

분말 첨가시기와 함량을 달리하여 제조한 자색고구마 누룽지의 항산화 활성 및 품질특성

용지은 · 강성태*

서울과학기술대학교 식품공학과

Antioxidant Activity and Quality Characteristics of Nurungji Prepared with Purple Sweet Potato According to Addition Times and Powder Contents

Ji-Eun Yong and Sung-Tae Kang*

Department of Food Science and Technology, Seoul National University of Science and Technology

Abstract

This study was performed to evaluate the quality characteristics and antioxidant activity of Nurungji by varying the purple sweet potato powder addition time (AR: added after rice cooking, BR: added before rice cooking) and powder ratio (0, 2, 4, 6, 8%) on the prepared rice during Nurungji's manufacturing. In both AR and BR samples, water binding capacity, soluble solid content, reducing sugar, and hardness increased with an increasing proportion of purple sweet potato powder; however, the pH and moisture content decreased. The L value and b value decreased and increased with the influence of anthocyanin in purple sweet potato powder. The total polyphenol, flavonoid, anthocyanin contents, DPPH, and ABTS radical scavenging activity were highest in Nurungji with 8% of purple sweet potato powder. Moreover, AR samples showed higher antioxidant activity than BR samples. Based on the study results above, the preparation of Nurungji with 8% purple sweet potato powder by AR process was more favorable based on the content of antioxidants and antioxidant activity.

Keywords: purple sweet potato, Nurungji, quality characteristics, antioxidant activity, traditional snack

서 론

2021년의 국민 1인당 쌀 소비량은 56.9 kg/년으로, 전년 대비 1.4% 감소하였으며 30년 전(91년 116.3 kg/년)에 비해 절반 수준으로 감소하였다(KOSIS, 2021). 현재 우리나라의 쌀 이용률은 주류용으로 많이 사용되어지고 있으며 국내 쌀의 가공률은 생산량 대비 약 5% 수준에 불과한 실정으로 쌀 소비 확대를 위해 다양한 쌀 가공품 개발의 필요성이 대두되고 있다(Lee et al., 2009).

누룽지는 보통 재래식 밥솥에 밥을 지은 후 바닥에 눌러 붙어 형성된 것으로 우리나라의 대표적인 전통 간식 중 하나이다(Park & Kang, 2021). 현대에는 취사도구의 변화로 가정에서는 누룽지를 조리하여 먹는 경우가 줄고 있으나, 상업용으로는 기계를 이용하여 대량 생산되어 아침 식사

대용, 간식, 후식 등으로 많이 소비되고 있다(Yoo et al., 2012). 이에 누룽지는 쌀의 소비를 증대시킬 수 있는 하나의 방안으로 제시되고 있으며 가정간편식(HMR, Home Meal Replacer) 시장의 확대와 더불어 수요가 꾸준히 증가되고 있는 추세이다(Kim & Cho, 2020). 누룽지에 대한 연구로는 녹색 통곡물을 활용한 누룽지(Lee, 2018), 벼 품종에 따른 누룽지의 특성(Yoo et al., 2012), 즉석 누룽지의 이화학적 특성(Park & Oh, 1997), 마 분말이 첨가된 누룽지(Lee et al., 2009), 새싹보리 분말을 첨가한 누룽지(Park & Kang, 2021) 등이 있으나 누룽지에 다른 소재를 첨가하여 기능성을 부여한 연구는 거의 찾아보기 힘든 실정이다.

