 ^b | 11.95±0.87 ^{a,b} | 263.99±3.37 ^{d,e} |
| #2 | 29.49±0.34 ^c | 563.77±8.7 ^b | 11.33±0.41 ^{a,b} | 260.52±2.93 ^e |
| #3 | 32.01±0.87 ^{a,b,c,d} | 562.14±9.62 ^b | 10.41±0.28 ^{a,b} | 267.22±3.03 ^{b,c,d} |
| #4 | 31.33±0.59 ^{c,d} | 564.68±7.89 ^b | 11.88±0.62 ^{a,b} | 264.18±2.87 ^{d,e} |
| #5 | 31.84±0.66 ^{b,c,d} | 562.83±9.77 ^b | 11.96±0.56 ^{a,b} | 269.87±2.64 ^{a,b,c} |
| #6 | 31.17±0.81 ^{c,d} | 563.02±8.58 ^b | 10.20±0.34 ^{a,b} | 267.44±2.31 ^{b,c,d} |
| #7 | 31.65±0.98 ^{b,c,d} | 562.22±9.20 ^b | 11.87±0.83 ^{b,c} | 265.74±3.01 ^{c,d,e} |
| #8 | 30.99±0.83 ^d | 562.01±8.49 ^b | 11.55±0.90 ^{a,b} | 261.67±3.22 ^{d,e} |
| #9 | 33.18±0.42 ^a | 560.09±7.74 ^b | 10.88±0.46 ^{a,b} | 271.26±2.85 ^{a,b,c} |
| #10 | 32.73±0.76 ^{a,b} | 560.55±8.86 ^a | 11.91±1.21 ^{a,b} | 270.92±2.94 ^{a,b,c} |
| #11 | 32.88±0.50 ^{a,b,c} | 560.08±9.87 ^b | 10.63±0.74 ^a | 274.91±3.86 ^a |
| #12 | 32.22±0.33 ^{a,b,c,d} | 561.03±9.79 ^b | 9.58±1.18 ^a | 272.18±2.79 ^{a,b} |

*Means ±SD

^{a-f}Means with different letters within a column are significantly different (p<0.05) by Duncan's multiple range test.

Table 5. DPPH radical scavenging activity and ABTS radical scavenging activity of extracts from extruded biji

| Sample No. | DPPH radical scavenging activity (%) | ABTS radical scavenging activity (%) | Total phenolic compound (mg/g) |
|------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------|
| Control | 9.1±0.42 ^{d*} | 33.1±0.41 ^{e,f,g} | 16.52 ^f |
| #1 | 9.3±0.00 ^{c,d} | 32.5±0.72 ^{e,f} | 16.89 ^e |
| #2 | 9.1±0.10 ^d | 32.9±0.26 ^{e,f,g} | 16.92 ^{d,e} |
| #3 | 9.8±0.00 ^{a,b,c} | 33.6±0.52 ^{c,d,e,f} | 17.18 ^{b,c,d} |
| #4 | 9.7±0.10 ^{a,b,c} | 34.2±0.36 ^{b,c,d,e} | 17.54 ^a |
| #5 | 9.9±0.17 ^{a,b} | 35.2±1.13 ^{a,b} | 16.59 ^f |
| #6 | 9.8±0.10 ^{a,b,c} | 35.7±0.72 ^a | 16.96 ^{c,d,e} |
| #7 | 9.1±0.36 ^d | 32.1±0.36 ^g | 17.23 ^{b,c} |
| #8 | 9.3±0.17 ^{c,d} | 33.2±0.78 ^{e,f,g} | 17.45 ^{a,b} |
| #9 | 9.5±0.50 ^{b,c,d} | 33.8±0.70 ^{c,d,e} | 17.38 ^{a,b} |
| #10 | 9.4±0.26 ^{b,c,d} | 33.4±0.46 ^{d,e,f} | 17.46 ^{a,b} |
| #11 | 10.1±0.44 ^a | 34.6±0.78 ^{a,b,c} | 17.33 ^{a,b} |
| #12 | 9.8±0.17 ^{a,b,c} | 34.5±0.36 ^{b,c,d} | 17.35 ^{a,b} |

