pISSN 1225-4339 eISSN 2287-4992
Korean J. Food Nutr. Vol. 31. No. 3, 367~377 (2018)
https://doi.org/10.9799/ksfan.2018.31.3.367

THE KOREAN JOURNAL OF
한국식품영양학회지
FOOD AND NUTRITION

차전자(*Plantago ovata* Forsk)피를 이용하여 제조한 구운 쌀 도넛의 품질 특성 및 노화 특성

신소연 · 오현빈 · 정기영 · †김영순
고려대학교 식품영양학과

Quality Characteristics and Retrogradation Properties of Baked Rice Donut with Psyllium (*Plantago ovata* Forsk) Seed Husk

So Yeon Shin, Hyeonbin O, Ki Youeng Joung and †Young-Soon Kim
Dept. of Food and Nutrition, Korea University, Seoul 02841, Korea

Abstract

In this study, baked rice donuts with added psyllium seed husk were manufactured and their quality and retrogradation characteristics were investigated. Control (Con) was made only with wheat flour; Psyllium seed husk in the amount of 8, 12, 16 and 20 grams was added to make rice donuts (P8, P12, P16 and P20). Higher amounts of psyllium seed husk reduced the moisture loss and baking loss, and increased the moisture content and water holding capacity of the donuts. The specific volume of Con was the highest of all the groups. As the amount of psyllium seed husk increased, the lightness and yellowness of the crumb decreased, and the redness of the crumb increased. Hardness also increased as the amount of psyllium seed husk increased. The hardness of P16 was the most similar to that of Con. The scanning electron microscopy images also identified that the structure of the donuts got denser as the amount of psyllium seed husk increased. Rate constant (k) of the rice donuts with psyllium seed husk were lower than that of Con. In conclusion, it is considered that P16 is the sample that is the most similar to Con in terms of texture, but the retrogradation was more retarded in P16 than Con.

Key words: psyllium seed husk, quality characteristics, retrogradation properties

서 론

글루텐은 밀의 중요한 기능적 성분으로 팽창과 조리과정 중 반죽의 기체를 보유하는 역할을 하며 반죽의 점탄성에 영향을 주는데, 이러한 글루텐 단백질 간의 상호작용에 의해 반죽의 물리적 특성이 생기게 된다(Lindsay & Skerritt 1999; Dobraszczyk BJ 2004). 하지만 글루텐에 의해 면역 매개성 전신 질환인 셀리악병(celiac disease)이 발생하는 사람들이 있는 것으로 알려졌으며, 셀리악병으로 확실히 진단된 경우 글루텐 프리 식사가 권고되고 있다(Husby 등 2012). 최근 글루텐 프리 제품의 소비는 셀리악병을 비롯한 밀 알레르기, 글루텐 민감성이 있어 글루텐 섭취를 제한해야 하는 소비자들뿐만 아니라, 영양학적 가치, 체중 관리 등과 같은 다른 유익함이 있다고 인지하는 소비자들에 의해 수요가 증가하고 있다(Sharma 등 2015). Jung 등(2017)의 연구에서는 많은 국내 소비자들이 글루텐 프리 가공 식품을 치료식이 아닌 건강기능성 또는 다이어트 가공식품으로 인식하고 있으며, 이러한 글루텐 프리 가공식품을 필요로 하는 소비자들을 위한 시장 형성이 중요하다고 보고되었다. 특히 국내 1인당 밀 소비량은 연간 75~150 kg에 달하는 상당량을 소비하고 있기 때문에 국내 소비자들이 밀 소비와 연관성이 있는 셀리악병으로부터 안전하다고 할 수 없다(Joung 등 2017a). 따라서 글루텐에 민감한

† Corresponding author: Young-Soon Kim, Dept. of Food and Nutrition, Korea University, Seoul 02841, Korea. ORCID: http://orcid.org/0000-0001-9223-4039, Tel: +82-2-3290-5638, Fax: +82-2-921-7207, E-mail: kteresa@korea.ac.kr

소비자를 위해 글루텐 프리 식품의 개발은 지속적으로 이루어져야 한다. 해외의 경우, 글루텐 프리 반죽, 빵, 케이크 등에 관한 논문이 다수 보고되었다(Macro & Rosell 2008; Mariotti 등 2009; Rothschild 등 2015). 국내의 경우에는 글루텐 프리 식빵(Kang 등 2014), 쿠키(Joung 등 2017b), 파스타(Jung & Yoon 2017) 등의 글루텐 제품 연구가 보고되었으나, 수요에 비해 연구는 많이 부족한 실태이다.

쌀가루는 곡물가루 중 셀리악 환자들을 위한 식품에 가장 적합한 소재로 알려져 있는데, 알레르기를 유발하지 않으며, 무색이고 특별한 맛이 나지 않기 때문에 다양한 식품에 적용되고 있다(Gujral & Rosell 2004). 쌀가루의 이러한 이점에도 불구하고 쌀가루에는 글리아딘이 없고 단백질 성분이 부족하여 기체 보유에 필요한 그물망을 형성하지 못하므로 쌀가루만으로 빵을 제조하기에는 어려움이 따른다(Gujral 등 2003). 따라서 활성 글루텐, 검, 유화제, 효소제 복합 첨가 쌀빵(Kim & Lee 2009), 단백질, transglutaminase 첨가 쌀빵(Shin 등 2010) 등 글루텐과 같은 역할을 하거나, 그물망 구조를 개선시키는 소재를 첨가한 연구가 진행되어 왔다.

한편, 차전자피라 불리는 질경이(*Plantago ovata* Forsskaol) 씨앗의 껍질은 물을 흡수하여 무색의 점액질을 형성하며, 점액질은 arabinose와 xylose가 주요 성분으로 알려져 있다(Singh B 2007). 차전자피는 변비를 개선시키는 것과 동시에 설사를 완화시키는 특성이 있으며(Kumar 등 1987; Qvitzau 등 1988), 수용성 식이섬유를 다량 함유하고 있어 중성지질 농도를 낮추는 작용이 있는 것으로 보고되었다(Hong 등 2002). 장에서의 지방 흡수를 억제하여 체지방 저하에도 효과를 보였으며, 식후 혈당 조절에도 유용하게 이용될 수 있을 것으로 나타났다(Yim 등 2003; Choi & Nam 2005). 차전자피는 검이라 부르는 친수 콜로이드를 함유하고 있는데(Hashemi 등 2015), 이는 다량의 수용성 다당류로 이루어져 있으며, 식품산업에서는 겔화제, 점증제 등으로 다양하게 이용될 수 있다(Rosell 등 2007). 또한, Zandonadi 등(2009)의 연구에서는 차전자와 옥수수 전분, 감자 전분, 쌀 크림을 이용하여 빵을 제조한 결과, 차전자가 글루텐 대체물질로 가능하다는 보고를 한 바 있다. 따라서 차전자피는 글루텐 대체재로서 다양한 글루텐 프리 식품에 적용할 수 있을 것으로 여겨진다. 한편, 친수 콜로이드는 물의 이동을 통제하여 수분 보유와 조직감 개선의 역할을 할 수 있는데(Rosell 등 2007), 이와 관련하여 글루텐 프리 빵의 경도 및 저장 중 노화 속도 감소(Sciarini 등 2010a), 쌀 차파티의 전분 재결정화 지연 및 조직감 개선(Gujral 등 2004) 등 베이커리 제품의 품질 개선에 대한 연구들이 보고된 바 있다. 특히 Lee & Back(2005)에 따르면 통상적인 식이섬유의 물 흡착력은 약 4배인 반면, 차전자는 8배나 높은 물을 흡수하는 특징이 있는 것으로 나타나, 이러한 차전자피의 높은 수분 흡착력은 베이커리 제품의 수분 보유와 품질 특성에 영향을 미칠 것으로 여겨진다. 따라서 본 연구는 쌀가루에 글루텐 대체재로 차전자피 분말의 첨가량을 달리하여 도넛을 제조한 후에 오븐에 구운 후 도넛의 품질특성과 노화특성을 알아보고, 차전자피 쌀 도넛에 적합한 배합비를 제시하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 실험 재료

