

차전자피 함량에 따른 쌀 압출성형물의 물리적 특성

이정원 · 류기형^{1*}

공주대학교 식품공학과, ¹공주대학교 식품 및 사료 압출성형 연구센터

Effects of Psyllium Husk Content on the Physical Properties of Extruded Rice Flour

Jung Won Lee and Gi Hyung Ryu^{1*}

Department of Food Science and Technology, Kongju National University

¹Food & Feed Extrusion Research Center, Kongju National University

Abstract

This study was performed to determine the effect of psyllium husk addition on the physical properties of rice extrudates. Rice-based formulations mixed with psyllium husk (0, 7, 14 and 21%) were extruded at a die temperature of 140°C, screw speed of 200 rpm, and moisture content of 20%. As the content of psyllium husk increased, expansion ratio decreased, while piece density and specific length increased. Apparent elastic modulus, breaking strength, adhesiveness, and hardness augmented with an elevation in psyllium husk content. Lightness declined as psyllium husk content furthered, while redness, yellowness, and color difference intensified. Water soluble index and water absorption index increased with an increased amount of psyllium husk. In conclusion, the addition of psyllium affected the expansion of extruded rice snack possessing hard texture, small cells, and sticky texture due to higher water absorption during hydration.

Key words: extruded rice snack, psyllium husk, dietary fiber, physical properties

서 론

쌀은 옥수수과 밀과 함께 세계 3대 곡물로 전 세계 인구의 약 반이 주식으로 사용하고 있다(Shin, 2009). 경제 성장과 서구화의 영향으로 식생활이 변화함에 따라 우리나라 국민 1인당 연간 쌀 소비량은 1970년 136.4 kg에서 2016년 61.9 kg으로 1970년대 대비 절반 이하로 감소하였다. 최근 국내 쌀의 이용 시장 현황을 살펴보면 쌀의 95%를 취반용으로 소비하고 있으며 가공식품의 형태로 소비되는 양은 5%내외로 매우 미미한 수준이다(Lee, 2016). 이렇게 쌀 소비량이 점차 감소함에 따라 쌀 가공식품의 개발을 위한 연구가 활발히 이루어지고 있으며 밀가루 내의 단백질이 알러지의 주요 원인으로 알려지면서 밀가루의 대체품으로 쌀가루를 이용한 가공식품들이 개발되고 있다(Lee & Ryu, 2013).

더불어, 최근 소비자들이 건강에 대한 관심이 높아지고 식이섬유의 기능성 및 생리적 중요성이 대두되고 있다. 식이섬유는 인체의 소화효소로는 분해되지 않는 난분해성 복합다당류로서 과거에는 영양적 가치가 없는 것으로 인식되어 왔지만 저칼로리 소재는 물론 질병개선효과 등 다양한 기능성이 인정되었다(Park *et al.*, 2017). 곡류, 두류, 과채류로부터 추출한 식이섬유를 이용한 건강기능성 식품의 개발이 활발히 이루어지고 있으며 빵, 쿠키, 스낵 등의 baked products, ready-to-eat cereal, 육가공, 음료 등에 다양하게 적용되고 있다(Choi *et al.*, 2011).

차전자피(psyllium husk)는 질경이 씨앗의 껍질로 전국 각지의 들이나 길가에 자생하고 있고 물을 흡수하여 무색의 점액질을 형성하며 점액질은 arabinose와 xylose가 주요 성분으로 알려져 있다(Shin *et al.*, 2018). 특히 차전자피는 약 80%의 수용성 식이섬유를 함유하고 있어 우수한 식이섬유 공급원이다(Raymundo *et al.*, 2014; Cheng *et al.*, 2009). 이러한 차전자피의 섭취는 혈장 내 콜레스테롤, 혈당을 감소시키는 것으로 나타났으며, 과민성 대장 증후군 및 변비의 치료에 효과적임이 밝혀졌다(Cheng *et al.*, 2009). 통상적인 식이섬유의 물 흡착력은 4배인 반면, 차전자피는 8배나 높은 물을 흡수하는 특징이 있어 수분흡수력

*Corresponding author: Gi Hyung Ryu, Department of Food Science and Technology, Kongju National University, Yesan, Chungnam, 32439, Korea.
Tel: +82-10-8880-0906
E-mail: ghryu@kongju.ac.kr
Received October 11, 2019; revised November 13, 2019; accepted November 17, 2019

이 매우 높고, 다량의 점액질을 함유하고 있어 가공 시 점도가 높은 제품을 생산하여 제품 개발에 어려움이 있다. 때문에, 주로 캡슐의 형태나 물 또는 음료에 섞는 방식으로 섭취되며 식품 산업에서는 겔화제, 점증제 등으로 이용되고 있다(Shin *et al.*, 2018; Raymundo *et al.*, 2014). 또한 식이섬유는 구성성분 간의 결합이 매우 조밀하므로 화학적, 효소적, 물리적 처리에 의한 분해가 어려워 다양한 식품소재로 이용하기 어렵다(Lee & Ryu, 2013).

