흑미 첨가한 저항전분 함유 도담쌀 압출면 품질 특성, 항산화 활성 및 *in vitro* 혈당지수

박지영¹ · 박혜영¹ · 김홍식¹ · 최혜선¹ · 송하나¹ · 정현정² · 오세관³

¹농촌진흥청 국립식량과학원 중부작물부

²전남대학교 식품영양과학부

³농촌진흥청 국립식량과학원 춘천출장소

Effects of Using Black Rice on Quality and Functional Properties of “Dodamssal” Rice Noodles Containing Resistant Starch

Jiyoung Park¹, Hye Young Park¹, Hong-Sig Kim¹, Hye-Sun Choi¹,
Hana Song¹, Hyun-Jung Chung², and Sea-Kwan Oh³

¹Department of Central Area Crop Science, National Institute of Crop Science, RDA,

²Division of Food and Nutrition and Research Institute for Human Ecology, Chonnam National University

³Chuncheon Branch, National Institute of Crop Science, RDA

ABSTRACT Rice is gluten-free and a staple food in many Asian countries. This study was conducted to investigate ways to improve the physicochemical properties and functionality of rice noodles made from high-amylose rice containing resistant starch. Two rice cultivars were used to make the rice noodles: Dodamssal and Joenheugmi (black rice, BR). The pasting properties, texture, resistant starch content, glycemic index, polyphenol content, and antioxidant activity of the rice noodles were analyzed. Under conditions of 50% water absorption, extruded rice noodles at 112°C, containing 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, and 30% BR were prepared. Three types of noodles, namely extruded noodles (EN), dried EN (DN, dried at 40°C for 48 h), and frozen EN (FN, frozen at -20°C for 48 h), were prepared and cooked. The peak and trough viscosity values decreased with the addition of 5 to 20% BR but increased again with the addition of 25% and 30% BR. The hardness, springiness, and cohesiveness also decreased with the addition of BR. The hardness of the rice noodles was found to be in the following order: EN < FN < DN. The resistant starch and soluble starch content decreased with the addition of BR. The total polyphenol content, ABTS, and DPPH radical scavenging activities increased with the addition of BR, with activities in the following order: FN > EN > DN. The *in vitro* glycemic index of the rice noodles with the addition of 5% BR was significantly lower. The addition of BR can thus reduce the hardness and improve the functionality of extruded rice noodles made with Dodamssal.

Key words: black rice, resistant starch, rice noodle, high amylose rice, extrusion

서 론

비만(obesity)은 소비자들의 식이 변화에 영향을 미치고 고품질 식품에 대한 수요를 증대시킬 뿐만 아니라 새로운 기술이나 식품성분에 대한 연구를 증대시켜왔다(Perez-Alvarez, 2008). 쌀은 우리나라의 주식이며 최근 건강식품으로서 인식이 제고되었는데, 특히 기능성이 높은 현미 상태로 섭취하거나 항산화 활성이 높은 유색미 등 기능성 쌀에도

관심이 많이 증대되었다(Park 등, 2016a).

유색미 중 흑미는 항산화 활성이 뛰어나 노화방지뿐만 아니라 항암 등 질병예방 효과에 관해 인정받아 건강 기능이 우수한 식품으로 보고되고 있다(Choi 등, 1994; Wang 등, 1997). 이러한 기능성 쌀에 대한 관심이 증가되면서 유색미 뿐만 아니라 백미의 약 90%를 차지하고 있는 전분의 식품소재 활용에 관한 관심 또한 증가하였고, 이와 관련된 다양한 연구가 진행되어 왔다(Park 등, 2019). 저항전분(resistant

Received 9 August 2021; Revised 13 September 2021; Accepted 23 September 2021

Corresponding author: Sea-Kwan Oh, Chuncheon Branch, National Institute of Crop Science, RDA, 251, Chungyeol-ro, Chuncheon-si, Gangwon 24219, Korea, E-mail: ohskwan@korea.kr

Author information: Hyun-Jung Chung (Professor)

Copyright © 2021 by The Korean Society of Food Science and Nutrition. All rights Reserved.

This is Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

starch, RS)이란 소화 효소에 의해 소장에서 소화되지 않고, 대장의 미생물에 의해 발효되는 전분으로서 혈당을 낮추고, 지방을 흡착하는 등 비만의 예방 소재로 보고되었다(Perera 등, 2010).

이에 농촌진흥청 국립식량과학원에서는 저항전분을 함유한 도담쌀 품종을 2013년에 육성하였고, 도담쌀을 이용하여 백미에 10% 함유된 저항전분을 분리하고, 국내쌀 최초로 C-타입 전분 결정성을 띄는 구조와 저혈당 식이 소재로서의 특성을 구명한 바 있다(Park 등, 2020). 일반적으로 다각형 전분이 아닌 무정형 등근 전분 구조를 가진 도담쌀은 초기에 밥쌀용으로 이용되지는 않고, 분쇄가 균일하게 잘되는 연질미 특성을 나타내어 도담쌀에 대한 제분 특성, 팽화과자 특성, 로스팅 쌀가루 특성 등 가루의 가공 적성에 대해 주로 연구되었다(Park 등, 2017; Lee 등, 2017a; Park 등, 2018). 또한 가공용으로서 RS를 함유한 도담쌀의 이용 확대를 위해 용도 개발 및 가공 품질 특성 구명에 대한 필요성이 증대되었다.