*Means ±SD

**Means with different letters within a column are significantly different ($p<0.05$) by Duncan's multiple range test.

크루 회전속도 300 rpm, 용융물 온도 160°C에서 10.1±0.4%로 가장 높게 나타났다. 이는 수분함량이 증가할수록 DPPH radical 소거능의 값도 비례하여 증가하였다는 Yang & Choi (2016)의 보고와도 일치하였으며, 온도 증가로 인해 압출성형물에 함유되어 있는 단백질 펩타이드가 가수분해되면서 항산화 활성도 비례하여 향상되었다는 Choi et al. (2011)의 보고와, 열처리가 항산화 활성 효과를 증진시킨다는 Lee et al. (2014)의 보고와도 일치하고, 또한 Son & Ryu (2009)의 압출성형 백삼의 유리기 소거활성을 조사한 결과가 용융점 온도 140°C에서 압출성형한 백삼이 110°C보다 높았다는 결과와도 일치하였으며, 수삼의 증삼온도 (100-120°C) 조건을 달리하여 제조한 인삼추출물의 DPPH radical 소거능을 비교하였을 때 120°C의 고온에서 제조된 인삼에서 활성이 높았다는 Kim et al. (2000)의 연구결과와도 유사함을 확인하였다.

ABTS radical 소거능

ABTS는 비교적 안정한 free radical로서 DPPH radical 소거능과 함께 항산화 활성을 분석하는데 많이 이용되고 있으며 압출성형 비지의 ABTS radical 소거능은 Table 5와 같다. 압출성형 비지의 용융물 온도가 120°C에서 160°C로 증가함에 따라 ABTS radical 소거능은 높게 나타났으며, 스크루 회전속도가 200 rpm보다 300 rpm에서 증가하는 경향을 나타내었다. 압출성형 비지의 ABTS radical 소거능은 수분함량 45%, 스크루 회전속도 300 rpm, 용융물 온도 160°C에서 34.6±0.78%로 가장 높게 나타났다. 이는 가수량이 높을수록 ABTS radical 소거능이 증가하는 경향을 보인다는 Lee et al. (2014)의 보고와도 일치하였다.

총 폴리페놀

각각의 시료에 대한 총 폴리페놀 함량의 측정결과를 Table 5와 같다. 총 폴리페놀 함량은 압출성형 처리하지 않은 비지에서 16.52 mg/g으로 가장 낮게 나타났다. 압출성형 비지의 총 페놀함량은 수분함량 45%, 스크루 회전속도 300 rpm, 용융물 온도 140°C에서 17.46 mg/g으로 가장 높게 측정되었으며, 압출성형 조건에 따른 차이는 크지 않았다. 페놀화합물은 식물성 자원 속에서 항산화 효과와 관련이 깊은 성분으로 알려져 있으며, phenolic hydroxyl 그룹이 효소단백질을 포함하는 단백질과 2가 금속이온 및 기타 거대 분자들과 결합하는 성질을 갖기 때문에 높은 항산화효과를 가지는 것으로 보고되었다(Shin et al., 1994).