중력분(Daehan Flour Mills Co., Ltd, Seoul, Korea), 쌀(Cheiljedang Co., Ltd, Seoul, Korea), 달걀(Keysung Co., Ltd, Samcheok, Korea), 소금(Daesang Group Co., Ltd, Seoul, Korea), 설탕(CJ Cheiljedang Co., Ltd, Seoul, Korea), 버터(Lotte Food Co., Ltd, Seoul, Korea), 탈지 분유(Seoul milk Cooperative, Seoul, Korea) 및 베이킹파우더(Hanseung Food, Gimpo, Korea)는 시중 제품을 구매하여 사용하였다. 차전자피는 인도에서 생산된 제품으로 호미자루(Homijaru Co., Seoul, Korea)에서 구매하였으며, 사용 전 High Speed Crushing Machine(RT-04, Hung Chuan Machinery Enterprise Co., Ltd, Taipei, Taiwan)을 이용하여 분쇄한 후 40 mesh 표준망체를 통과시켜 사용하였다. 쌀은 사용 전에 Roller mill(DK 101, Donggwang Ltd, Daegu, Korea)을 이용하여 분쇄한 후 30 mesh의 표준망체를 통과시켜 사용하였다.

2. 구운 도넛의 제조

차전자피 쌀 도넛 제조에 사용된 재료의 함량 비율은 Table 1에 나타내었고, 함량 비율 설정과 도넛 반죽 제조는 Oh 등(2007)의 방법을 참고하였으며, 예비 실험을 통해 쌀 도넛 반죽 제조에 적합한 차전자피의 최소 첨가량이 쌀가루 100 g 당 8 g인 것을 확인한 후 첨가량을 설정하였다. 대조군(Con)은 중력분을 이용하여 제조하였으며, 차전자피 쌀 도넛은 쌀가루 100 g에 차전자피 분말을 8, 12, 16 및 20 g을 각각 첨가하여 총 4가지의 도넛을 제조하였다(P8, P12 P16 및 P20). 도넛 반죽은 Kitchen machine(KMC020, Kenwood, Havant, England)을 이용하여 제조하였다. 먼저 1분간 달걀을 섞어주고 설탕과 소금을 넣고 5분간 섞어준 후 녹인 버터를 넣고 1분간 섞어준다. 그 다음 중력분, 쌀가루, 차전자피 분말, 탈지분유, 베이킹파우더를 넣어준 후 2분간 반죽해 주고 완성된 반죽은 30분간 상온에서 휴지한다. 휴지가 끝난 후 밀대를 이용하여 반죽을 1 cm의 두께로 밀어준 후 직경 6.9 cm의 Donut cutter(H3585, Shimotori, Kumamoto, Japan)를 이용하여 도넛 모양을 만들어주었다. 도넛 모양의 반죽을 170℃로 예열한 Oven (Zippel DE68-04072D, Samsung, Seoul, Korea)에

Table 1. Formulas for donut preparation

Ingredient (g)	Con[1)]	P8	P12	P16	P20
Wheat flour	100	0	0	0	0
Rice flour	0	100	100	100	100
Psyllium husk	0	8	12	16	20
Eggs	40	40	40	40	40
Sugar	20	20	20	20	20
Butter	15	15	15	15	15
Nonfat dry milk	4	4	4	4	4
Salt	1	1	1	1	1
Baking powder	3	3	3	3	3

[1)] Con: donut made only with wheat powder, P8: rice donut added with 8 g of psyllium seed husk based on 100 g of rice flour, P12: rice donut added with 12 g of psyllium seed husk based on 100 g of rice flour, P16: rice donut added with 16 g of psyllium seed husk based on 100 g of rice flour, P20: rice donut added with 20 g of psyllium seed husk based on 100 g of rice flour.

넣고 10분간 구워준 뒤 30분간 상온에서 방냉 후 시료로 사용하였다.

3. 수분 함량 및 수분 손실량 측정

반죽과 도넛의 수분 함량(moisture content)은 3회 반복 측정하였으며, 시료 5 g을 취한 후 Moisture analyzer(MB45, OHAUS, Zurich, Switzerland)을 이용하여 105℃에서 측정하였고, 60초 동안 무게 변화가 없을 때의 수분 함량을 기록하였다. 수분 손실량(moisture loss)은 반죽과 도넛의 무게를 측정한 후 반죽과 도넛의 수분 함량 측정값을 이용하여 구하였으며, 아래의 식을 통해 산출하였다.

$$\text{Moisture loss (g/g dough)} = \frac{[(\text{Weight of dough})\times(\text{Moisture content of dough}) - (\text{Weight of donut})\times(\text{Moisture content of donut})]}{\text{Weight of dough}}$$

4. 수분 보유력 측정

도넛의 수분 보유력은 Quinn & Paton(1979)를 참고하여 측정하였다. 도넛 시료는 동결 건조 후 High Speed Crushing Machine(RT-04, Hung Chuan Machinery Enterprise Co., Taipei, Taiwan)을 이용하여 분쇄한 후 시료로 사용하였다. 빈 튜브에 시료 1 g과 10 mL의 증류수를 가하여 상온에서 10분간 교반한 뒤 25℃에서 10분 동안 4,000 rpm으로 원심 분리한 후 상층액을 따라내어 침전물이 담긴 튜브의 무게를 측정하였다. 3회 반복 측정 후 아래의 식을 통해 수분 보유력을 계산하였다.

$$\text{Water holding capacity (WHC)} = \frac{[(\text{Weight of tube+Sediment}) - (\text{Weight of tube+1.0})]}{1.0}\ \text{(mL/g)}$$

5. 굽기 손실률 및 비용적 측정

굽기 손실률(baking loss)의 측정은 AACC method(2000)를 참고하여 3회 반복 측정한 후 아래의 식을 통해 산출하였다.

$$\text{Baking loss (\%)} = \frac{\text{Weight of dough} - \text{Weight of donut}}{\text{Weight of dough}} \times 100$$

도넛의 비용적(Specific volume of donut, S_D) 측정은 Yi 등(2009)에 기술된 AACC Method 10-05를 참고하였다. 먼저 좁쌀을 90×90×40 mm 크기의 플라스틱 용기에 가득 채운 뒤 메스실린더에 부어 용기의 부피(Volume of Container: V_C)를 측정한다. 도넛의 무게(Weight of Donut: W_D)를 측정한 후 용기에 도넛을 담고 좁쌀로 용기를 가득 채운 후 다시 도넛을 용기에서 꺼내고 용기에 남아있는 좁쌀을 메스실린더에 부어 부피(Volume of Rapeseed: V_R)를 측정한다. V_C와 V_R의 차($V_C - V_R$)를 계산하여 도넛의 부피(V_D)를 결정하고, 도넛의 비용적은 V_D값을 W_D로 나누어 구하였으며, 비용적의 단위는 mL/g이다.

6. 색도

색도는 Spectrophotometer(CR-400, Konica Minolta, Osaka, Japan)를 이용하여 3회 반복 측정하였다. 표준 백색판의 명도는 93.90, 적색도는 0.31, 황색도는 0.32였으며, 도넛의 표면과 단면의 명도(Lightness), 적색도(Redness) 및 황색도(Yellowness)를 측정하였다.