압출성형공정은 고온, 고압, 고전단력은 식품원료의 분자적 구조특성을 효율적으로 변화시키며 일반적인 식품가공공정과 달리 열, 물리적 변형력 및 압력을 동시에 수반하기 때문에 식물의 조직 결합력이 약화되어 수용성 식이섬유의 용출이 용이한 공정이다(Hwang *et al.*, 1994; Lee & Ryu, 2013).

본 연구는 차전자피 기능성 팽화스낵을 개발하고자 쌀가루를 기본 원료로 하여 차전자피 함량에 따른 압출성형물의 물리적 특성을 살펴보았다.

재료 및 방법

재료

차전자피 분말은 (주)메디앤바이오(Seoul, Korea)에서 제공받아 사용하였고 쌀가루와 현미는 가온식품(Hwaseong, Korea), 귀리가루는 햇빛농산(Hwaseong, Korea), 보리가루는 (주)맑은들(Hongseong, Korea), glycerol monostearate는 (주)남영상사(Seoul, Korea), 스테비아는 (주)바이오믹스(Seoul, Korea)에서 구입하여 사용하였다.

압출성형공정

본 실험에 사용된 압출성형기는 실험용(THK31T, Incheon Machinery Co., Incheon, Korea)로 스크루 직경은 3 cm, 길이와 직경의 비(L/D ratio)는 23:1이었고, 스크루 배열은 Fig. 1과 같다. 사출구는 원형으로 직경이 3 mm인 것을 사용하였으며, 수분 함량은 펌프로 원료 사입구에 직접 물을 주입하여 조절하였다. 용융물의 온도는 전열기와 냉각수를 사용하여 조절하였다. 차전자피 첨가에 따른 압출성형물의

물리적 특성을 알아보기 위해 압출성형공정변수는 원료 사입량 100 g/min, 스크루 회전속도 200 rpm, 사출구 온도 140°C, 수분함량 20%로 고정하였다. 압출성형물 원료의 배합비는 Table 1에 나타내었으며 압출성형 공정변수와 유화제의 첨가량은 예비실험을 통하여 결정하였다. 제조한 압출성형물은 50°C에서 12시간 건조하여 직경팽화율, 비길이(specific length), 밀도, 겉보기 탄성계수, 파괴력, 조직감, 미세구조를 측정하였고 가정용 분쇄기(FM-909T, Hanil, Hanam, Korea)로 분쇄한 후 50-70 mesh의 분말을 시료로 사용하여 색도, 수분용해지수, 수분흡착지수를 측정하였다.

직경팽화율

압출성형물의 직경팽화율은 압출성형물의 직경을 캘리퍼스(CD-15C, Mitutoyo Co., Tokyo, Japan)로 10회 측정하여 사출구의 직경과 압출 성형물의 직경 비의 평균값으로 산출하였다(Alvarez-Martinez *et al.*, 1988).

비길이

압출성형물의 비길이(specific length)는 일정한 길이로 절단한 압출성형물의 길이와 무게의 비로 10회 측정 후 식 (1)을 이용하여 평균값과 오차를 구하였다(Kim *et al.*, 2012). 압출성형물의 길이는 캘리퍼스(CD-15C, Mitutoyo Co.)를 이용하였고, 무게는 전자저울(MWII, CAS Co., Yangju, Korea)을 사용하였다.

$$\text{Specific length (cm/g)} = \frac{\text{length of extrudate (cm)}}{\text{weight of extrudate (g)}} \quad (1)$$

Table 1. Formula for rice extrudates with different levels of psyllium husk

Psyllium husk contents (%)	Ingredient (%)						
	White rice	Psyllium husk	Brown rice	Oat	Barley	GMS ¹⁾	Stevia
0	87.5	0	5	5	1.96	0.5	0.04
7	80.5	7	5	5	1.96	0.5	0.04
14	73.5	14	5	5	1.96	0.5	0.04
21	66.5	21	5	5	1.96	0.5	0.04

¹⁾GMS is glycerol monostearate.