요 약

본 연구에서는 비지의 재활용과 부가가치 증진, 중간식품소재로의 활용을 위해 압출성형 비지의 이화학적 특성에 대해 살펴보았다. 압출성형 후 수분, 회분, 단백질에서 유의적인 차이가 나타났으며, 압출성형 시 지방이 추출되어 조지방 함량이 낮아지는 경향을 보였다. 압출성형의 공정 변수에 의한 비지의 팽화율의 변화는 찾아볼 수 없었는데, 이는 비지 내 유분이 원료의 정량적 주입을 방해하고 스크루 내에서 기름이 추출되며 caking 현상이 발생하여 균일한 압력이 전달되지 않아 팽화되지 않은 것으로 판단된다. 압출성형 비지의 수분용해지수는 스크루 회전속도, 배럴온도가 높을수록, 수분함량이 낮을수록 증가하는 경향을 보였으며, 압출성형 후 비지의 색도 L값은 수분함량, 스크루 회전속도가 증가할수록, 배럴온도가 감소할수록 높아지는 경향을 나타내었고, a값과 b값은 스크루 회전속도, 수분함량이 감소할수록, 배럴온도가 증가할수록 증가하는 경향을 나타냈다. 식이섬유의 경우 압출성형 시 발생하는 고온, 고전단력에 의해 불용성 식이섬유는 감소하고 수용성 식이섬유는 증가하는 경향을 보였다. 총당 및 환원당은 스크루 회전속도와 배럴온도가 높을수록, 수분함량이 낮을수록 증가하는 경향을 보였으며, 스크루 회전속도 300 rpm, 배럴온도 160°C, 수분함량 35% 조건에서 각각 274.91±3.86, 15.63±0.74 mg/g으로 높게 나타났다. DPPH radical 소거능, ABTS radical 소거능, total phenolic compound는 스크루 회전속도, 배럴온도, 수분함량이 높을수록 유의적으로 증가하였으며, 스크루 회전속도 300 rpm, 배럴온도 160°C, 수분함량 35% 조건에서 각각 10.1±0.44%, 34.6±0.78%, 17.33 mg/g으로 높게 나타났다. 연구결과 압출성형비지는 고온, 고압에 의해 팽창되어지며 표면이 단단해지고 수분함량이 낮아져 식품으로의 활용과 식품의 중간소재로 활용될 수 있음을 확인하였다.

감사의 글

본 연구는 한국연구재단의 2016년도 지역혁신창의인력양성사업(2016H1C1A1035974)에 의하여 수행된 연구 결과의 일부로 연구비 지원에 감사드립니다.