7. 조직감 측정

도넛은 15×15×15 mm의 크기로 잘라 시료로 사용하였고, Rheometer(Sun rheometer Compac-100 Ⅱ, Sun Scientific Co., Ltd, Tokyo, Japan)를 이용하여 직경 20 mm flat plate probe로 진입 깊이 50%, 5 kg load cell 조건에서 도넛의 경도, 탄력성, 응집성, 씹힘성을 측정하였다. 조직감은 시료마다 모두 3회 반복하여 측정하였다.

8. 미세구조 분석

도넛은 조직에 손상이 가지 않게 1×5×5 mm의 크기로 절단한 후 동결건조하여 미세구조 분석 시료로 사용하였다. 먼저 Automatic magnetron sputter coater system(Sputter Coater 108 AUTO, Cressington Scientific Instruments, Ltd, Watford, UK)을

이용하여 준비한 시료를 금으로 코팅을 한다. 코팅된 시료는 Scanning Electron Microscope(JEOL-6701F, JEOL, Ltd, Tokyo, Japan)을 이용하여 10 kV에서 50배로 확대하여 관찰하였다.

9. 저장 중 노화특성

도넛은 4℃에서 21일 동안 저장하였으며, 7일 간격으로 경도를 측정하였다. 경도 측정은 15×15×15 mm의 크기로 자른 후 20 mm flat plate probe, 진입 깊이 50%, 5 kg load cell의 조건하에서 진행하였다. 도넛의 저장 중 노화 특성 변화는 Diaz 등(2010)에 기술된 Avrami kinetics를 기반으로 하여 분석하였다. 도넛 노화과정에서 발생하는 결정화 속도를 분석하기 위해 Avrami 방정식을 이용하여 Avrami 지수(n), 속도상수(k) 및 시간 상수($1/k$)를 구하였으며, 그 과정은 다음과 같다. 속도상수(k)는 식 (2)에서 t와 $\mathrm{Ln}(E_L - E_t)$를 각각 x축과 y축에 나타낸 그래프의 기울기로 구하였고, 시간 상수($1/k$)는 속도 상수에 역수를 취하여 구하였으며, Avrami 지수(n)는 식 (3)에서 Log t와 $\mathrm{Log}\left[-\mathrm{Ln}\left(\frac{E_L-E_t}{E_L-E_0}\right)\right]$를 각각 x축과 y축에 나타낸 그래프의 기울기로 구하였다.

$$\theta = \frac{E_L - E_t}{E_L - E_0} = e^{-kt^n} \quad (1)$$

$$\mathrm{Ln}(E_L - E_t) = -kt^n + \mathrm{Ln}(E_L - E_0) \quad (2)$$

$$\mathrm{Log}\left[-\mathrm{Ln}\left(\frac{E_L-E_t}{E_L-E_0}\right)\right] = \mathrm{Log}\,k + n\,\mathrm{Log\,t} \quad (3)$$

Θ = 재결정화가 일어나고 있는 부분, k = 속도상수, n = Avrami 지수, t = 저장 기간(day), E_0 = 0 일 후의 경도, E_t = t일 후의 경도, E_L = 이론적으로 도달할 수 있는 최대 경도(21일 후의 경도).

10. 통계처리

모든 분석 결과는 SPSS(IBM SPSS Statistics 23, International Business Machines Corporation, New York, USA)로 평균 및 표준편차를 구하였으며, 일원 배치 분산분석(One-way ANOVA)을 실시하였다. Duncan's multiple range test를 통해 시료 간의 유의성을 검증하였으며, $p<0.05$ 수준에서 진행하였다.

결과 및 고찰

1. 반죽과 도넛의 수분 함량, 수분 손실량 및 도넛의 수분 보유력

반죽과 도넛의 수분 함량, 수분 손실량 및 도넛의 수분 보유력 결과는 Table 2에 나타내었다. 반죽의 수분 함량은 대조군이 유의적으로 가장 낮았으며, 쌀 도넛 반죽의 경우 차전자피 첨가량 증가에 따라 감소하는 경향을 나타내었다($p<0.05$). 구운 도넛의 수분 함량은 대조군이 가장 낮았으며, 차전자피 쌀 도넛의 경우 차전자피의 첨가량이 많은 도넛이 수분 함량이 더 높은 경향을 보였다. 수분 손실량은 대조군이 가장 낮았고, 차전자피 쌀 도넛은 차전자피 첨가량이 높은 P16과 P20시료가 P8과 P12보다 수분 손실량이 유의적으로 낮았다($p<0.05$).

머루 분말 대체 쌀 시폰 케이크의 수분함량은 머루 분말 대체량 증가에 따라 유의적으로 높아졌으며, 이는 머루에 있는 식이섬유의 영향으로 수분 결합력이 높아졌기 때문인 것으로 나타났다(Bing & Chun 2015). 반면, 로스팅 조건을 달리한 퀴노아를 이용하여 제조한 글루텐 프리 케이크의 수분 함량은 로스팅을 할수록 퀴노아 분말 자체의 수분 함량이 낮아지기 때문에 로스팅을 오래한 퀴노아 분말을 첨가한 케이크일수록 수분 함량이 낮은 것으로 보고되어(Rothschild 등 2015), 제조에 사용되는 재료 자체의 수분 함량 및 재료의 수분 보유

Table 2. Dough and donut moisture content, moisture loss and water holding capacity of donut with psyllium seed husk

Property		Con[1)]	P8	P12	P16	P20	F-value
Moisture content (%)	Dough	24.24±0.11[2)d]	38.02±0.16[a]	37.59±0.39[b]	37.55±0.10[b]	36.90±0.10[c]	2,572.836***
	Donut	23.04±0.40[c]	35.37±0.29[b]	35.50±0.43[b]	36.16±0.33[a]	36.26±0.29[a]	788.094***
Moisture loss (g/g dough)		2.98±0.31[c]	5.73±0.55[a]	5.41±0.15[a]	4.33±0.46[b]	3.68±0.23[b]	28.933***
Water holding capacity (mL/g)		1.22±0.03[d]	2.20±0.05[c]	2.62±0.02[b]	2.59±0.03[b]	3.23±0.22[a]	161.126***

[1)] Con: donut made only with wheat powder, P8: rice donut added with 8 g of psyllium seed husk based on 100 g of rice flour, P12: rice donut added with 12 g of psyllium seed husk based on 100 g of rice flour, P16: rice donut added with 16 g of psyllium seed husk based on 100 g of rice flour, P20: rice donut added with 20 g of psyllium seed husk based on 100 g of rice flour.

[2)] Each value is mean±standard deviation.

[a-d] Different superscripts indicate there are significant differences between values in a same row according to Duncan's multiple range test ($p<0.05$).

*** $p<0.001$.

력의 차이가 굽는 과정을 거친 후 완성된 제품의 수분 함량에 영향을 미치는 것으로 보인다. 본 실험에서 사용한 중력분의 수분 함량은 13.33%, 멥쌀 가루의 수분 함량은 42.17%, 차전자피의 수분 함량은 10.64%였으며, 멥쌀가루의 수분 함량이 높았기 때문에 대조군과 차전자피 쌀 도넛의 반죽 및 도넛의 수분 함량이 차이가 발생한 것으로 판단된다. 차전자피 첨가에 따른 반죽의 수분함량 감소는 같은 함량의 재료에 차전자피가 가루로서 첨가된 것이기 때문에 전체 재료에 해당하는 수분 비율이 감소하였기 때문이고(Table 1), 도넛의 수분 함량 증가는 차전자피 양의 증가로 수분 결합력이 높아져서 굽는 과정에서의 수분 손실량이 적었기 때문인 것으로 판단되며, 이러한 결과는 차전자피 도넛의 수분 손실량이 5.73 g/g dough에서 3.68 g/g dough로 감소하는 것과 일치하는 결과를 나타냈다.