자색고구마(*Ipomoea batatas* L. Lam.)는 일반고구마에 비해 영양소 면에서 단백질, 무질소물, 조지방, 토코페롤, 페놀화합물, β -carotene이 높다고 보고되어 있으며(Kim & Lee, 2013), 국내 연구로는 기능성 물질로 안토시아닌 색소와 폴리페놀 등이 알려져 있다(Lee & Yoo, 2012). 자색고구마에 함유된 안토시아닌은 천연 식용색소로서 우수한 항산화 효과를 나타내며, 이외에도 안과, 심혈관 장애 및 염증성 질환 등에 식이치료의 효과가 있어 기능성 식품으로 많은 관심을 받고 있다(Ko & Seo, 2010). 이에 따라 자색

*Corresponding author: Sung-Tae Kang, Department of Food Science and Technology, Seoul National University of Science and Technology, Seoul 01811, Korea
Tel : +82-2-970-6736
E-mail : kst@seoultech.ac.kr
Received March 13, 2022; revised May 10, 2022; accepted May 11, 2022

고구마 분말을 첨가한 쿠키(Liu et al., 2013), 자색고구마 가루를 첨가한 머핀(Ko & Seo, 2010), 자색고구마 분말을 첨가한 젤리(Park & Park, 2012), 자색고구마를 첨가한 스펀지케이크(Kim & Lee, 2013), 자색고구마 죽(Lee, 2013), 자색고구마 분말을 첨가한 생면(Lee & Yoo, 2012) 등의 연구가 보고되어 있으나 자색고구마를 이용한 누룽지의 품질특성 연구는 없는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 자색고구마 분말 첨가량을 달리하여 누룽지를 제조한 후 항산화 활성 및 품질특성을 분석함으로써 전통 가공식품으로의 자색고구마 누룽지의 이용가능성을 평가하고자 하였다.

재료 및 방법

재료

본 실험에 사용한 쌀은 2020년에 생산된 후 2021년 6월 4일 경기도 평택에서 도정한 쌀을 사용하였으며 자색고구마 분말은 지산식품(Hamyang, Korea)에서 구매하여 이용하였다. 누룽지 제조 장치(NRP-100, Hansum Inc., Seoul, Korea)는 공압실린더(KMQ50-250, F.TEC Inc., Gunpo, Korea)가 부착된 판상구조로 가열판 상부와 하부의 온도 조절이 가능한 알루미늄 합금의 압착판으로 구성되어 있으며, 에어 컴프레서(JQS109, JITOOL Inc., Gwangju, Korea)를 함께 사용하여 누룽지를 제조하였다.

누룽지 제조

자색고구마 분말을 첨가한 누룽지는 Table 1의 비율과 같이 배합하고 Fig. 1과 같이 제조하였다. 쌀을 1분간 3번 세척한 후 체에 걸러 탈수 공정을 거치고 쌀과 같은 비율로 가수한 뒤 3시간 동안 침지시켜 전기밥솥(Lj-MD062T, Lihom, Cheonan, Korea)에서 밥을 제조하였다. 밥 제조 전 첨가 시료를 BR (Before Rice cooked), 밥 제조 후 첨가 시료를 AR (After Rice cooked)로 나타내었고 자색고구마 분말을 4% 첨가한 누룽지를 BR-4, AR-4로 하였다. 제조된 밥은 20 g씩 정량하였고, 수동식 누룽지 제조 장치를

이용하여 온도를 200°C로 설정하고 3분간 가열하여 즉석 누룽지를 제조하였다. 제조된 누룽지는 상온에서 24시간 보관 후 후드믹서(HP-300SR, Bescor Corp., Bucheon, Korea)를 이용해 분쇄하고, 25 mesh 체를 이용해 걸러준 후 시료로 사용하였다.

pH 및 색도

자색고구마 누룽지의 pH는 누룽지 분말(25 mesh) 5 g을 증류수 40 mL에 넣고 교반한 후 원심분리기(Union 32R, Hanil Science Industrial, Gimpo, Korea)에서 3,000 rpm, 10분간 원심분리한 상등액을 pH meter (ST2100, Ohaus Coporation, Parsippany, NJ, USA)로 측정하였고, 누룽지의 색도는 petri dish (55×12 mm)에 분말 시료를 넣고 색차계(Color Reader, CR-20, Konica Minolta, Inc., Tokyo, Japan)를 이용하여 L, a, b value를 측정하였다. 이때 사용된 표준 백색판의 L value는 95.1, a value는 -0.1, b value