References

- AACC 1983. Approved Method of the AACC (10th ed). Method 56-20. American Association of Cereal Chemistry, St. Paul, MN, USA.
- AOAC 2005. Official Methods of Analysis. AOAC(18th ed). Association of Official Agricultural Chemists, Washington DC, USA.
- Blois MS. 1958. Antioxidant activity determination by use of stable free radical. *Nature*. 181: 1199-1200.
- Cheon SH, Eun JB. 2011. The physical properties of puffed snacks (ppeongtuigi) added with sweet potato flours. *J. Korean Soc. Appl. Biol. Chem.* 54: 147-152.
- Choi HD, Kim SS, Hong HD, Lee JY. 2000. Comparison of physicochemical and sensory characteristics of soybeans products from different cultivars. *J. Korean Soc. Agric. Chem. Biotechnol.* 43: 207-212.
- Choi MR. 1992. Characteristics and separation of dietary fiber in tofu-residue (biji). Master's thesis. Kangneung Univ., Kangwon-do, Korea.
- Chung MY, Lee SJ. 1997. Analysis of the thermal mechanical energy in food extrusion process. *Korean J. Food Sci. Technol.* 29: 65.
- Coward L, Barnes NC, Setchell KDR, Barnes S. 1993. Genistein, daidzein, and their beta.-glycoside conjugates: antitumor isoflavones in soybean foods from American and Asian diets. *J. Agric. Food Chem.* 41: 1961-1967.
- Devanand L, Luthria, Ronita Biswas, Savithiry Natarajan. 2007. Comparison of extraction solvents and techniques used for the assay of isoflavones from soybean. *Food Chem.* 105: 325-333.
- Dubois M, Gillers KA, Hamilton JK, Rdbers PA, Smith F. 1956. Colorimetric method for determination of sugar and related substance. *Anal Chem.* 28: 350-352.
- Frazier PJ, Crawshaw A, Daniels NWR, Russell Eggit PW. 1983. Optimisation of process variables in extrusion texturing of soya. *J. Food Eng.* 2: 79-103.
- Gil SK, Ryu GH. 2013. Effects of die temperature and gas injection on physical properties of extruded brown rice-vegetable mix. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 42: 1848-1856.
- Gu BJ, Ryu GH. 2011. Effect of die geometry on expansion of corn flour extrudate. *J. Food Eng. Prog.* 15: 148-154.
- Gutfiger T. 1981. Polyphenolsoils. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 58: 966-968.
- Ha JO, Lee SC, Bac HD, Park OP. 2004. Food chemistry. Dooyangsa, Seoul, Korea. pp. 218-344.
- Hackler LR, Hand DB, Steinkraus KH, Van Buren JP. 1963. A comparison of the nutritional value of protein from several soybean fractions. *J. Nutr. Sci.* 80: 205-210.
- Hackler LR, Stillings BR, Ploimeni RJ. Jr. 1967. Correlation of amino acid indexes with nutritional quality of several soybean fraction. *Cereal Chem.* 44: 638-644.
- Han GH, Lee JK, Kim BY. 2002. Production of extrudates formulated from pacific sand lance sauce by-product and dried biji. *Korean J. Food Sci. Technol.* 34: 186-193
- Han JY, Ghung KH, Ryu GH. 2008. Comparison of physicochemical properties and release characteristics of extruded tissue cultured mountain ginseng. *J. Korea Soc. Food Sci. Nutr.* 37: 1018-1024.
- 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.
- Hutchins AM, Slavin JL, Lampe JW. 1995. Urinary isoflavonoid phytoestrogen and lignan excretion after consumption of fermented and unfermented soy products. *J. Am. Diet Assoc.* 95: 545-551.
- Jang EY, Jin TY, Eun JB. 2006. Properties of puffed mulberry rice snack, ppeongtuigi by pellet with mulberry leaf and brown rice flour. *Korean J. Food Sci. Technol.* 38: 756-761.
- 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
- Kim DE, Hong SY, Kang WS, Yu CY, Lee BG, Chung IM, Lim JD. 2009. Influence of extrusion on dietary fiber profile and bioactive compound in different parts of tartary buckwheat (*Fagopyrum tataricum*). *Korean J. Medicinal Crop Sci.* 17: 379-387.
- Kim DY, Yang HC, Kim WJ, Lee YC, Kim SG. 1990. Agricultural processing. Youngji Publishers, Seoul, Korea, p 216.
- Korea agro-Fisheries & Food Trade Corporation. 2016. Deduce activation plan about domestic raw material use. report No : 11-1543000-001131-01.
- Lee CH, Yang L, Xu JZ, Yeung STV, Huang Y, Chen ZY. 2006. Relative antioxidant activity of soybean isoflavones and their glycosides. *Food Chemistry.* 90: 735-741.
- Lee FD, Kwon JH. 1998. The use of response surface methodology to optimize the Maillard reaction to produce melanoidins with high antioxidative and antimutagenic activities. *International J. Food Sci. Technol.* 33: 375.
- Lee GH. 2011. Extrusion characteristics for the snack of corn flour using twin-screw extruder. *J. Agric. Life Environ. Sci.* 23: 47-52.
- Lee HJ, Jeong HS, Park CG, Lee JH, Park CB, Kim CT, Choi AJ. 2014. Physicochemical characteristics of extruded angelica gigas Nakai depending on the extrusion processing parameter. *Korean J. Medicinal Crop. Sci.* 22: 349-362.
- Lee JK, Im BS, Ryu GH. 2006. Changes in paste viscosity of extruded buckwheat by extrusion process variables. *J. Food Eng. Prog.* 10: 92-99
- Lee MS, Kang HJ, Oh HS, Paek YM, Choue YW, Park YK, Choi TI. 2008. Effects of worksite nutrition counseling for health promotion : twelve-weeks of nutrition counseling has positive effect on metabolic syndrome risk factors in male workers korean. *Korean J. Community Nutr.* 13: 46-61.
- Lee SY, Bae YJ, Lee SY, Choi MK, Choe SH, Sung CJ. 2005. The effect of soy isoflavone on sex hormone status and premenstrual syndrome in female college students. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 38: 203-210.
- Lee WJ, Schwarz PB. 1994. Effect of twin-screw extrusion on