완성된 도넛의 수분 보유력은 대조군이 유의적으로 가장 낮았으며, 차전자피 쌀 도넛은 차전자피 첨가량 증가에 따라 유의적으로 증가하였다(p<0.05). 본 연구에서 사용한 밀가루의 수분 보유력은 0.73 mL/g이었으며, 쌀가루는 1.02 mL/g, 차전자피는 38.25 mL/g으로 차전자피의 수분 보유력이 밀가루와 쌀가루보다 현저히 높았다. 따라서 차전자피의 높은 수분 보유력으로 인해 차전자파 첨가량이 증가함에 따라 도넛의 수분 보유력이 증가한 것으로 판단된다. 한편, Lee 등(2008)은 설탕 첨가량 증가에 따라 수분 보유력이 증가하였는데, 이는 전분의 결정화에 따른 견고성을 감소시키고, 글루텐 구조의 건조를 방지에 따른 견고성을 감소시켜 결과적으로 케익의 노화가 설탕의 함량에 비례하여 지연될 것이라고 하였다. 또한 Kim 등(2009)은 검류를 빵 제조시 밀가루의 1% 이하로 사용시 수분 보유력 개선으로 반죽 물성 개선은 물론 빵의 품질과 저장성에 영향을 미치게 되는 것으로 보고하였다.

따라서 차전자피의 첨가로 인해 수분 보유력이 대조군보다 높게 나타난 결과는 차전자피 쌀 도넛의 노화 지연에도 긍정적 영향을 줄 것으로 예상된다.

2. 굽기 손실률 및 도넛 비용적

굽기 손실률 및 도넛의 비용적 측정 결과는 Table 3에 나타내었다. 굽기 손실률은 대조군(Con)이 7.71%로 가장 낮았으며, 쌀 도넛의 경우 P16과 P20이 P8과 P12보다 굽기 손실률이 유의적으로 감소한 것으로 나타났다(p<0.05). An 등(2010)에 따르면 반죽을 굽는 과정에서 높은 열에 의해 반죽이 팽창하게 되는데, 이 과정에서 반죽 내의 기공이 열리고 수분이 기체로 증발하여 굽기 손실이 발생하게 된다. Gujral 등(2004)의 hydrocolloid를 첨가하여 제조한 쌀 차파티(chapaty) 연구결과에 따르면 hydrocolloid 첨가량이 높을수록 쌀 차파티의 굽기 손실률이 낮은 것으로 나타났으며, 결과적으로 hydrocolloid 첨가량이 높은 차파티 시료일수록 높은 수분 함량을 가지는 것으로 보고되었다. 또한 설탕에 비해 보습성이 큰 올리고당을 사용하며 제조한 쌀 스폰지 케이크가 설탕을 사용한 대조군 케이크에 비해 굽기 손실은 적으며, 수분 함량은 높은 것으로 보고되어(Jung 등 2007) 수분 보유력이 굽기 손실과 밀접한 관련이 있는 것으로 보인다. 본 연구에서 차전자피 첨가량 증가에 따라 도넛의 수분 함량이 증가하였는데, 이는 차전자피의 높은 수분 흡수력에 기인한 결과이며, 굽기 손실률의 감소 또한 차전자피의 높은 수분 흡수력으로 인해 차전자피 첨가량 증가에 따라 수분 증발이 감소하여 나타난 것으로 판단된다. 한편, 매생이 분말 첨가 스폰지 케이크의 경우 매생이 분말의 첨가로 반죽이 불안정하게 되어 굽기 손실률이 증가한 것으로 보고되었다(Lee 등 2007). 본 연구의 경우, 차전자피 첨가량 증가에 따라 겔 형성이 증가하여 반죽이 안정해진 것으로 여겨지며, 이는 수분 흡수력과 더불어 굽기 손실률의 감소에 영향을 미친 것으로 판단된다. 대조군과 차전자피 도넛의 굽기 손실율 차이는 밀가루의 글루텐이 차전자피 겔보다 반죽을 더 안정하게 해주어 대조군의 굽기 손실률이 더 낮게 나타난 것으로 사료된다.

비용적은 대조군이 2.41 mL/g으로 모든 쌀 도넛 시료의 비용적(1.53~1.86 mL/g)보다 유의적으로 높았으며, 차전자피 쌀 도넛 시료 간에는 비용적의 유의적인 차이가 나타나지 않았

Table 3. Baking loss and specific volume of donut with psyllium seed husk

Property	Con[1)]	P8	P12	P16	P20	*F*-value
Baking loss (%)	7.71±0.22[2)c]	9.26±0.16[a]	9.38±0.26[a]	8.12±0.18[b]	8.36±0.23[b]	34.836***
Specific volume (mL/g)	2.41±0.06[a]	1.73±0.25[b]	1.86±0.27[b]	1.66±0.29[b]	1.53±0.06[b]	7.794**

[1)] Con: donut made only with wheat powder, P8: rice donut added with 8 g of psyllium seed husk based on 100 g of rice flour, P12: rice donut added with 12 g of psyllium seed husk based on 100 g of rice flour, P16: rice donut added with 16 g of psyllium seed husk based on 100 g of rice flour, P20: rice donut added with 20 g of psyllium seed husk based on 100 g of rice flour.

[2)] Each value is mean±standard deviation.

[a~c] Different superscripts indicate there are significant differences between values in a same row according to Duncan's multiple range test (p<0.05).

** p<0.01, *** p<0.001.

다(p<0.05). Kim 등(2013)은 활성 글루텐 첨가량이 많을수록 식빵의 비용적이 증가한 것은 활성 글루텐의 첨가로 탄력 있는 반죽을 형성하게 되고 효모로부터 발생한 이산화탄소를 많이 포집할 수 있기 때문이라 보고하였다. 또한, 여러가지 글루텐 프리 가루를 이용하여 만든 빵의 연구에서는 글루텐의 점탄성으로 인해 글루텐 프리 반죽보다 밀가루 반죽이 가공 및 굽는 과정에서 더 높은 가스 보유력을 가지게 되면서 밀가루 반죽의 비용적이 더 높은 것으로 보고되었다(Hager 등 2012). 한편, Beikzadeh 등(2016)에 따라 수분 흡수가 증가하게 되면 반죽의 점도는 증가하게 되고, 결과적으로 기포가 충분히 가둬지지 않게 되어 케이크의 부피 감소와 팽창 저하를 일으키는 것으로 보고되었다. 따라서 본 연구에서 차전자피 쌀 도넛의 비용적이 유의적으로 낮았던 것은 밀가루 반죽의 글루텐의 점탄성이 차전자피 겔보다 뛰어나고, 차전자피 쌀 도넛 반죽이 수분 흡수로 인해 점도가 증가하여 결과적으로 밀가루 반죽이 더 높은 가스 보유력을 가지게 되었기 때문인 것으로 판단된다(p<0.05).