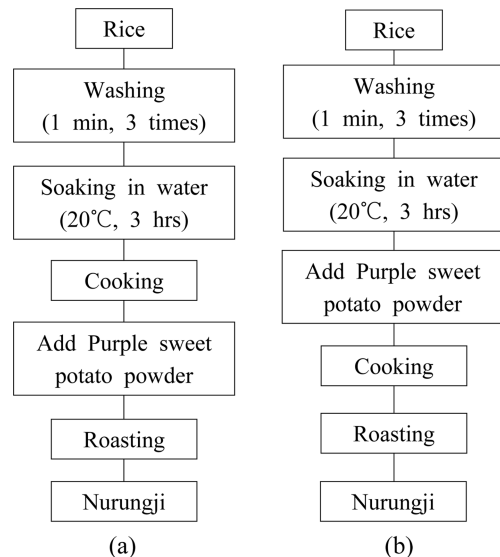


Fig. 1. Flow sheet of production of Nurungji added with purple sweet potato powder. (a) AR : Purple sweet potato powder was added after rice cooking. (b) BR : Purple sweet potato powder was added before rice cooking.

Table 1. Formula for Nurungji added with purple sweet potato powder

Ingredients (g)	Samples (%)				
	Control ¹⁾	AR-2 ²⁾	AR-4	AR-6	AR-8
Rice	200	198	196	194	192
Purple sweet potato powder	0	2	4	6	8
Water	200	200	200	200	200
Total	400	400	400	400	400

¹⁾Control: purple sweet potato powder 0%

²⁾AR-2: purple sweet potato powder 2% was added after rice cooking

³⁾BR-2: purple sweet potato powder 2% was added before rice cooking

는 3.9이었다.

수분함량 및 수분결합능력

누룽지의 수분함량 측정은 AOAC 방법에 준하여 실시하였고, 수분결합능력은 누룽지분말(25 mesh) 1 g을 증류수 30 mL에 가한 후 자석교반기로 실온에서 1시간 동안 저어 준 다음 3,000 rpm에서 30분간 원심분리 후 상등액을 제거하고 침전된 누룽지 분말의 무게(A)를 칭량하여 처음 시료량과의 중량비로 수분결합능력을 계산하였다.

$$\text{Water binding capacity (\%)} \\ = \frac{A - \text{Sample weight (g)}}{\text{Sample weight (g)}} \times 100$$

가용성 고형물 함량 및 환원당

가용성 고형물 함량은 누룽지분말 5 g에 증류수 70 mL를 가하여 실온에서 30분간 교반한 후 3,000 rpm에서 20분간 원심분리하여 얻은 상등액을 당도계로 측정하였다. 환원당은 누룽지분말 5 g에 증류수 45 mL를 voltexing한 후 DNS (dinitrosalicylic acid)에 의한 비색법으로 UV/VIS 분광광도계(Genesys10 UV, Thermo spectronic Co., Waltham, MA, USA)를 이용하여 540 nm에서 흡광도를 측정하였고, 표준곡선은 glucose를 농도별로 반응시켜 구하였다.

경도

자색고구마 누룽지의 경도는 Yoo et al. (2012)의 연구를 참고하여 진행하였고, 누룽지를 2.5×2.5×0.05 cm 크기로 자른 후 texture analyzer (TA-XT Express, Stable Micro Systems Ltd., Godalming, UK)를 이용하였다. 시험 조건은 pre-test 1.0 mm/sec, test speed 1.0 mm/sec, post-test speed 10.0 mm/sec, trigger force 5.0 g로 하였고 probe는 three point bending을 사용하였다.