쌀 가공 제품 중 면류는 라면, 국수 등의 밀가루 대체 소재로 첨가하는 수준으로 출발하여 최근 글루텐프리(gluten free) 건강 소재로 인식되어 다양한 쌀국수 제품개발에 이용되고 있지만 100% 쌀국수에 대한 연구는 부족한 실정이다(Choi 등, 2019).

쌀국수의 대표적인 형태 중 하나인 압출면(extruded rice noodle)은 글루텐이 없어 면대 형성이 힘든 쌀가루를 호화시킨 후 압출하는데, 글루텐 대신 호화된 전분이 반죽의 사이사이를 연결하는 역할을 하므로 전분의 역할이 중요하다(Juliano, 1985). 농촌진흥청 국립식량과학원에서 개발된 팔방미는 아밀로스 함량이 29.5%로 최고점도, 최종점도가 높은 편으로 쌀국수 가공용으로 적합하다고 보고된 바 있다(Jung 등, 2014). 반면, 아밀로스 함량이 40%인 도담쌀은 낮은 호화점도를 가져 전분 결합력이 약해 쌀국수 가공에 있어서 물성에 대한 고려가 필요할 것으로 생각되었다. 따라서 그 특성이 다른 쌀가루 혼합을 통한 쌀국수 품질을 평가하기 위해 일반쌀 전분 특성을 띄고, 항산화 활성이 높은 중간아밀로스인 조은흑미의 양을 달리하여 비교하고자 하였다(Park 등, 2016a; Park 등, 2016b).

이에 본 연구에서는 건강 소재로서 100% 쌀국수 제조를 위해 흑미를 첨가하여 도담쌀 압출면을 제조하고, 그 품질을 평가하여 기능성 쌀의 이용 가치를 높이고 저항전분 쌀의 다양한 이용 및 소비 확대를 위한 기초자료로 활용하고자 수행하였다.

재료 및 방법

실험재료

본 연구에 사용된 시험재료는 2018년에 농촌진흥청 국립식량과학원에서 표준재배법으로 생산된 도담쌀(*Oryza sativa* cv. Dodamssal)과 조은흑미(Joeunheugmi)를 사용하

였다. 제현기(Model SY88-TH, Ssangyong Ltd., Incheon, Korea)와 도정기(Model SY88-TR100, Ssangyong Ltd.)를 사용하여 백미로 도정하였고, 조은흑미는 제현기로 왕겨를 제거한 후 현미상태로 100 mesh체를 장착한 분쇄기(CT293 Cyclotec™, FOSS Analytical Co., Ltd., Suzhou, China)로 분쇄하여 쌀가루를 실험재료로 사용하였다.

흑미 첨가 도담쌀 혼합가루 호화점도 측정

흑미 첨가 도담쌀 혼합가루의 호화 특성은 신속점도측정기(Rapid Viscosity Analyzer, Model RVA-4, Newport Scientific Pty Ltd., Warriewood, Australia)를 이용하여 분석하였다. 쌀가루 수분 14% 기준으로 수분을 보정하여 흑미 5, 10, 15, 20, 25, 30%를 첨가한 6종의 도담쌀 혼합가루를 각 100 g으로 제조하여 시료로 이용하였다. 시료 3 g을 25 mL의 증류수에 분산시켜 처음 1분간은 50°C로 유지시킨 후, 95°C로 12°C/min의 가열속도로 가열하고 95°C에서 2분 30초간 유지시킨 후 다시 50°C로 12°C/min의 속도로 냉각시켜 2분간 유지시키면서 점도를 측정하였다. RVA viscogram으로부터 최고(peak), 최저(trough), 최종(final), 강하(break down), 치반(setback)점도, 호화 시간(peak time) 및 호화 온도(pasting temp)를 산출하였으며, 점도 단위는 국제표준인 mPa.s(millipascal-second)로 표시하였다.

흑미 첨가 도담쌀 압출면 제조 및 분석 시료 준비

흑미 5, 10, 15, 20, 25, 30% 첨가한 도담쌀 혼합가루를 수분을 보정하여 각각 1 kg 단위로 제조하였고, 압출면 제조 직전 50%(w/w) 물을 첨가하여 5분간 고루 섞은 후 stainless체(Dae Heung Co., Seoul, Korea)에 내린 후 압출기계(JP/M305P, Gastec, Daegu, Korea)를 이용하여 증숙 온도 112°C 조건에서 원형 토출 구멍 1 mm를 이용하여 압출면을 제조하였다. 압출 성형된 면은 송풍 냉각시켰고, 18~20 cm 길이로 절단하였다. 압출된 생면과 압출면을 40°C 건조기에서 24시간, -20°C에서 24시간 냉동하여 각각 건면, 냉동면으로 3가지 타입의 면으로 제조하였고, 끓는 물 500 mL 압출면 40 g을 넣어 3분 30초간 삶아 압출 조리면, 건조 조리면, 냉동 조리면으로 준비하였다. 압출 후 제조된 생면, 건면, 냉동면 모두 조리 후 실험에 이용하였고, 각 조리면 성분 분석을 위해서 -70°C에서 급속 냉동하여 동결건조(FDU-7012, Operon, Gimpo, Korea) 후 분쇄하여 분석시료로 준비하였다.