3. 도넛의 색도

도넛 표면(crust)과 단면(crumb)의 명도(lightness), 적색도(redness) 및 황색도(yellowness) 측정 결과는 Table 4와 같다. 도넛 표면의 경우 명도와 적색도 및 황색도는 대조군이 가장 높았으며, 차전자피 쌀 도넛은 차전자피 첨가량 증가에 따라 유의적으로 감소하였다(p<0.05). 도넛 단면의 명도와 황색도는 대조군이 가장 높았으며, 차전자피 쌀 도넛의 경우 차전자피 첨가량 증가에 따라 감소하였고, 적색도는 대조군보다 차전자피 쌀 도넛이 유의적으로 높았다(p<0.05). Raymundo 등(2014)의 연구에서 차전자피 첨가 비스켓의 색도는 첨가량 증가에 따라 명도와 적색도는 증가하고 황색도는 감소하였는데, 이는 차전자피의 색도가 밀가루보다 어두웠고, 밀가루를 식이섬유로 대체한 것이 비효소적 갈변에 영향을 주었기 때문에 나타난 결과라고 보고하였다. 또한 Hydrocolloid의 첨가는 물의 분산에 영향을 주고, 이는 마이야르 갈색화 반응과 카라멜화에 영향을 줄 수 있는 것으로 보고되었다(Mezaize 등 2009). 따라서 본 연구에서 차전자피 쌀 도넛의 표면 색도는 차전자피 고유의 색의 영향을 받아 첨가량 증가에 따라 어두워진 것과 더불어 차전자피의 식이섬유와 같은 성분이 마이야르 반응에 영향을 주어 색도의 차이가 발생한 것으로 보인다. 또한, 차전자피 첨가 스폰지 케이크의 단면 색도는 전반적으로 명도가 감소하고 적색도는 증가하며, 황색도는 감소하는 경향을 보인 것으로 보고되었는데(Beikzadeh 등 2016), 이는 본 연구의 단면 색도와 유사한 결과였으며, 차전자피 도넛의 단면 색도 또한 도넛의 표면 색도와 같이 차전자피 분말 자체 색도의 영향을 받아 나타난 결과로 사료된다.

4. 도넛의 조직감 특성

구운 도넛의 경도(hardness), 탄력성(springiness), 응집성(cohesiveness) 및 씹힘성(chewiness) 측정 결과는 Table 5에 나타내었다. 차전자피 쌀 도넛의 경도는 차전자피 첨가량 증가에 따라 유의적으로 증가하였으며, P16의 경도가 대조군과 유의적인 차이가 없었다(p<0.05). 친수 콜로이드는 주로 구워서 만드는 식품에 수분 결합력을 높이며, 더 촉촉하고 부드럽게 하기 위해 첨가하게 되는데 이와 관련하여 HPMC의 첨가로 인한 빵의 경도 감소, 구아검의 첨가로 인한 빵 부피가 증가와 경도 감소 등의 연구들이 보고되었다(Barcenas 등 2004; Rodge 등 2012; Hager & Arendt 2013). 반면, HPMC와 알긴산

Table 4. Color values of donut with psyllium seed husk

Color values		Con[1)]	P8	P12	P16	P20	F-value
Crust	L[2)]	50.98±1.68[3)a]	47.64±1.09[b]	46.02±0.64[bc]	44.54±2.38[cd]	42.24±0.96[d]	14.814[***]
	a	8.72±0.10[a]	8.16±0.13[b]	7.30±0.07[c]	6.63±0.13[d]	5.47±0.21[e]	258.621[***]
	b	17.39±1.05[a]	14.04±0.82[b]	12.52±0.98[c]	11.60±0.41[c]	12.73±0.25[bc]	25.822[***]
Crumb	L	73.06±0.69[a]	57.45±0.36[b]	54.69±1.20[c]	53.36±0.64[d]	51.28±0.07[e]	466.166[***]
	a	−3.01±0.78[c]	2.97±0.22[a]	2.07±0.20[b]	3.08±0.27[a]	1.90±0.04[b]	124.443[***]
	b	22.91±0.59[a]	14.62±0.08[b]	13.65±0.47[c]	12.25±0.32[d]	10.37±0.03[e]	511.691[***]

[1)] Con: donut made only with wheat powder, P8: rice donut added with 8 g of psyllium seed husk based on 100 g of rice flour, P12: rice donut added with 12 g of psyllium seed husk based on 100 g of rice flour, P16: rice donut added with 16 g of psyllium seed husk based on 100 g of rice flour, P20: rice donut added with 20 g of psyllium seed husk based on 100 g of rice flour.

[2)] L: lightness, a: redness, b: yellowness.

[3)] Each value is mean±standard deviation.

[a-e] Different superscripts indicate there are significant differences between values in a same row according to Duncan's multiple range test (p<0.05).

[***] p<0.001.

Table 5. Texture characteristics of donut with psyllium seed husk

Texture characteristics	Con[1)]	P8	P12	P16	P20	*F*-value
Hardness (N)	11.65±1.19[2)b]	7.48±0.17[c]	8.53±1.15[c]	11.72±1.09[b]	15.20±1.86[a]	18.647[***]
Springiness (mm)	6.12±0.05[d]	6.48±0.04[c]	6.58±0.03[b]	6.52±0.03[bc]	6.71±0.07[a]	67.001[***]
Cohesiveness	0.63±0.01[c]	0.74±0.01[b]	0.73±0.01[b]	0.73±0.02[b]	0.77±0.03[a]	23.386[***]
Chewiness (N·mm)	45.21±4.18[bc]	35.59±1.19[c]	41.10±5.70[c]	55.56±6.32[b]	78.48±9.33[a]	24.053[***]

[1)] Con: donut made only with wheat powder, P8: rice donut added with 8 g of psyllium seed husk based on 100 g of rice flour, P12: rice donut added with 12 g of psyllium seed husk based on 100 g of rice flour, P16: rice donut added with 16 g of psyllium seed husk based on 100 g of rice flour, P20: rice donut added with 20 g of psyllium seed husk based on 100 g of rice flour.

[2)] Each value is mean±standard deviation.

[a-d] Different superscripts indicate there are significant differences between values in a same row according to Duncan's multiple range test ($p<0.05$).

[***] $p<0.001$.

의 첨가는 빵의 경도를 감소시켰으나 잔탄검의 첨가는 경도를 증가시킨 것으로 나타나(Guarda 등 2004), 친수 콜로이드 종류에 따라 경도에 미치는 영향이 달랐으며, Hwang 등(2017)의 연구에서는 HPMC 첨가로 경도가 감소한 연구들(Guarda 등 2004; Hager & Arendt 2013)과 달리, HPMC의 첨가로 쌀빵의 내부구조가 강해지고 수분 함량이 높았지만 불규칙적이며 조밀한 구조를 보였고, 경도가 증가한 것으로 나타나 같은 종류의 친수 콜로이드라도 접근하는 방법의 차이에 의해 경도 결과가 달라질 수 있는 것으로 나타났다. 본 연구에서는 많은 양의 친수 콜로이드를 함유하고 있는 차전자피(Hashemi 등 2015)의 첨가로 인하여 차전자피의 첨가량이 늘어날수록 도넛의 수분 함량과 경도가 증가했다. 이는 친수 콜로이드 첨가로 빵의 경도가 증가한 선행 연구들과 일치하는 결과이며, 차전자피의 첨가로 인한 조밀한 구조 형성에서 기인한 것으로 보인다. 탄력성의 경우, 차전자피 구운 쌀 도넛은 시료 모두 대조군보다 높았으며, P20이 가장 높은 것으로 나타났다. 따라서 차전자피의 첨가는 도넛의 탄력성 증가에 영향을 미치는 것으로 보이며, 이는 차전자피를 요거트에 첨가하였을 때 차전자피 첨가량 증가에 따라 탄력성이 증가한 연구 결과(Bhat 등 2018)와 유사하였다. Crockett 등(2011)의 연구에 따르면 빵 제조시 친수 콜로이드를 첨가했을 때 대조군과 탄력성 차이가 거의 없었으나, 2% High methoxy HPMC 첨가는 빵의 탄력성을 증가시켰으며, 2% 및 5%의 잔탄검 첨가는 탄력성을 감소시킨 것으로 보고되어 친수 콜로이드의 종류에 따라 탄력성의 결과가 달라지므로 목적에 따라 적절한 친수 콜로이드의 첨가가 필요할 것으로 보인다. 씹었을 때 빵이 어떻게 뭉치는 지와 관련된(Marco & Rosell 2008) 응집성의 경우 대조군이 가장 낮았고, 차전자피 쌀 도넛 중 P20이 가장 높았다. 씹힘성은 차전자피 첨가량 증가에 따라 증가하는 경향을 보였는데, 경도, 탄력성, 응집성의 곱으로 도출하게 되는 씹힘성의 경우에는 차전자피 쌀 도넛의 경도와 유사한 경향을 보였다. 따라서 차전자피 첨가량을 증가할수록 구운 쌀 도넛의 경도, 탄력성, 응집성, 씹힘성 모두를 증가시키는 것으로 판단된다.