총 폴리페놀 함량 및 플라보노이드 함량

누룽지를 잘게 부순 다음 10 g을 취하고 70% methanol을 20 mL 가하여 실온에서 3시간 동안 교반한 다음 3,000 rpm에서 30분간 원심분리하고 상등액을 취하여 시료용액으로 사용하였다. 총 폴리페놀 함량은 시료용액 100 µL에 Folin-ciocalteu's phenol reagent를 500 µL와 증류수 700 µL를 첨가하여 혼합하고 20% sodium carbonate 150 µL를 가하여 암소에서 20분간 방치한 후 765 nm에서 흡광도를 측정하였다. 표준물질로는 gallic acid를 사용하였다. 플라보노이드 함량 측정은 시료 250 µL에 5% sodium nitrite 75 µL를 가하여 5분간 방치하고 10% AlCl₃ 150 µL와 1 M sodium hydroxide 500 µL를 가하여 혼합한 후 암소에서 15분간 방치하고 415 nm에서 흡광도를 측정하였다. 표준물질로는 catechin을 사용하였다(Park & Kang, 2021).

총 안토시아닌 함량 측정

총 안토시아닌 함량 측정은 Lee et al. (2005)의 방법에 따라 분석하였다. 시료 0.5 mL에 0.025 M potassium chloride buffer(pH 1.0)와 0.4 M sodium acetate buffer(pH 4.5)를 가하여 최종 부피를 1 mL로 한 다음 510 nm와 700 nm에서 흡광도를 측정하였다. 총 안토시아닌 함량은 아래 식의 cyanidin-3-glucoside의 몰 흡광계수($\epsilon = 26900 \text{ L} \cdot \text{M}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$)를 대입하여 계산하였다.

$$\text{Total anthocyanin content (cyanidin-3-glucoside, mg/100 g)} \\ = \frac{A \times \text{MW} \times \text{DF} \times 1,000}{\epsilon \times l}$$

$$A = (A_{\lambda 510} - A_{\lambda 700}) \text{ at pH 1.0} - (A_{\lambda 510} - A_{\lambda 700}) \text{ at pH 4.5}$$

MW = molecular weight of cyanidin-3-glucoside = 449.2 g/mol

DF = dilution factor

ϵ = the molar absorptivity = 26,900 L/cm·mol

DPPH 및 ABTS 라디칼 소거 활성 측정

DPPH 라디칼 소거 활성은 Cheung et al. (2003)의 방법에 준하여 분석하였다. 농도별로 희석한 시료 용액 50 µL에 0.2 mM DPPH 1 mL를 첨가 후 혼합물을 암소에서 30분간 반응시키고 520 nm에서 흡광도를 측정하였다. ABTS 라디칼 소거능 측정은 Re et al. (1999)의 방법을 변형하여 측정하였다. 7.0 mM 2,2'-azino-bis (3-ethylbenzthiazoline-6-sulfonic acid)와 2.45 mM potassium persulfate를 최종농도로 혼합하여 실온인 암소에서 20시간 동안 반응시켜 라디칼을 생성시켰다. 라디칼이 생성된 ABTS를 methanol로 희석하여 735 nm에서 값이 1.4-1.5가 되도록 하여 ABTS solution을 제조했다. 농도별로 희석한 시료 용액 100 µL에 ABTS solution 900 µL를 넣고 735 nm에서 흡광도를 측정하였다. DPPH 및 ABTS 라디칼 소거능은 농도별 라디칼 소거능에 대한 검량선에서 DPPH 및 ABTS 라디칼 소거능이 50%가 되는 농도인 IC₅₀값을 구하였다.

통계처리

본 연구의 실험결과는 SPSS 26.0 (Statistical package for social science, SPSS Inc., Chicago, IL, USA)를 이용하여 평균값과 표준편차를 계산하였고, 분산분석(AVOVA)을 이용하여 p<0.05 수준에서 다중범위 검정(Duncan's multiple range test)을 실시하여 시료 간의 유의적인 차이를 검증하였다.