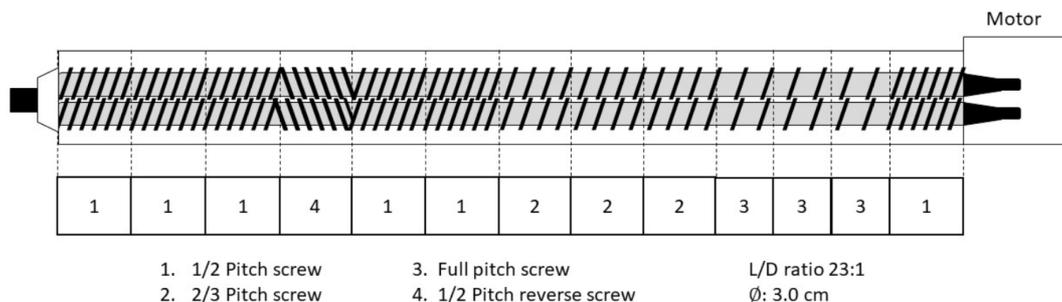


Fig. 1. Screw configuration used in psyllium husk extrudate.

조각밀도

압출성형물의 조각밀도(piece density)는 차조를 이용한 종자 치환법으로 총 10회 반복하여 식 (2)를 이용하여 계산하였다(Jin *et al.*, 2010).

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

P_F : piece density of extrudate

P : bulk density of waxy millet

M : mass of waxy millet in 125 mL cup

M_0 : mass of extrudate

M_1 : mass of extrudate and waxy millet in 125 mL cup

겉보기 탄성계수와 파괴력

압출성형물의 겉보기 탄성계수(apparent elastic modulus)와 파괴력(breaking strength)은 레오미터(Sun Rheo-meter, Compac-100II, Sun Sci. Co., Tokyo, Japan)를 사용하여 10회 측정 후 평균값을 산출하였다. 측정조건은 probe angle type (65°C), 최대응력 10 kg, 지지대 이동 속도 60 mm/min, 지지대간의 거리 3 cm였다. Ryu & Ng (2001)의 방법을 이용하여 겉보기 탄성계수(E_{app})와 파괴력(F_{bs})를 각각 식 (3)과 (4)로 계산하였다.

$$E_{app} = (\delta F / \delta l)(64d^3 / 48\pi D^4) \quad (3)$$

E_{app} : apparent elastic modulus

$\delta F / \delta l$: slope of the linear section of the force-distance curve

D : diameter of extrudate

d : distance between two supports

$$F_{bs} = F_m / S \quad (4)$$

F_{bs} : breaking strength (N/m²)

F_m : maximum stress of extrudate

S : cross-sectional area of extrudate

조직감

수화된 압출성형물의 경도(hardness)와 부착성(adhesiveness) 분석을 위해 레오미터(Sun Rheo-meter, Compac-100 II, Sun Sci. Co.)를 사용하여 Bourne (1978)의 분석방법에 따라 10회씩 측정하여 평균값을 나타내었다. 직경 2.5 cm인 탐침 1번으로 측정하였고 측정조건은 최대응력 10 kg, 지지대 이동속도 100 mm/min 였다. 경도와 부착성 측정을 위한 시료의 전 처리는 1.5 cm로 자른 압출성형물을 36.5°C의 물에 1분 30초 수화시켜 15초간 물을 제거하였다.

색도

압출성형물을 분쇄한 시료를 색차계(Chroma Meter CR-

300, Minolta Co., Ltd., Osaka, Japan)를 이용하여 명도(lightness, L^*), 적색도(redness, a^*), 황색도(yellowness, b^*) 값을 3회 측정한 평균값으로 나타내고 식 (5)로 색차도(color difference, ΔE) 값을 나타내었다. 표준 색판의 값은 $L^* = 96.59$, $a^* = 0.96$, $b^* = 2.54$ 였다.

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

L^* : lightness

a^* : redness

b^* : yellowness

L_0^* : raw material of lightness

a_0^* : raw material of redness

b_0^* : raw material of yellowness

수분용해지수와 수분흡착지수

압출성형물 분말의 수화특성을 분석하기 위하여 Kim & Ryu (2018)의 방법을 응용하여 건량 기준으로 시료 1.5 g에 증류수 30 mL를 가하여 30°C의 항온 수조(BF-45SB, Biofree Co., Seoul, Korea)에서 30분간 교반한 후 원심분리기(H-1000-3, Hanil Science Industrial Co., Gangneung, Korea)에서 2000×g으로 20분간 원심분리 하였다. 상층액은 알루미늄 접시에 부은 후 침전물의 무게를 측정하고 알루미늄 접시를 105°C의 열풍건조기(HB-502MP, Han Beak Co., Bucheon, Korea)에서 2시간 동안 건조하여 상층액의 고형분 함량을 측정하여 수분용해지수(water soluble index, WSI)와 수분흡착지수(water adsorption index, WAI)를 각각 식 (7)와 (8)로 계산하였다.