5. 미세구조 분석

주사전자현미경(SEM)으로 관찰한 도넛의 미세구조는 Fig. 1과 같다. 차전자피 쌀 도넛의 미세구조를 보면 P20이 가장

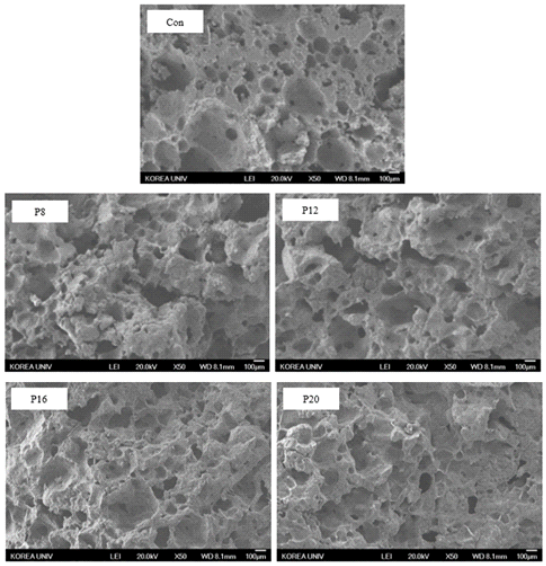

Fig. 1. Scanning electron microscopy images of donut with psyllium seed husk (× 50). Con: donut made only with wheat powder, P8: rice donut added with 8 g of psyllium seed husk based on 100 g of rice flour, P12: rice donut added with 12 g of psyllium seed husk based on 100 g of rice flour, P16: rice donut added with 16 g of psyllium seed husk based on 100 g of rice flour, P20: rice donut added with 20 g of psyllium seed husk based on 100 g of rice flour.

기공의 수가 적고 크기가 작은 것을 볼 수 있으며, 차전자피 첨가량이 적을수록 기공이 커지는 경향을 나타내었다. Lee & Back(2005)과 Mariotti 등(2009)에 따르면 주사전자현미경으로 관찰했을 때 차전자피는 겔 유사 구조를 보였으며, 다공성이 전혀 없는 매끄럽고 주름이 많은 특징을 보였고, 많은 입자들이 매우 정돈된 구조로 형성되어 있으며, 이들의 높은 비표면적에 의해 모세관 현상을 통한 물 흡수가 용이해지는 것으로 추정되었다. 또한 옥수수 전분 일부를 차전자피 분말로 대체하여 반죽을 제조하였을 때 차전자피가 옥수수 전분 알갱이들을 연결시켜주는 것으로 확인되어 이는 반죽의 안정성에도 기여할 것으로 보고되었다(Mariotti 등 2009). 본 연구에서도 차전자피 첨가로 겔이 형성되어 쌀가루를 연결시켜주는 역할을 하게 되고, 차전자피 첨가량이 증가함에 따라 겔 형성이 많이 이루어져 도넛 단면의 기공의 크기가 줄어들고 좀 더 조밀한 구조를 띄는 것으로 판단된다. 또한 식품의 전반적인 조직감은 여러가지 성분에 의해 형성되는 3차원 네트워크에 의해 결정되며, 베이커리 제품에서 이러한 3차원 구조와 외관은 조직적 특성 및 관능 특성에 많은 영향을 끼치게 된다(Crowley 등 2000). 주사전자현미경으로 관찰한 차전자피 도넛 단면이 차전자피 첨가량 증가에 따라 구조가 조밀해 진 것은 경도 증가에 영향을 준 것으로 보이며, 이는 관능특성에도 영향을 줄 것으로 사료된다.

6. 도넛의 저장 중 노화 특성 및 차전자피의 노화 억제 효과 분석

도넛의 저장 중 노화 특성 분석 결과는 Table 6에 나타내었다. 구운 차전자피 쌀 도넛의 Avrami 지수(n)는 대조군이 1.51, P8이 2.04였고, P12, P16 및 P20은 각 1.01, 1.18, 1.10으로 대조군보다 낮았으며, n=1에 가까운 범위를 보였다(p<0.05). Avrami 지수는 결정 성장의 형태에 따라 1~4까지의 값으로 나타낼 수 있으며, 결정핵 형성 시간과 결정체의 형성 속도 상수에 의존하는 복합된 값이다. 그리고 값이 1에 근접하는 것은 결정핵 형성 즉시 결정체 성장이 막대 모양으로 일어나는 것을 의미한다(Yook 등 2000). 또한 Avrami 지수의 값이 작을수록 핵 형성이 지연되고 경화되지 않으며, 유연한 상태를 유지한다고 볼 수 있다(Kim 등 2006). 따라서 P12~P20은 결정체 성장이 막대모양으로 일어나며, 대조군보다 핵형성이 지연되는 것으로 판단할 수 있다.

쌀 가공 식품은 저장기간 동안 전분의 아밀로오스와 아밀로펙틴 분자 사슬 간 상호작용 증가로 인해 재결정과 응집이 일어나는 물리적 변화로 전분의 노화가 진행되며, 이는 쌀 가공제품의 품질을 저하시키게 된다(Kim & Chung 2010). 따라서 본 연구에서는 속도 상수(k)와 시간 상수(1/k) 결과를 통해 노화 속도를 분석하여 차전자피 쌀 도넛의 품질을 평가하였다. 속도 상수가 증가하는 것은 노화 속도가 증가하는 것을 의미하는데(Diaz 등 2010), 본 연구에서 속도 상수는 대조군이 차전자피 쌀 도넛보다 높았으며, 속도 상수의 역수로 구한 시간 상수는 대조군이 가장 낮았다. 차전자피 구운 쌀 도넛의 속도 상수는 P8, P16, P12 및 P20의 순으로 높아져 차전자피 첨가량 증가에 따라 일정한 경향성을 띄지는 않았으나, 차전자피 구운 쌀 도넛 시료의 속도 상수 모두 대조군보다 유의적으로 낮았기 때문에(p<0.05) 차전자피 구운 쌀 도넛은 대조군보다 노화 속도가 느리다고 볼 수 있다. Hager 등(2012)은 글루텐이 물의 이동을 저하시켜 글루텐 프리 빵이 노화에 쉽게 노출될 수 있다는 이전 연구의 가정과는 달리 밀가루 빵의 노화 속도가 가장 빨랐으며, 아밀로스 함량이 낮은 곡물일수록 빵의 노화 속도가 느린 것으로 나타나 글루텐의 유무 이외의 요소가 노화 속도에 영향을 줄 수 있다고 밝혔다. 한편, Kim & Lee(2009)는 유화제가 아밀로오스의 젤화와 아밀로펙틴의 재결정화를 억제하여 활성글루텐만 첨가한 쌀 빵보다 활성글루텐에 검, 유화제 및 효소제를 복합 첨가하여 제조한 쌀 빵이 경도 증가 폭이 현저하게 감소하였다고 보고하였으

Table 6. Avrami analysis of donut with psyllium seed husk

Property	Con[1)]	P8	P12	P16	P20	F-value
Avrami exponent (n)	1.51±0.01[2)b]	2.04±0.28[a]	1.01±0.05[c]	1.18±0.06[bc]	1.10±0.22[c]	19.587[***]
Rate constant (k)	0.08±0.00[a]	0.05±0.00[c]	0.05±0.00[b]	0.05±0.00[bc]	0.05±0.00[b]	62.160[***]
Time constant (1/k)	12.68±0.16[c]	22.11±1.10[a]	19.52±1.42[b]	20.42±0.63[ab]	19.49±1.77[b]	28.948[***]

[1)] Con: donut made only with wheat powder, P8: rice donut added with 8 g of psyllium seed husk based on 100 g of rice flour, P12: rice donut added with 12 g of psyllium seed husk based on 100 g of rice flour, P16: rice donut added with 16 g of psyllium seed husk based on 100 g of rice flour, P20: rice donut added with 20 g of psyllium seed husk based on 100 g of rice flour.