흑미 첨가 도담쌀 압출면의 저항전분, 가용전분 함량

흑미 첨가한 도담쌀 압출면(생면, 건면, 냉동면)의 조리 후 동결건조된 시료의 저항전분(resistant starch)과 가용전분(soluble starch) 함량을 분석하였다. Megazyme International Ireland Ltd.(Wicklow, Ireland)사의 resistant starch assay kit을 이용하여 매뉴얼에 따라 수행하였다.

시료 100 mg에 pancreatin α -amylase과 amyloglucosidase를 혼합한 용액 4 mL를 첨가하여 37°C에서 16시간 교반하여 에탄올로 3회 세척 및 원심 분리 후 침전물과 분리하였다. 분리된 용액은 100 mL 볼륨 메트릭 플라스크에 정량하고 침전물에 2 M KOH 용액을 첨가하여 분산 및 용해시킨 후, 1.2 M sodium acetate buffer(pH 3.8)와 amyloglucosidase를 첨가하여 각각 50°C에서 30분 반응시킨 glucose양을 측정하여 저항전분, 가용전분 함량을 환산하였다. 이후 수분함량을 측정하여 보정된 값을 각각 계산하였다.

흑미 첨가 도담쌀 압출면의 색도 분석

흑미 첨가한 도담쌀 압출면 색도를 분석하기 위해 생면, 건면, 냉동면의 조리면을 각각 제조 후 편평하게 압출면 10가닥을 나열하여 투명한 비닐(Polyvinyl Chloride, PVC)을 씌워 측정하였다. 색도는 color difference meter(Model CM-3500d, Minolta, Osaka, Japan)를 이용하여 명도(lightness), 적색도(redness), 황색도(yellowness)를 측정하였다. 표준색판으로는 백색판(L 값: 97.38, a 값: -0.02, b 값: 1.66)을 사용하였다.

흑미 첨가 도담쌀 압출면의 물성 분석

흑미 첨가한 도담쌀 압출 생면, 건면, 냉동면을 조리 후 texture analyzer(testXpert II, Zwick Roell, Ulm, Germany)를 이용하여 형태가 완전한 압출면 10가닥을 붙여서 도담쌀 압출면 물성 측정을 하였다. 조직감 측정조건은 two-cycle compression을 실시하였으며, pre-test speed 2 mm/sec, post-test speed 2 mm/sec, strain 40%, probe diameter 4 mm의 조건으로 경도(hardness), 탄력성(springness), 응집성(cohesiveness)을 측정하였다.

흑미 첨가 도담쌀 압출면의 총 폴리페놀과 항산화 활성 분석

총 폴리페놀 함량은 Folin-Ciocalteu's phenol reagent가 추출물의 폴리페놀성 화합물에 의해 환원된 결과, 몰리브덴 청색으로 발색하는 원리로 분석하였다(Park 등, 2016a).

분쇄된 유색미 시료 1 g에 80% 메탄올 20 mL를 첨가하여 25°C에서 24시간 추출하였다. 유색미 추출물 10 μ L에 2% Na_2CO_3 200 μ L를 가하여 3분 후 Folin-Ciocalteu's phenol reagent(Sigma-Aldrich Co., St. Louis, MO, USA)를 10 μ L 가하고 37°C에서 27분 반응시킨 다음 비색계(Ultaspec 7000, GE Healthcare Life Sciences, Buckinghamshire, UK)로 750 nm에서 반응액의 흡광도 값을 측정하였다. 표준물질로 gallic acid(Sigma-Aldrich Co.)를 사용하여 표준 검량선을 작성한 후 추출물의 총 폴리페놀 함량은 시료 1 g 중의 mg gallic acid equivalent(GAE)로 나타내었다.

항산화 활성 측정은 2가지 방법인, 2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulphonic acid(ABTS), 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl(DPPH)에 의한 라디칼 소거능

으로 Choi 등(2006)의 방법을 변형하여 측정하였다. 7 mM ABTS 용액과 2.45 mM potassium persulfate 용액을 빛을 차단한 상태로 4시간 동안 4°C에 보관하여 ABTS 양이온을 형성시킨 후, 흡광도 값이 0.70~0.80이 되도록 무수에탄올을 사용하여 조절한 다음 시료 25 μ L에 첨가하고 1분 동안 반응시켰다. 이후 비색계 사용하여 735 nm에서 흡광도의 값을 측정하였다. DPPH 이용 측정법은 Butsat Siriamornpun(2010)의 방법을 변형하여 시료 50 μ L에 에탄올 200 μ L 및 DPPH 용액 200 μ L를 첨가한 것을 30분 동안 반응시킨 후 517 nm에서 흡광도의 변화를 측정하였다. ABTS와 DPPH 라디칼 소거 활성은 시료 100 g 당 mg Trolox equivalent antioxidant capacity(mg TE/100 g, dry basis)로 나타내었다.