WSI (%)

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

WAI (g/g) = (hydrated sample wt. - dry sample wt.)

$$/ \text{dry sample wt.} \quad (8)$$

미세구조

차전자피 압출성형물을 50°C에서 12시간 건조시킨 후 알루미늄 판에 접착하여 압출성형물의 단면을 백금으로 코팅 후 고 분해능 주사전자현미경(MIRA LMH, Tescan, Brno, Czech)으로 가속전력 10 kV에서 10배율로 미세 구조를 관찰하였다.

통계처리

결과의 통계처리는 SPSS version 23.0 (IBM-SPSS, Thornwood, NY, USA)을 이용하여 일원배치 분산분석(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

팽화특성

압출성형물의 직경 팽화율, 비밀이, 조각밀도는 압출성형물의 조직감에 영향을 미치는 인자로 압출성형물의 품질을 결정하는 데 중요하다(Gu *et al.*, 2010). 차전자피 함량에 따른 쌀 압출성형물의 직경 팽화율, 비밀이, 조각밀도는 Table 2에 나타내었다. 팽화는 압출성형기 내에서 원료가 고온, 고압 상태에서 사출구를 통과할 때 압력의 차이로 인한 수분증발이 용융물의 기포 생성을 통해 급격하게 팽화가 일어나게 된다. 직경 팽화율은 차전자피 첨가량 0%에서 3.29±0.06로 가장 높은 값을 나타내었고 차전자피 첨가량 21%에서 2.99±0.05로 가장 낮은 값을 나타내어 차전자피 첨가량이 높을수록 낮아지는 것을 알 수 있었다. 이는 차전자피의 첨가로 섬유질의 증가와 함께 상대적으로 전분이 감소하여 직경 팽화율이 감소한 것으로 판단된다(Gu *et al.*, 2010). 비밀이는 차전자피 첨가량 0%에서 5.79±0.44 cm/g로 가장 낮은 값을 나타내었지만 차전자피 첨가량 7%와 유의적인 차이가 없었고 차전자피 첨가량 21%에서 6.73±0.30 cm/g로 가장 높은 값을 나타내었다. 이는 쌀가루, 밀가루, 옥수수가루, 보리가루, 귀리가루의 압출성형 공정에서 직경 팽화율이 증가하면 비밀이는 감소한다는 연구결과와 일치하였다(Kim *et al.*, 2012). 조각밀도는 차전자피 첨가량 21%에서 0.19±0.01 g/cm³로 가장 높았고 차전자피 첨가량 7%에서 0.15±0.01 g/cm³로 가장 낮았다. 차전자피의 함량이 높을수록 압출성형물의 직경 팽화보다 길이 팽화의 증가로 인하여 밀도와 비밀이가 증가하고, 차전자피 함량이 낮을수록 쉽게 팽화가 일어나기 때문에 길이 팽화보다 직경 팽화가 이루어져 감소하였을 것으로 판단된다.

겉보기 탄성계수와 파괴력

겉보기 탄성계수와 파괴력은 팽화율, 밀도, 기공 구조에 영향을 받으며 압출성형물의 품질을 결정하는 중요한 인자다(Gu *et al.*, 2010). 차전자피 함량에 따른 쌀 압출성형물의 겉보기 탄성계수와 파괴력의 값은 Table 3과 같다.

Table 2. Expansion properties of rice extrudates with different levels of psyllium husk

Psyllium husk contents (%)	Expansion ratio	Specific length (cm/g)	Piece density (g/cm ³)
0	3.29±0.06 ^{a1)}	5.79±0.44 ^c	0.16±0.01 ^b
7	3.23±0.04 ^b	6.10±0.19 ^{bc}	0.15±0.01 ^c
14	3.10±0.08 ^c	6.29±0.33 ^b	0.17±0.01 ^b
21	2.99±0.05 ^d	6.73±0.30 ^a	0.19±0.01 ^a
F-value	40.95 ^{***}	11.40 ^{***}	94.04 ^{***}

****p*<0.01

¹⁾Means with different letters within a column are significantly different (*p*<0.05) by Duncan's multiple range test.