[2)] Each value is mean±standard deviation.

[a~c] Different superscripts indicate there are significant differences between values in a same row according to Duncan's multiple range test (p<0.05).

[***] p<0.001.

며, Sciarini 등(2010b)은 콩 단백질이 수분 결합력이 강하여 전분의 노화를 방해하고 저장기간 동안 재결정화를 감소시키기 때문에 쌀 빵에 콩가루를 첨가하면 노화를 지연시킬 수 있다고 보고하였다. 따라서 본 연구의 경우, 차전자피 도넛의 강한 수분 보유력에 의해 전분 노화가 저해된 것으로 판단되며, 차전자피의 첨가는 저장성 개선에 도움을 줄 수 있을 것으로 사료된다.

요약 및 결론

본 연구는 글루텐 대체재로 차전자피를 이용하여 구운 쌀 도넛을 제조한 후 품질 특성 및 노화 특성을 분석하여 밀가루로 제조한 도넛과 비교하고 가장 유사한 특성을 가진 차전자피 쌀 도넛의 제조법을 찾고자 하였다. 굽기 손실률은 차전자피 쌀 도넛 시료 중에서 차전자피 첨가량이 높은 시료가 낮았으며, 비용적은 대조군이 차전자피 쌀 도넛보다 높았다($p<0.05$). 차전자피 첨가량이 높은 도넛 시료가 수분 함량과 수분 보유력이 높았으며, 수분 손실량은 낮았다($p<0.05$). 차전자피 쌀 도넛 표면의 색도는 대조군과 비교하여 명도, 황색도 및 적색도 모두 낮았으며, 도넛 내부의 색도는 대조군과 비교하여 명도, 황색도는 낮았으나 적색도는 높았다($p<0.05$). 경도는 차전자피 첨가량 증가에 따라 증가하였으며, P16이 대조군과 유의적 차이가 없었다. 탄력성과 응집성은 차전자피 쌀 도넛이 대조군보다 높았으며, 씹힘성은 경도와 유사한 경향을 나타냈다($p<0.05$). 차전자피 쌀 도넛 모두 대조군과 비교하였을 때 노화 속도가 낮아 노화가 지연될 수 있는 것을 확인하였고, 미세구조 분석 결과, 차전자피 첨가량이 많을수록 조밀한 구조를 보였다. 따라서 P16과 P20이 차전자피 도넛 시료에서 굽기 손실률이 유의적으로 낮고, 조직감 측면에서는 P16이 대조군과 가장 유사하므로 차전자피를 쌀가루 100 g당 16 g 첨가하는 것이 가장 적절할 것으로 사료된다. 또한, 노화 속도는 차전자피 도넛이 대조군보다 느리기 때문에 저장성 측면에서는 긍정적 효과를 기대할 수 있을 것으로 여겨진다. 이상의 결과를 통해 글루텐 대체재로서 차전자피의 유용성을 확인할 수 있었으며, 차전자피는 베이커리를 비롯한 다양한 분야에서 식품 소재로서 활용할 수 있을 것으로 보인다.

References

American Association of Cereal Chemists [AACC]. 2000. Approved Methods of Analysis. 11th ed. Method 10-15

An HK, Hong GJ, Lee EJ. 2010. Properties of sponge cake with added saltwort (*Salicornia herbacea* L.). *J Korean Soc Food Cult* 25:47-53

Barcenas ME, Benedito C, Rosell CM. 2004. Use of hydrocolloids as bread improvers in interrupted baking process with frozen storage. *Food Hydrocolloids* 18:769-774

Beikzadeh S, Peighambardoust SH, Beikzadeh M, Asghari Javar-Abadi MA, Homayouni-Rad A. 2016. Effect of psyllium husk on physical, nutritional, sensory, and staling properties of dietary prebiotic sponge cake. *Czech J Food Sci* 34:534-540

Bhat SV, Deva AM, Amin T. 2018. Physicochemical and textural properties of yogurt fortified with psyllium (*Plantago ovate*) husk. *J Food Process Preserv* 42:1-9

Bing DJ, Chun SS. 2015. Quality characteristics and antioxidant properties of rice chiffon cakes with wild grape powder. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 44:118-127

Choi HJ, Nam JS. 2005. Effect of psyllium seed husk on the postprandial glucose control and insulin secretion dynamics. *Nutr Sci* 8:83-88

Crockett R, Ie P, Vodovotz Y. 2011. How do xanthan and hydroxypropyl methylcellulose individually affect the physicochemical properties in a model gluten-free dough? *J Food Sci* 76:E274-E282

Crowley P, Grau H, Arendt EK. 2000. Influence of additives and mixing time on crumb grain characteristics of wheat bread. *Cereal Chem* 77:370-375

Diaz P, Ros JM, Banon S. 2010. Monitoring retrogradation in liquorice-type sweets of different size and hardness. *Starch-Starke* 62:558-565

Dobraszczyk BJ. 2004. The physics of baking: Rheological and polymer molecular structure-function relationships in breadmaking. *J Non-Newtonian Fluid Mech* 124:61-69

Guarda A, Rosell CM, Benedito C, Galotto MJ. 2004. Different hydrocolloids as bread improvers and antistaling agents. *Food Hydrocolloids* 18:241-247

Gujral HS, Guardiola I, Carbonell JV, Rosell CM. 2003. Effect of cyclodextrinase on dough rheology and bread quality from rice flour. *J Agric Food Chem* 51:3814-3818

Gujral HS, Haros M, Rosell CM. 2004. Improving the texture and delaying staling in rice flour chapati with hydrocolloids and α-amylase. *J Food Eng* 65:89-94

Gujral HS, Rosell CM. 2004. Improvement of the breadmaking quality of rice flour by glucose oxidase. *Food Res Int* 37:75-81

Hager AS, Arendt EK. 2013. Influence of hydroxypropylmethylcellulose (HPMC), xanthan gum and their combination on

loaf specific volume, crumb hardness and crumb grain characteristics of gluten-free breads based on rice, maize, teff and buckwheat. *Food Hydrocolloids* 32:195-203

Hager AS, Wolter A, Czerny M, Bez J, Zannini E, Arendt EK, Czerny M. 2012. Investigation of product quality, sensory profile and ultrastructure of breads made from a range of commercial gluten-free flours compared to their wheat counterparts. *Eur Food Res Technol* 235:333-344

Hashemi FS, Gharibzahedi SMT, Hamishehkar H. 2015. The effect of high methoxyl pectin and gellan including psyllium gel on Doogh stability. *RSC Adv* 5:42346-42353