흑미 첨가 도담쌀 압출면의 혈당지수 분석

흑미 첨가 도담쌀 압출면(생면, 건면, 냉동면)의 혈당지수(estimated glycemic index, eGI)를 구하기 위해 Englyst 등(1992)의 방법을 수정한 Park 등(2018)방법에 따라 전분 소화율을 분석하였다. Porcine pancreatic α -amylase(P7545, Sigma-Aldrich Co.)를 증류수에 분산시키고, 3,000 rpm, 10분간 원심분리한 후 상등액을 분리하여 0.3 mL amyloglucosidase(A9913, Sigma-Aldrich Co.)를 첨가하여 혼합효소를 만들었다. 조리 후 동결건조된 시료 100 mg에 pH 5.2 sodium acetate buffer 4 mL를 혼합한 후 미리 제조한 혼합효소 1 mL와 5개의 유리구슬을 첨가하였고, 150 rpm의 일정한 속도에서 교반하면서 180분 동안 반응하였다. 반응시킨 시료 1 mL를 취하여 80% 에탄올 용액 1 mL와 혼합한 후 glucose 함량은 glucose oxidase and peroxidase assay kits(Megazyme International Ireland Ltd.)을 이용하여 분석하였다. *In vitro* 혈당지수는 총 전분 함량에서 조리면 시료와 표준물질(white bread)의 소화율 곡선의 면적 비율로 전분 가수분해지수(hydrolysis index, HI)를 계산한 후, Goni 등(1997)의 계산식($eGI = 39.71 + 0.549 HI$)으로부터 eGI 값을 구하였다.

통계분석

자료 분석은 SAS 9.4(SAS Institute Inc., Cary, NC, USA) PC package를 이용하였다. 실험결과는 3번 이상 반복값을 구하여 평균 $\pm$ 표준편차로 나타내었으며, 각 변수에 대해 일원배치분산분석(one-way ANOVA)을 실시하였고, 사후검정으로는 Duncan's multiple range test를 적용하였으며 $P < 0.05$ 수준에서 유의성을 검정하였다.

결과 및 고찰

흑미 첨가 도담쌀 혼합가루 호화점도

흑미 첨가 도담쌀 혼합가루의 호화점도를 분석한 결과는 Table 1에 나타내었다. 조은흑미 첨가 5%에서 첨가량이 증

Table 1. Pasting properties of rice flour of Dodamssal cultivar mixed with black rice (BR)

Mixing ratio of BR	Viscosity (mPa.s)					PT (min)	Pasting temp
	PV	TV	BD	FV	SB		
5	972.6±0.5 ^b	776.3±0.6 ^a	196.3±0.1 ^f	1,215.4±1.3 ^b	242.7±0.9 ^a	5.9±0 ^a	76.2±0.4 ^a
10	936.3±0.4 ^c	719.7±0.7 ^b	216.7±0.3 ^e	1,167.0±1.0 ^c	230.7±1.3 ^a	5.8±0.1 ^b	76±0 ^a
15	929.3±0.1 ^c	680.3±0.3 ^c	249±0.3 ^d	1,160.3±0.7 ^{cd}	231±0.7 ^a	5.8±0 ^b	76±0 ^a
20	911.4±0.3 ^d	636.6±0.2 ^d	274.6±0.2 ^c	1,142±0.7 ^d	230.6±0.6 ^a	5.6±0 ^c	75.5±0.4 ^b
25	938.3±0.9 ^c	635.7±0 ^d	302.7±0.8 ^b	1,167.3±0.9 ^c	229±0.4 ^a	5.6±0.1 ^c	75.2±0 ^{bc}
30	1,019.3±0.4 ^a	678.7±0.3 ^c	340.6±0.2 ^a	1,249±0.9 ^a	229.6±0.7 ^a	5.6±0 ^c	74.7±0.4 ^c

mPa.s (millipascal-second): unit of rapid viscosity, PV: peak viscosity, TV: though viscosity, BD: breakdown viscosity, FV: final viscosity, SB: setback viscosity, PT: peak time. Data are shown as the mean±SD from three independent experiments (n=3). Means with different lower case superscript letters (a-c) within a column are significantly different by Duncan's multiple range test ($P<0.05$).

가할수록 최고점도(peak viscosity, PV), 최저점도(though viscosity, TV), 최종점도(final viscosity, FV) 값은 감소하다가 30% 첨가 시 늘어나는 경향을 나타내었으며, 이때 PV와 FV는 각각 $1,019.3\pm0.4$, $1,249\pm0.9$ mPa.s로 5~25%의 흑미 첨가량보다 유의적으로 가장 높은 결과 값을 나타내었다($P<0.05$). 반면, 강하점도(breakdown viscosity, BD)는 흑미 첨가량이 늘어날수록 유의하게 증가하는 경향을 나타내었고, 치반점도(setback viscosity, SB)는 차이가 없는 것으로 나타났다($P<0.05$). 흑미 첨가량이 늘어날수록 호화시간(peak time, PT)은 빨라졌고, 호화온도(pasting temperature, Pt)는 낮아지는 경향을 나타내었다. 전분 입자가 물을 흡수하여 가열될 때 팽윤하여 그 결정성을 잃고 점도가 증가하는데, 아밀로스는 팽윤을 억제하여 점도가 낮게 나타난다고 하였다(Lee 등, 2017b). 아밀로스 함량이 40%인 도담쌀의 경우, 아밀로스 함량이 4.5~26.5% 범위에 있는 다른 쌀보다 저항전분을 함유하고 팽윤력이 낮아 백미가루의 호화점도가 낮은 특성을 보였다(Park 등, 2017). 선행연구(Park 등, 2016b)에서 조은흑미는 현미 아밀로스가 약 15% 정도를 함유하였으며 조은흑미의 호화점도가 도담쌀보다 높은 것으로 나타났음에도 조은흑미의 조단백질 7.45, 조지방 2.27, 조회분 1.23, 식이섬유 6.19로 전분 이외 구성성분이 많아 흑미 첨가 시 도담쌀 혼합가루의 점도는 감소하는 경향을 나타내었을 것으로 생각된다.