겉보기 탄성계수와 파괴력은 차전자피의 첨가량이 증가할수록 증가하는 경향을 보였다. 겉보기 탄성계수는 차전자피 첨가량 14% 까지 유의적인 차이가 없었으나 차전자피 첨가량 21%에서 15.21E+04 N/m²로 크게 증가하였다. 파괴력은 차전자피 첨가량 21%에서 28.86±1.79 N/cm²로 가장 높았으며 차전자피 첨가량 0%에서 15.24±2.11 N/cm²로 가장 낮았다. 이는 차전자피의 첨가량이 증가할수록 직경 팽화율의 감소하고 압출성형물의 기공구조가 작아져 입자 층의 조밀도가 증가하였기 때문으로 생각되며, 직경 팽화율이 증가할수록 파괴력이 감소한다는 연구결과와 일치하였다(Cho *et al.*, 2017). 본 실험에서는 고 식이섬유소원인 차전자피의 첨가량이 증가할수록 압출성형물의 조직이 치밀해지고 단단해진다는 것을 알 수 있었다.

조직감

차전자피 함량에 따른 수화시킨 쌀 압출성형물의 경도와 부착성은 Table 4에 나타내었다. 경도는 차전자피 첨가량 0%에서 1143.00±96.82 g으로 가장 낮았으며, 차전자피 첨가량 21%에서 1830.63±84.62 g으로 가장 높았다. 식이섬유는 압출성형물의 matrix 내에 존재하는 물과 일부 결합하여 압출물의 팽화 및 다공성을 감소시켜 경도를 증가시킨다는 연구 결과에 따라 차전자피의 첨가가 압출성형물의 경도를 증가시키는 것으로 판단된다(Diaz *et al.*, 2015).

부착성은 차전자피 첨가량 0%에서 -25.00±5.35 g으로 가

Table 3. Apparent elastic modulus and breaking strength of rice extrudates with different levels of psyllium husk

Psyllium husk contents (%)	Apparent elastic modulus (N/m ²)	Breaking strength (N/cm ²)
0	5.39E+04 ^{b1)}	15.27±2.11 ^d
7	9.56E+04 ^b	20.96±1.63 ^c
14	8.19E+04 ^b	25.34±2.40 ^b
21	15.21E+04 ^a	28.86±1.79 ^a
F-value	4.77 ^{**}	68.56 ^{**}

***p*<0.05

¹⁾Means with different letters within a column are significantly different (*p*<0.05) by Duncan's multiple range test.

Table 4. Texture of hydrated rice extrudates with different levels of psyllium husk

Psyllium husk contents (%)	Hardness (g)	Adhesiveness (g)
0	1,143.00±96.82 ^{1)d}	-25.00±5.35 ^a
7	1,412.25±72.91 ^c	-36.25±9.16 ^b
14	1,580.38±83.73 ^b	-48.75±8.35 ^c
21	1,830.63±84.62 ^a	-92.50±15.81 ^d
F-value	92.63 ^{**}	64.68 ^{**}

***p*<0.05

¹⁾Means with different letters within a column are significantly different (*p*<0.05) by Duncan's multiple range test.

Table 5. Color of rice extrudates with different levels of psyllium husk

	Psyllium husk contents (%)	Color			
		L*	a*	b*	ΔE
Extrusion	0	75.63±0.03 ^{d2)}	1.05±0.03 ^d	21.23±0.08 ^d	20.27±0.06 ^c
	7	72.62±0.27 ^c	2.29±0.03 ^c	22.59±0.31 ^c	23.46±0.10 ^b
	14	68.56±0.35 ^f	3.43±0.15 ^b	24.20±0.33 ^b	22.86±0.50 ^b
	21	66.36±0.30 ^g	4.29±0.05 ^a	24.96±0.11 ^a	25.24±0.19 ^a
Raw ¹⁾	0	89.74±0.11 ^a	-1.77±0.02 ^h	11.09±0.15 ^g	-
	7	88.76±0.10 ^b	-1.51±0.06 ^g	11.67±0.09 ^f	-
	14	87.30±0.09 ^c	-1.27±0.03 ^f	11.66±0.08 ^f	-
	21	86.94±0.21 ^c	-1.07±0.06 ^c	12.33±0.10 ^e	-
F-value		6251.18 ^{***}	3946.10 ^{***}	3510.52 ^{***}	114.12 ^{***}

****p*<0.01

¹⁾Raw material before extrusion.

²⁾Means with different letters within a column are significantly different (*p*<0.05) by Duncan's multiple range test.

장 낮았고 차전자피 첨가량 21%에서 -92.50±15.81 g으로 가장 높아 차전자피의 첨가가 증가할수록 급격히 증가하였다. 차전자피의 섬유 구조에 존재하는 다당류인 arabinose와 xylose의 수산기가 수소결합을 통해 물과 상호작용하여 부착성이 높아지는 것으로 생각되며, 차전자피의 특징인 높은 수분흡수력과 다량의 점액질이 부착성에 영향을 준 것으로 판단된다. 또한 차전자피를 첨가한 반죽 및 비스킷에서 경도와 부착성이 증가하였다는 연구결과를 볼 때 압출성형 공정에서도 차전자피의 첨가가 압출성형물의 경도와 부착성을 증가시키는 것으로 사료된다(Raymundo *et al.*, 2014).