- physical properties and dietary fiber content of extrudates from barley/corn blends. *Food Sci. Biotechnol.* 3: 169-174.
- Miwa M, Kong ZL, Shinihara K, Watanabe M. 1990. Macrophage stimulating activity of food. *J. Agric. Biol. Chem.* 54: 1863-1866.
- Naim M, Gestetner B, Bondi A, Birk Y. 1976. Antioxidative and antihemolytic activities of soybean isoflavones. *J. Agric. Food Chem.* 24: 1174-1177.
- Pratt DE, Birac PM. 1979. Source of antioxidant activity of soybeans and soy products. *J. Food Sci.* 44: 1720-1722.
- Park JH, Kang DI, Ryu GH. 2016. Effects of screw speed, Moisture Content, and die temperature on texturization of extruded soy protein isolate. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 45: 1170-1176.
- Ryu GH. 1995. Treatment of biji by extrusion-cooking and its utilization. *Korea, Soybean Digest.* 12: 43-48.
- Ryu GH. 2003. Texturization of plant protein by using extrusion process. *J. Food Eng.* 7: 73-79.
- Ryu GH, Han JY, Chung KH. 2008. Comparison of physicochemical properties and release characteristics of extruded tissue cultured mountain ginseng. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 37: 1018-1024.
- Ryu GH, Kim CH. 2013. Effects of feed moisture on the physicochemical properties of extruded corn fibers. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 42: 427-433.
- Saio K, Kajikawa M, Wantabe T. 1971. Food processing characteristics of soybean protein. Part II. Effect of sulfhydryl groups on physical properties of tofu-gel. *Agric. Biol. Chem.* 35: 890-898.
- Sio K. 1987. Expansion and texturization mechanism of soybean properties relating to the microstructures. *Nippon Shokuhin Kogyo Garraishi.* 34: 407-408.
- Serge EO, Gu BJ, Kim YS, Ryu GH. 2011. Effects of feed moisture and barrel temperature on physical and pasting properties of cassava starch extrudate. *Korean J. Food Preserv.* 18: 271-278.
- Shin SJ, Kwon SK, Lee KH, Sung ND, Chio WY. 1994. Extraction and characterization of antibacterial components from the roots of evening primrose (*Oenothera odorata* Jacquin). *J. Agric. Sci.* 21: 54-59.
- Shurtliff W, Aoyagi A. 1995. Tofu and soymilk production. new age food study center. lafayette. CA. USA. 168-169.
- Stojceska V, Ainsworth P, Plunkett A, Ibanoglu S. 2008. The recycling of brewer's processing by-product into ready-to-eat snacks using extrusion technology. *J. Cereal Sci.* 47: 469-479.
- Stephen H. 1999. The soy revolution. Sung-Ha public, Seoul, Korea, pp 48-82.
- Wang, H.L. and Cavins, J.F. 1989. Yield and amino acid composition of fractions obtained during tofu production. *Cereal Chem.* 66: 359.
- Wiedman W, Strobel E. 1987. Processing and economic advantage of extrusion cooking in comparison with conventional processing in the food industry. in : Extrusion technology for the food industry. O' Connor, C.(ed), Elsevier Applied Science. New York. p. 145.
- Woo EY, Kim MJ, Shin WS, Lee KA, Kim KS. 2001. Production of protein hydrolyzate, that can be used as food additives, from okara. *Korean J. Food Sci. Technol.* 33: 1769-773.
- Yamaguchi F, Ota Y, Hatanaka C. 1996. Extraction and purification of pectic polysaccharides from soybean Okara and enzymatic analysis of their structures. *Carbohydr. Polym.* 30: 265-273.
- Yoon JM. 2015. Development of process technology for the nutrient fortification and health promoting of Biji. Master's thesis. Andong Univ., Andong, Korea.
- Yoon KD, Kwon DJ, Hong SS, Kim SI, Chung KS. 1996. Inhibition effect of soybean and fermented soybean products on the chemically induced mutagenesis. *J. Micro. Biotech.* 24: 525-528.