흑미 첨가 도담쌀 압출면의 색도

흑미 첨가 도담쌀 압출면 조리 후 사진은 Fig. 1에 나타내었고, 흑미 첨가 도담쌀 압출 생면, 건면, 냉동면의 각 조리

후 색도 측정 결과는 Fig. 2에 나타내었다. 흑미 첨가량이 많아질수록 압출면이 더 짙은 적갈색을 나타내었고, Fig. 1A~D까지는 흑미 첨가량에 의존적으로 확연히 차이가 났지만 흑미 25와 30% 첨가의 경우 육안 상 크게 차이가 나지 않는 경향을 나타내었다(Fig. 1E~F). Fig. 2의 색도 분석 결과, 압출면의 흑미 첨가량이 5~25%까지 늘어날수록 명도가 유의하게 감소하는 결과를 나타내었고, 25%와 30%의 명도는 30% 냉동면을 제외하고는 유의적 차이가 없었다(Fig. 2A). 이는 조리 전에 비해 조리 후 명도값이 증가하는 것으로 보아 조리과정에서 색소가 소실된 것과 연관이 있다고 생각된다(data not shown). 조리면의 적색도는 흑미 첨가량이 증가할수록 적색도 값이 증가하는 경향이었지만 5% 첨가를 제외하고는 흑미 10~30% 첨가에 따른 압출 생면, 건면, 냉동면 각각의 차이가 통계적으로 유의한 차이를 나타내지는 않았다(Fig. 2B). 황색도 값은 흑미 첨가량이 증가할수록 유의하게 낮아지는 결과값을 나타내었다(Fig. 2C). 이때 압출 생면, 건면, 냉동면 간의 색도값은 뚜렷한 차이가 나타나지 않는 경향이였다. 이것은 흑미 미강을 첨가한 쌀국수의 선행연구(Kong 등, 2012)에서 미강 첨가량이 많아질수록 명도값이 낮아지고 적색도가 높아졌으며, 황색도가 낮아지는 결과와 비슷한 결과를 나타내었다.

흑미 첨가 도담쌀 압출면의 저항전분 및 가용성전분 함량

흑미 첨가 도담쌀 압출 생면, 건면, 냉동면의 저항전분과 가용성전분 함량 분석결과를 Fig. 3에 나타내었다. Fig. 3A에서 흑미 첨가량이 증가할 때 마다 저항전분 함량은 감소하는 경향을 나타내었는데 이는 저항전분을 함유한 도담쌀의

Fig. 1. Cooked rice noodles according to the addition ratio of black rice (BR). Mixing ratio of BR: (A) 5%, (B) 10%, (C) 15%, (D) 20%, (E) 25%, (F) 30%.

Fig. 2. Hunter color values of rice noodles according to the different addition ratio of BR: (A) lightness, (B) redness, (C) yellowness. Results are expressed as mean±standard deviation (n=3). Means with different letters (a-j) above the bars significantly different by Duncan's multiple range test ($P<0.05$). CEN: cooked extruded noodles, CDN: cooked dried noodles, CFN: cooked frozen noodles.

Fig. 3. (A) Resistant starch content (B) soluble starch content of rice noodles according to the different addition ratio of BR. Results are expressed as mean±standard deviation (n=3). Means with different letters (a-m) above the bars significantly different by Duncan's multiple range test ($P<0.05$). CEN: cooked extruded noodles, CDN: cooked dried noodles, CFN: cooked frozen noodles.

함량이 줄어들기 때문인 것으로 판단된다. 전분과 단백질 상호작용은 저항전분 함량 감소에 영향을 준다고 했었고, 셀룰로스와 같은 불용성 식이섬유는 RS 수율에 영향을 최소로 미친다고 하며, 식품가공 중에 아밀로오스와 전분 복합체가 저항전분 함량에 영향을 미친다고 하는데(Escarpa 등, 1997) 흑미가루에 포함되어 있는 단백질, 식이섬유 및 지방과의 상호작용에 따른 저항전분 함량과의 연관성에 대해서는 추후 세밀한 연구가 더 필요하다고 생각된다. 또한 흑미

첨가 도담쌀 압출면, 건면, 냉동면 3종의 조리면은 각각 3.8~4.9%, 5.3~6.7%, 4.9~6.5%의 저항전분 함량을 나타내어 통계적으로 차이를 나타내었다. 압출 생면에 비해 건면과 냉동면의 저항전분 함량이 높았으며, 건면이 냉동면에 비해 저항전분 함량이 높은 경향을 나타내었다. 가용성 전분 함량은 압출면의 경우 흑미 첨가량이 늘어날수록 79.8에서 77.3%로 감소하는 경향을 나타내었지만 건면과 냉동면은 각각 77.2, 77.4%에서 78.2, 77.6%로 유의적 차이가 나타

나지 않았다(Fig. 3B). 일반적으로 압출 가공 시 저항전분의 일종인 노화전분(type 3 resistant starch, RS3) 함량이 줄어드는 경향이고 보관방법에 따라서는 저항전분이 증가된다고 하였다(Sajilata 등, 2006). 또한 높은 수율을 저항전분은 전분호화 뒤에 상온에서 식힌 후 -20°C 냉동 처리하고, 60°C 에서 건조시킬 때 얻어진다고 하였다(Garcia-Alonso 등, 1999). 본 연구에서도 압출 가공 시 도담쌀이 보유하는 10% 함량의 저항전분보다는 줄어들었으며 생면에 비해 건면과 냉동면의 저항전분 함량이 높아지는 것으로 보아 온도 처리 및 보관방법에 따라 저항전분 생성이 증가된다는 선행 연구결과와 일치하는 경향을 확인하였다.