색도

차전자피 함량에 따른 쌀 압출성형물의 명도(L*), 적색도(a*), 황색도(b*)의 값은 Table 5와 같다.

압출성형물의 명도(L*)는 차전자피 첨가량 0%에서 75.63±0.03로 가장 높았고 차전자피 첨가량 21%에서 66.36±0.30으로 가장 낮았다. 차전자피의 첨가량이 증가할수록 감소하였으며 압출성형 무처리군보다 압출성형물에서 높은 값을 나타내었다. 쌀 원료의 명도(L*)는 93.24였고 차전자피 원료의 명도(L*)는 79.68로 차전자피의 명도가 쌀보다 어두워 차전자피의 첨가가 증가함에 따라 명도가 감소한 것으로 판단되며 쌀을 식이섬유로 대체한 것이 비효소적 갈변에 영향을 주었기 때문이라고 하였다(Raymundo *et al.*, 2014). 적색도(a*)와 황색도(b*)는 차전자피 첨가량 21%에서 4.29±0.05, 24.96±0.11로 가장 높았고 차전자피 첨가량 0%에서 1.05±0.03, 21.23±0.08로 가장 낮았다. 차전자피의 첨가량이 증가할수록, 압출성형 무처리군보다 압출성형물에서 높은 값을 나타내었다. 색도차는 차전자피 첨가량 21%에서 25.24±0.19로 가장 높은 값을 나타내었고 차전자피 첨가량 0%에서 20.27±0.06로 가장 낮은 값을 나타내었다. 이는 차전자피 함량이 증가할수록

차전자피의 식이섬유에 존재하는 arabinose와 xylose같은 당 성분이 Maillard reaction에 영향을 주어 색도차가 발생한 것으로 판단된다(Shin *et al.*, 2018).

수분용해지수와 수분흡착지수

차전자피 함량에 따른 쌀 압출성형물의 수분용해지수와 수분흡착지수는 Table 6에 나타내었다. 압출성형 무처리군보다 압출성형물의 수분용해지수와 수분흡착지수가 높은 경향을 보였다. Tie *et al.* (2012)는 곡류에 포함된 전분의 호화와 압출성형공정 동안 사슬의 절단 등에 의해 아밀로펙틴과 아밀로오스의 분획화로 인하여 수분용해지수와 수분흡착지수가 증가한다고 하였다.

압출성형물의 수분용해지수는 차전자피 첨가량 21%에서 10.10±0.23%로 가장 높은 값을 나타내었고 차전자피 첨가량 0%에서 6.51±0.24%로 가장 낮은 값을 나타내었다. 다

Table 6. Water solubility index and water absorption index of rice extrudates with different levels of psyllium husk

	Psyllium husk contents (%)	WSI ²⁾ (%)	WAI ³⁾ (g/g)
Extrusion	0	6.51±0.24 ^{d)c}	7.06±0.16 ^{dd)}
	7	8.45±0.37 ^c	7.57±0.14 ^c
	14	9.83±0.38 ^b	8.36±0.25 ^b
	21	10.10±0.23 ^a	9.17±0.31 ^a
Raw ¹⁾	0	3.40±0.28 ^g	1.48±0.03 ^g
	7	4.65±0.23 ^f	3.81±0.07 ^f
	14	7.00±0.07 ^d	5.81±0.22 ^e
	21	9.42±0.26 ^b	8.49±0.13 ^b
F-value		275.86 ^{***}	612.87 ^{***}

****p*<0.01

¹⁾Raw material before extrusion.

²⁾Water solubility index.

³⁾Water absorption index.

⁴⁾Means with different letters within a column are significantly different (*p*<0.05) by Duncan's multiple range test.

량의 점액 성분을 가지는 차전자피의 첨가가 증가할수록 점도가 높아져 압출성형기 내의 체류시간이 길어지고 강한 전단력을 받아 전분의 사슬이 절단되어 수분용해지수가 증가된 것으로 판단된다(Gil *et al.*, 2014). 수분흡착지수는 차전자피 첨가량 21%에서 9.17 ± 0.31 g/g으로 가장 높았고 차전자피 첨가량 0%에서 7.06 ± 0.16 g/g으로 가장 낮아 차전자피의 첨가량이 증가할수록 증가하였다. 이는 차전자피의 높은 수분 보유력으로 인해 수분흡착지수가 증가한 것으로 생각된다. 또한 도넛, 비스킷에 차전자피를 첨가하면 수분흡수력이 높아졌다는 연구결과를 볼 때 압출성형 공정에서도 차전자피의 첨가가 수분흡착지수를 높이는 것으로 사료된다(Shin *et al.*, 2018; Raymundo *et al.*, 2014).