Hong SS, Cha JY, Kim DJ. 2002. Effect of psyllium husk, pectin and cellulose on the lipid concentrations and hemobiochemical enzymes in rats. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 31:808-813

Husby S, Koletzko S, Korponay-Szabo IR, Mearin ML, Phillips A, Shamir R, Troncone R, Giersiepen K, Branski D, Catassi C, Lelgeman M, Maki M. 2012. European society for pediatric gastroenterology, hepatology, and nutrition guidelines for the diagnosis of coeliac disease. *J Pediatr Gastroenterol Nutr* 54:136-160

Hwang SO, Kim JM, Shin M. 2017. Effects of hydrocolloids on the qauality of protein and transglutaminase added gluten-free rice bread. *Korean J Food Cook Sci* 33:198-208

Joung KY, Song KY, O HB, Shin SY, Kim YS. 2017a. Effects of gum on quality characteristics of gluten-free noodles prepared with *Eragrostis tef* flour. *Korean J Food Nutr* 30:1025-1034

Joung KY, Song KY, O HB, Zang YY, Shin SY, Kim YS. 2017b. Effect of various gluten-free flours on quality characteristics and antioxidant activities of cookies. *Korean J Food Cook Sci* 33:127-136

Jung EJ, Byen KE, Lee KA. 2007. The effects of oligosaccharides on the quality characteristics of rice flour sponge cakes. *Korean J Food Cook Sci* 23:530-536

Jung JH, Kim HJ, Yoon HH. 2017. The influence of consumption values on attitudes and purchase intentions of consumers towards gluten-free products. *Korean J Food Cook Sci* 33:218-227

Jung JH, Yoon HH. 2017. Textural properties of gluten-free rice pasta prepared employing various starches. *Korean J Food Cook Sci* 33:28-36

Kang TY, Choi EH, Jo HY, Yoon MR, Lee JS, Ko SH. 2014. Effects of rice flour particle size on quality of gluten-free rice bread. *Food Eng Prog* 18:319-324

Kim DH, Whang HJ, Moon SW, Kang BS. 2006. The retrogradation of steamed Korean rice cake (Jeungpyun) with addition of gums. *Korean J Food Sci Technol* 38:838-842

Kim KE, Lee YT. 2009. Combined effects of vital gluten, gum, emulsifier, and enzyme on the properties of rice bread. *Food Eng Prog* 13:320-325

Kim MY, Lee JH, Lee SK. 2009. Quality characteristics of white pan bread containing HPMC, MC, and sodium alginate. *Korean J Food Sci Technol* 41:278-283

Kim SS, Chung HY. 2010. Retarding retrogradation of Korean rice cakes (*Karedduk*) with a mixture of trehalose and modified starch analyzed by avrami kinetics. *Korean J Food Nutr* 23:39-44

Kim YJ, Lee JH, Choi MJ, Choi DR, Lee SK. 2013. Effects of vital wheat gluten on quality characteristics of white pan bread containing resistant starch. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 42:76-82

Kumar A, Kumar N, Vij JC, Sarin SK, Anand BS. 1987. Optimum dosage of ispaghula husk in patients with irritable bowel syndrome: Correlation of symptom relief with whole gut transit time and stool weight. *Gut* 28:150-155

Lee JH, Kwak EJ, Kim JS, Lee YS. 2007. Quality characteristics of sponge cake added with Mesangi (*Capsosiphon fulvescens*) powder. *Korean J Food Cook Sci* 23:83-89

Lee SK, Baik MY, Jang HR, Park SK. 2008. Application of sweetness inhibitor, Na^{+}-2-(4-Methoxyphenoxy) propanoic acid, to modify sweetness and to improve shelf life and texture in pound cake. *Korean J Food Sci Technol* 40:534-539

Lee SY, Back JH. 2005. Screening study for the functionality of psyllium husk as a dietary fiber material. *J Ind Technol Kangwon Natl Univ* 25:229-239

Lindsay MP, Skerritt JH. 1999. The glutenin macropolymer of wheat flour doughs: Structure-function perspectives. *Trends Food Sci Technol* 10:247-253

Marco C, Rosell CM. 2008. Breadmaking performance of protein enriched, gluten-free breads. *Eur Food Res Technol* 227: 1205-1213

Mariotti M, Lucisano M, Pagani MA, Ng PKW. 2009. The role of corn starch, amaranth flour, pea isolate, and *Psyllium* flour on the rheological properties and the ultrastructure of gluten-free doughs. *Food Res Int* 42:963-975

Mezaize S, Chevallier S, Le Bail A, De Lamballerie M. 2009. Optimization of gluten-free formulations for french-style

breads. *J Food Sci* 74:E140-E146

Oh SD, Lee CH, Lee, JY. 2007. Confectionary Baker (Korean Edition). pp.149-153. Soohaksa. Inc

Quinn JR, Paton D. 1979. A practical measurement of water hydration capacity of protein materials. *Cereal Chem* 56:38-40

Qvitzau S, Matzen P, Madsen P. 1988. Treatment of chronic diarrhoea: Loperamide versus ispaghula husk and calcium. *Scand J Gastroenterol* 23:1237-1240

Rothschild J, Rosentrater KA, Onwulata C, Singh M, Menutti L, Jambazian P, Omary MB. 2015. Influence of quinoa roasting on sensory and physicochemical properties of allergen-free, gluten-free cakes. *Int J Food Sci Technol* 50: 1873-1881

Raymundo A, Fradinho P, Nunes MC. 2014. Effect of psyllium fibre content on the textural and rheological characteristics of biscuit and biscuit dough. *Bioact Carbohydr Diet Fibre* 3:96-105

Rodge AB, Sonkamble SM, Salve RV, Hashmi SI. 2012. Effect of hydrocolloid (guar gum) incorporation on the quality characteristics of bread. *J Food Process Technol* 3:1-7

Rosell CM, Collar C, Haros M. 2007. Assessment of hydrocolloid effects on the thermo-mechanical properties of wheat using the Mixolab. *Food Hydrocolloids* 21:452-462

Sciarini LS, Ribotta PD, Leon AE, Perez GT. 2010a. Effect of hydrocolloids on gluten-free batter properties and bread quality. *Int J Food Sci Technol* 45:2306-2312

Sciarini LS, Ribotta PD, Leon AE, Perez GT. 2010b. Influence of gluten-free flours and their mixtures on batter properties and bread quality. *Food Bioprocess Technol* 3:577-585

Sharma GM, Pereira M, Williams KM. 2015. Gluten detection in foods available in the United States-A market survey. *Food Chem* 169:120-126

Shin MS, Gang DO, Song JY. 2010. Effects of protein and transglutaminase on the preparation of gluten-free rice bread. *Food Sci Biotechnol* 19:951-956

Singh B. 2007. Psyllium as therapeutic and drug delivery agent. *Int J Pharm* 334:1-14

Yi J, Johnson JW, Kerr WL. 2009. Properties of bread made from frozen dough containing waxy wheat flour. *J Cereal Sci* 50:364-369

Yim MY, Jang SA, Lee SG, Ly SY. 2003. Effects of psyllium husk and glucomannan on serum lipids, fecal fat excretion and body fat in rats fed high-fat diet. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 32:469-473

Yook HS, Kim YH, Ahn HJ, Kim DH, Kim JO, Byun MW. 2000. Rheological properties of wheat flour dough and qualities of bread prepared with dietary fiber purified from Ascidian (*Halocynthia roretzi*) tunic. *Korean J Food Sci Technol* 32:387-395

Zandonadi RP, Botelho RBA, Araujo WMC. 2009. Psyllium as a substitute for gluten in bread. *J Am Diet Assoc* 109:1781-1784

Received 19 March, 2018
Revised 16 May, 2018
Accepted 24 May, 2018