흑미 첨가 도담쌀 압출면의 물성

흑미 첨가 도담쌀 압출 생면, 건면, 냉동면의 경도(hardness), 탄력성(springiness), 응집성(cohesiveness) 분석 결과를 Fig. 4에 나타내었다. 흑미 첨가량이 많아질수록 압출면 경도는 낮아지는 경향을 나타내었다. 이는 흑미 미강을 첨가했을 때 2~5%까지는 감소하다가 10, 15% 첨가 시 경도가 증가했던 이전 연구결과와는 일치하지 않았지만, 흑미의 미강을 첨가할수록 응집성이 낮아진다는 연구결과와 일치하였다(Kong 등, 2012). 이는 압출을 통한 국수면 형성에 있어서 흑미를 첨가했을 때 전분과 단백질 등의 결합력에 영향을 주었다고 판단된다. 또한 Sharma 등(2016)에 따르면 국수에 노화전분을 첨가했을 때 경도가 늘어난다고 하였

는데 본 연구에서는 도담쌀 백미에 흑미가루 첨가량이 증가했을 때 경도가 낮아진 것은 반대로 저항전분의 감소에서 기인되었다고 생각된다. 생면, 건면, 냉동면의 경도는 각각 646~1,651 g, 1,897~3,605 g, 1,564~2,568 g 범위로 건면 > 냉동면 > 생면 순으로 유의하게 높은 결과를 나타내었다(Fig. 4A). 탄력성과 응집성은 흑미 첨가량이 많아질수록 낮아지는 경향이 있었지만 유의한 차이가 나타나지는 않았고, 생면, 건면, 냉동면 간의 차이는 나타나지 않았다. Yang과 Kim(2010)의 보고에 따르면 쌀가루 함량보다는 조리방법 및 포장상태에서 냉동, 냉장, 건면의 차이 등이 국수 조직감이나 관능 특성에 다양하게 영향을 미친다고 보고하였는데, 본 연구에서도 흑미 첨가량에 따른 정도 변화보다는 건면, 냉동면, 생면 간의 경도가 더욱 큰 통계적 차이를 나타내어 압출면 특성에 적합한 포장이나 보관방법 등도 품질 변화에 중요한 요인으로 작용하므로 추후 추가적인 연구가 필요할 것으로 생각된다.

흑미 첨가 도담쌀 압출면의 총 폴리페놀과 항산화 활성

흑미 첨가 도담쌀 압출 생면, 건면, 냉동면의 총 폴리페놀 함량과 항산화 활성 분석 결과를 Fig. 5에 나타내었다. 흑미 첨가량이 많아질수록 압출면의 총 폴리페놀 함량도 유의하게 증가하는 경향을 보였는데, 이는 Kong 등(2012)에서 흑미 미강 첨가량이 2~15% 상승할 때 폴리페놀 함량이 증가했던 결과와 일치하였고, 조리면에서 측정된 폴리페놀 함량

Fig. 4. Texture profile analysis of rice noodles according to the different addition ratio of BR: (A) hardness, (B) springiness, (C) cohesiveness. Results are expressed as mean±standard deviation (n=3). Means with different letters (a-k) above the bars significantly different by Duncan's multiple range test ($P<0.05$). CEN: cooked extruded noodles, CDN: cooked dried noodles, CFN: cooked frozen noodles.

Fig. 5. Polyphenol content and antioxidant activities of rice noodles according to the different addition ratio of BR (A) total polyphenol, (B) ABTS, (C) DPPH. Results are expressed as mean±standard deviation (n=3). Means with different lower case superscript letters (a-k) are significantly different by Duncan's multiple range test ($P<0.05$). CEN: cooked extruded noodles, CDN: cooked dried noodles, CFN: cooked frozen noodles.

범위와 비슷한 결과를 나타내었다(Kong 등, 2012). 또한, 생면, 건면, 냉동면 각각 0.29~1.03, 0.27~0.88, 0.26~0.90 mg GAE/g으로 생면과 냉동면이 건면에 비해 대체적으로 폴리페놀 함량이 높았다. 흑미 폴리페놀 화합물에서 대부분을 차지하고 있는 cyanidin-3-glucoside라는 안토시아닌 색소는 온도, 산소, 빛, pH와 같은 다양한 요인에 의해서 쉽게 잘 분해되는 것으로 보고되었으며(Frank 등, 2012; Mourtzinou 등, 2008), 이는 건조과정 중에서 감소하였기 때문인 것으로 생각된다. ABTS, DPPH 라디칼 소거능 측정 결과, 흑미 첨가량이 늘어날수록 항산화 활성이 증가되었고, 대체적으로 생면> 냉동면> 건면 순으로 활성이 높은 결과를 보여 이는 총 폴리페놀 함량과 일치하는 결과를 나타내었다 (Fig. 5B, C). 선행보고에 따르면(Goffman와 Bergman, 2004; Chung과 Shin, 2007), 유색미의 미강 페놀 화합물과 안토시아닌 색소가 풍부하게 함유되어 있으며 DPPH 소거능과 강한 정의 상관관계($r=0.93^{***}$)를 보인다고 보고하였고 본 연구에서도 이와 일치하는 결과를 나타내었다.