미세구조

차전자피 함량에 따른 쌀 압출성형물의 미세구조는 Fig. 2와 같다. 차전자피 함량 0%에서 팽화율이 증가하였고 기공의 크기가 크고 불규칙한 구조를 관찰할 수 있었으며 차전자피의 함량이 증가함에 따라 팽화율과 기공의 크기가 감소하였다. Robin *et al.* (2012)은 식이섬유의 첨가가 압출성형기 내부 용융물의 점도를 증가시켜 기공의 팽창을 감소시키며, 그 결과 압출성형물의 팽화가 감소하고 밀도는 증가하여 조직의 견고성이 증가한다고 하였다. 또한 많은 기공이 관찰된 시료일수록 수분흡수력이 높다는 것을 확인할 수 있었다. 이는 수분흡수력은 다공질 형태의 층과 관련이 있으며, 시료들이 팽창할수록 공기층이 커진다는 내용과 일치하였다(Lin *et al.*, 2000). 결론적으로 차전자피의 첨가가 압출성형물의 밀도를 증가시켜 경도, 겉보기탄

성계수, 파괴력을 증가시켰으며 수분흡수력을 증가시켜 부착성에도 영향을 미쳐 물리적 특성 뿐만 아니라 관능 특성에도 영향을 줄 것으로 사료된다.

요 약

본 연구는 기능성 팽화 스낵의 개발을 위하여 우수한 식이섬유소원인 차전자피를 첨가한 쌀 압출성형물의 물리적 특성에 대하여 살펴보았다. 원료 배합비는 쌀을 기본 원료로 하여 차전자피의 함량(0, 7, 14, 21%)을 달리하였고, 압출성형 공정변수는 스크루 회전속도 200 rpm, 사출구 온도 140°C , 수분함량 20%로 조절하였다. 압출성형 후 직경 팽화율, 비길이, 밀도, 겉보기 탄성계수, 파괴력, 조직감, 색도, 수분용해지수, 수분흡착지수, 미세구조를 측정하였다. 직경 팽화율은 차전자피 함량이 증가할수록 감소하였으며, 비길이, 밀도, 겉보기 탄성계수와 파괴력은 증가하는 경향을 보였다. 부착성은 차전자피 함량이 증가할수록 증가하였으며 21% 첨가에서 급격히 증가하였다. 차전자피의 첨가량이 증가할수록 명도는 감소하였고 적색도, 황색도, 총 색도차는 증가하는 경향을 보였다. 수분용해지수와 수분흡착지수는 압출성형 공정 후 모두 증가하였으며 차전자피의 함량이 증가할수록 증가하였다. 미세구조는 차전자피 첨가량이 증가할수록 팽화와 기공의 크기가 감소하여 압출성형물의 밀도가 증가하였다. 결론적으로 차전자피의 첨가량이 증가할수록 팽화를 감소시켜 단단한 조직감을 나타내었고 높은 수분흡수력으로 인해 부착성이 증가하여 14% 이하로 첨가하는 것이 바람직하다. 또한 차전자피의 함량이 높은 팽화 스낵을 개발하기 위하여 유화제의 첨가 뿐만 아니라 차전자피의 전처리 등 추가적인 연구가 필요할 것이다.

감사의 글

본 연구결과는 2019년도 농림축산식품부에서 시행한 농생명산업기술개발사업(118032022HD030)에 의하여 수행된 연구결과의 일부로 연구비 지원에 감사드립니다.

References

- Alvarez-Martinez L, Kondury KP, Harper JM. 1988. A general model for expansion of extruded products. *J. Food Sci.* 53: 609-615
- Bourne MC. 1978. Texture profile analysis. *Food Technol.* 32: 62-66.
- Cheng Z, Blackford J, Wang Q, Yu LL. 2009. Acid treatment to improve psyllium functionality. *J. Funct. Foods.* 1: 44-49.
- Cho SY, Jeong DH, Ryu GH. 2017. Effect of extrusion process variable on physicochemical properties of extruded rice snack with mealworm. *Korean J. Food Sci. Technol.* 49: 444-452.
- Choi SI, Kim TJ, Park JH, Lim CS, Kim MY. 2011. Quality