흑미 첨가 도담쌀 압출면의 *in vitro* 혈당지수(eGI)

흑미 첨가 도담쌀 압출면의 소화율에 따른 *in vitro* 혈당지수(expected glycemic index) 분석결과를 Fig. 6에 나타내었다. 흑미 5% 첨가 압출면의 혈당지수 값이 통계적으로 가장 낮은 결과를 나타내었고, 흑미 첨가량이 증가할수록 혈당지수 값도 높은 경향을 나타내었다. 이는 저항전분 함량

이 감소함에 따른 결과라고 생각되며 Srikaeo와 Sangkhiaw(2014) 연구에 의하면 아밀로스 함량과 저항전분의 함량이 높은 쌀가루를 첨가한 국수의 GI가 감소한다고 보고한 결과와 일치된다. 생면, 건면, 냉동면의 경우 각각 82.1~94.1, 79.4~92.5, 81.5~92.3 범위로 생면> 냉동면> 건면의 경향을 나타내었다. 조리(cooking)는 전분을 호화시키는 식품 내 효소의 접근이 용이하게 하여 소화율을 크게 높

Fig. 6. Estimated glycemic index (eGI) of rice noodles according to the different addition ratio of BR. Results are expressed as mean±standard deviation (n=3). Means with different letters (a-i) above the bars significantly different by Duncan's multiple range test ($P<0.05$). CEN: cooked extruded noodles, CDN: cooked dried noodles, CFN: cooked frozen noodles.

이나 상온이나 저온에서 저장 시 노화현상이 일어나는데 노화에 의해 결정성이 향상되어 소화율을 감소시키며 혈당지수가 감소한다고 하였다(Hu 등, 2004), 본 연구에서는 압출에 의해 호화된 생면이나 -20°C에서 보관된 압출면보다 40°C에서 건조된 면의 저항전분 함량이 가장 높고 혈당지수가 가장 낮아 건강 기능성의 측면에서는 효율적인 방법이라고 판단된다.

요 약

본 연구는 건강소재 특수미의 이용 확대를 위해 흑미와 저항전분을 함유한 도담쌀의 혼합 쌀국수의 품질을 평가하였다. 조은흑미 5, 10, 15, 20, 25, 30%를 첨가하여 도담쌀과 혼합하여 호화 특성을 분석하였고, 압출면을 제조한 후 생면, 건면, 냉동면의 형태로 각 면을 조리하여 시료로 활용하였다. 최고점도는 흑미 30% 첨가한 도담쌀 가루에서 가장 높은 결과를 보였고, 강하점도는 흑미 첨가량이 늘어날수록 유의하게 증가하였다. 명도와 황색도는 흑미 첨가량이 늘어날수록 유의하게 감소하였고, 적색도는 5% 흑미 첨가 압출면이 가장 낮은 결과를 나타내었다. 압출면의 저항전분 함량과 경도의 경우, 흑미 첨가량이 증가할수록 감소하는 경향을 나타내었고 건면> 냉동면> 생면 순으로 높은 결과를 나타내었다. 총 폴리페놀과 ABTS, DPPH 라디칼 소거능의 경우 흑미 첨가량이 많아질수록 유의하게 증가하는 결과를 보였고, 생면과 냉동면이 건면에 비해 대체적으로 높은 결과를 나타내었다. 전분 소화율에 따른 *in vitro* 혈당지수 분석결과 흑미 5% 첨가 압출면의 혈당지수가 통계적으로 가장 낮은 결과를 나타내었다. 이는 항산화 기능 강화 도담쌀 쌀국수 제조 시 물성과 기능성 등을 고려할 수 있어 적합한 혼합 비율 설정 등에 기초자료로 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 국립식량과학원 농업과학기술사업(Rural Development Administration, 과제번호: PJ011253022019, PJ015105012021)의 지원에 의해 이루어진 것이며 이에 감사드립니다.

REFERENCES

Butsat S, Siriamornpun S. Antioxidant capacities and phenolic compounds of husk, bran and endosperm of Thai rice. Food Chem. 2010. 119:606-613.
Choi MH, Kim KH, Choi CU, Yook HS. Quality characteristics and antioxidant activities of instant rice noodles amended with Perilla leaf powder. J Korean Soc Food Sci Nutr. 2019. 48:424-432.
Choi SW, Nam SH, Choi HC. Antioxidative activity of ethanolic extracts of rice bran. Foods Biotech. 1994. 5:305-309.
Choi Y, Lee SM, Chun J, Lee HB, Lee J. Influence of heat treatment on the antioxidant activities and polyphenolic com-