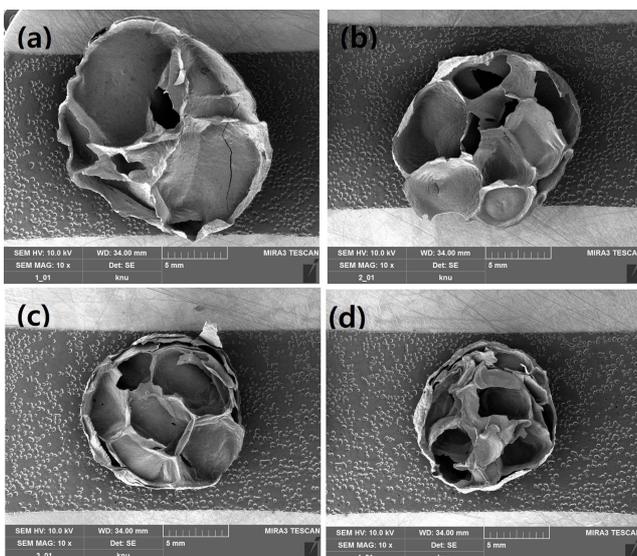


Fig. 2. Scanning electron micrographs of cross-sections of extruded rice flour with psyllium husk contents (10x magnification): (a) Psyllium husk 0%, (b) Psyllium husk 7%, (c) Psyllium husk 14%, (d) Psyllium husk 21%.

- characteristics of frying mix added with brown rice fiber. *Korean J. Food Cookery Sci.* 27: 671-680.
- Diaz JMR, Suuronen JP, Deegan KC, Serimaa R, Tuorila H, Joupila K. 2015. Physical and sensory characteristics of corn-based extruded snacks containing amaranth, quinoa and kaniwa flour. *LWT.* 64: 1047-1056.
- 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. *Korean J. Soc. Food Sci. Nutr.* 43: 1716-1723.
- 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.
- Hwang JK, Kim CT, Hong SI, Kim CJ. 1994. Solubilization of plant cell walls by extrusion. *Korean J. Soc. Food Sci. Nutr.* 23: 358-370.
- Jin T, Gu BJ, Ryu GH. 2010. Manufacturing of hemp seed flake by using extrusion and mechanical properties of wheat flour and whole cornmeal extrudates. *Food Eng. Prog.* 53: 147-154.
- Kim CH, Tie J, Ryu GH. 2012. Effects of moisture content on physical properties of extruded cereal flours. *Korean J. Soc. Food Sci. Nutr.* 41: 1603-1610.
- Kim NY, Ryu GH. 2018. Effects of mealworm content and extrusion process on quality characteristics of extruded rice flour infant food. *Korean J. Soc. Food Sci. Nutr.* 47: 476-484.
- Lee KC, Ryu GH. 2013. Quality characteristics of bread supplemented with extruded corn fiber. *Korean J. Soc. Food Sci. Nutr.* 42: 1290-1295.
- Lee SH. 2016. Direction of rice products processing in food industry. *Korean J. Soc. Food Sci. Nutr.* 21: 15-19.
- Lin S, Huff HE, Hsieh F. 2000. Texture and chemical characteristics of soy protein meat analog extruded at high moisture. *Korean J. Food Sci. Technol.* 65: 264-269.
- Park JJ, Kim JE, Yun WB, Lee ML, Choi JY, Song BR, Kim DS, Lee CY, Lee HS, Lim Y, Jung MW, Hwang DY. 2017. Hypolipidemic and hypoinsulinemic effects of dietary fiber from agar in C57BL/6N mice fed a high-fat diet. *Korean J. Life Sci.* 27: 937-944.
- Raymundo A, Fradinho P, Nunes MC. 2014. Effect of psyllium fiber content on the textural and rheological characteristics of biscuit and biscuit dough. *Bioact. Carbohydr. Dietary Fibre.* 3: 96-105.
- Robin F, Schuchmann HP, Palzer, S. 2012. Dietary fiber in extruded cereals: limitations and opportunities. *Trends Food Sci. Tech.* 28: 23-32.
- 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.
- Shin MS. 2009. Rice processed food. *Korean J. Sci. Technol.* 23: 62-68.
- Shin SY, O HB, Joung KY, Kim YS. 2018. Quality characteristics and retrogradation properties of baked rice donut with psyllium (*plantago ovata* forsk) seed husk. *Korean J. Food Nutr.* 31: 367-377.
- Tie J, Yu JH, Ryu GH. 2012. Effects of moisture content and temperature on physical properties of instant puffed rice snacks. *Korean J. Soc. Food Sci. Nutr.* 41: 846-852.