pounds of Shiitake (*Lentinus edodes*) mushroom. Food Chem. 2006. 99:381-387.
Chung HS, Shin JC. Characterization of antioxidant alkaloids and phenolic acids from anthocyanin-pigmented rice (*Oryza sativa* cv. Heugjinjubyee). Food Chem. 2007. 104:1670-1677.
Englyst HN, Kingman SM, Cummings JH. Classification and measurement of nutritionally important starch fractions. Eur J Clin Nutr. 1992. 46:S33-S50.
Escarpa A, Gonzalez MC, Morales MD, Saura-Calixto F. An approach to the influence of nutrients and other food constituents on resistant starch formation. Food Chem. 1997. 60: 527-532.
Frank K, Köhler K, Schuchmann HP. Stability of anthocyanins in high pressure homogenisation. Food Chem. 2012. 130: 716-719.
Garcia-Alonso A, Jimenez-Escrig A, Martin-Carron N, Bravo L, Saura-Calixto F. Assessment of some parameters involved in the gelatinization and retrogradation of starch. Food Chem. 1999. 66:181-187.
Goffman FD, Bergman CJ. Rice kernel phenolic content and its relationship with antiradical efficiency. J Sci Food Agric. 2004. 84:1235-1240.
Goni I, Garcia-Alonso A, Saura-Calixto F. A starch hydrolysis procedure to estimate glycemic index. Nutr Res. 1997. 17:427-437.
Hu P, Zhao H, Duan Z, Linlin Z, Wu D. Starch digestibility and the estimated glycemic score of different types of rice differing in amylose contents. J Cereal Sci. 2004. 40:231-237.
Juliano BO. Miscellaneous rice products. In: Rice: Chemistry and Technology. 2nd ed. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN, USA. 1985. p 592-599.
Jung JW, Kang KH, Shin YS, Lee SB, Jo SW. High yield mesophyte rice for processing "Palbangmi". Proceedings of 2014 Annual Meeting of the Korean Society of Breeding Science. 2014 Jul 2-Jul 4. Jeju, Korea. p 63.
Kong S, Kim DJ, Oh SK, Choi IS, Jeong HS, Lee J. Black rice bran as an ingredient in noodles: chemical and functional evaluation. J Food Sci. 2012. 77:C303-C307.
Lee KH, Park J, Lee SK, Lee YY, Lee BW, Park HY, et al. Quality characteristics of puffed snacks made from high-amylose rice varieties containing resistance starch. Korean J Crop Sci. 2017a. 62:285-292.
Lee S, Lee EJ, Chung HJ. Structural and physicochemical characterization of starch from Korean rice cultivars for special uses. Korean J Food Sci Technol. 2017b. 49:1-7.
Mourtzinis I, Makris DP, Yannakopoulou K, Kalogeropoulos N, Michali I, Karathanos VT. Thermal stability of anthocyanin extract of *Hibiscus sabdariffa* L. in the presence of β -cyclodextrin. J Agric Food Chem. 2008. 56:10303-10310.
Park J, Lee SK, Choi I, Choi HS, Kim N, Shin DS, et al. Quality characteristics according to ground particle size of roasted brown rice 'Dodamssal' containing resistant starch. Korean J Food Sci Technol. 2019. 51:509-516.
Park J, Lee SK, Choi I, Choi HS, Shin DS, Park HY, et al. Starch content and *in vitro* hydrolysis index of rice varieties containing resistant starch. Korean J Crop Sci. 2018. 63:304-313.
Park J, Lee SK, Park HY, Choi HS, Cho DH, Lee KH, et al. Physicochemical properties of rice flour of different cultivars using wet and dry milling processes. Korean J Crop Sci. 2017. 62:184-192.
Park J, Oh SK, Chung HJ, Park HJ. Structural and physicochemical properties of native starches and non-digestible starch residues from Korean rice cultivars with different amylose contents. Food Hydrocolloids. 2020. 102:105544. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.105544>

- org/10.1016/j.foodhyd.2019.105544
- Park JY, Ham H, Han SI, Oh SH, Song YC, Cho JH, et al. Comparison of antioxidant components and antioxidant activities of colored rice varieties (*Oryza sativa* L.) cultivated in southern plain. *J Korean Soc Food Sci Nutr*. 2016a. 45(8): 1214-1220.
- Park JY, Oh SH, Han SI, Lee YY, Lee BW, Ham H, et al. Starch structure and physicochemical properties of colored rice varieties. *Korean J Crop Sci*. 2016b. 61:153-162.
- Perera A, Meda V, Tyler RT. Resistant starch: A review of analytical protocols for determining resistant starch and of factors affecting the resistant starch content of foods. *Int Food Res J*. 2010. 43:1959-1974.
- Pérez-Alvarez J. Overview of meat products as functional foods. In: JF López, editor. *Technological strategies for functional meat products development*. Transworld Research Network, Trivandrum, India. 2008. p 1-17.
- Sajilata MG, RS Singhal, PR Kulkarni. Resistant starch—A review. *Compr Rev Food Sci Food Saf*. 2006. 5:1-17.
- Sharma S, Singh N, Katyal M. Effect of gelatinized-retrograded and extruded starches on characteristics of cookies, muffins and noodles. *J Food Sci Technol*. 2016. 53:2482-2491.
- Srikaeo K, Sangkhiaw J. Effects of amylose and resistant starch on glycaemic index of rice noodles. *LWT—Food Sci Technol*. 2014. 59:1129-1135.
- Wang H, Cao G, Prior RL. Oxygen radical absorbing capacity of anthocyanins. *J Agric Food Chem*. 1997. 45:304-309.
- Yang HS, Kim HS. Quality characteristics of rice noodles in Korean market. *J Korean Soc Food Sci Nutr*. 2010. 39:737-744.