결과 및 고찰

수분함량 및 수분결합능력

자색고구마 분말을 첨가한 누룽지의 수분함량 및 수분결합능력의 결과는 Table 3과 같다. 누룽지의 수분함량은 대

조균이 5.86%로 가장 높았고 첨가구는 AR, BR 모두 자색고구마 첨가량이 높을수록 감소하였다. 수분함량은 첨가되는 부재료 특성인 수분흡수력, 식이섬유 함유량, 분말 내 부치밀도, 분말 입자 결합력, 열처리 과정 등으로 인해 차이가 나타나며(Lee, 2020), 자색고구마 누룽지의 경우 부재료가 수분 함유량이 적은 분말의 형태로 첨가되면서 수분함량이 낮아진 것으로 생각된다. AR 시료보다 BR 시료에서 수분함량이 더 높게 나타난 것은 BR의 경우 자색고구마 분말 첨가 후 밥솥에서 수분과 함께 열처리를 가하는 과정이 추가되어 부재료가 수분흡수율을 증가시켰기 때문으로 판단된다. 자색고구마 분말 첨가 머핀(Ko & Seo, 2010), 새싹보리 분말을 첨가한 누룽지(Park & Kang, 2021) 연구에서도 분말 첨가량이 증가할수록 수분함량이 유의적으로 감소하여 본 연구와 같은 경향을 보였다.

자색고구마 분말을 첨가하지 않은 누룽지의 수분결합능력은 354.78%로 가장 낮게 나타났으며, 첨가량이 증가할수록 유의적으로 높은 값을 보였다($p < 0.05$). 이는 부재료의 첨가량이 높을수록 누룽지의 수분결합능력이 증가한다는 새싹보리 분말을 첨가한 누룽지(Park & Kang, 2021), 마

분말을 첨가한 누룽지(Lee et al., 2009)의 연구 결과와 유사하였다. 한편 분말 첨가시기에 따른 수분결합능력은 AR 시료가 BR 시료에 비해 높은 값을 나타내었다. Kang et al. (2015)은 마의 가공처리에 따른 수분결합능력을 측정할 결과 증숙, 건조과정이 반복될수록 수분결합능력이 저하됨을 보고하였으며, 증숙과 건조과정 반복을 통해 전분의 구조나 구성의 변화를 주어 결합력이 약해진 것으로 해석하였다. 본 실험에서도 BR 시료의 경우 자색고구마 분말이 첨가된 후 열처리를 두 번 거치면서 전분의 구조가 변화되어 수분결합능력이 감소된 것으로 생각된다.

가용성 고형물 함량 및 환원당

누룽지의 가용성 고형물 함량 및 환원당을 분석한 결과는 Table 3과 같다. 가용성 고형물 함량은 대조군의 경우 0.33 Brix°였으며 AR의 경우 0.60-0.90 Brix°, BR의 경우 0.40-0.73 Brix°로 나타나 첨가량이 증가할수록 높아지는 경향을 보였다. 한편 분말 첨가시기에 따른 가용성 고형물 함량은 BR 시료보다 AR 시료에서 더 높은 값을 보였다. Hwang & Lee (2021)는 가열온도에 따른 고구마칩 연구에

Table 2. Comparison of moisture contents, water binding capacity, soluble solid contents, reducing sugar and pH of Nurungji added with purple sweet potato powder

Samples	Moisture contents (%)	WBC ¹⁾ (%)	Soluble solid contents (Brix°)	Reducing sugar (%)	pH
Control	5.86±0.01 ^{2(a3)}	354.78±0.03 ⁱ	0.33±0.06 ^f	0.52±0.02 ^f	5.90±0.04 ^a
AR-2	5.57±0.01 ^d	383.90±0.04 ^e	0.60±0.10 ^c	2.00±0.01 ^e	5.53±0.01 ^b
AR-4	5.57±0.01 ^d	398.21±0.07 ^c	0.67±0.06 ^{bc}	2.13±0.00 ^e	5.40±0.01 ^d
AR-6	4.80±0.01 ^g	398.34±0.03 ^b	0.87±0.06 ^a	2.50±0.01 ^b	5.26±0.03 ^f
AR-8	4.61±0.01 ^h	411.90±0.12 ^a	0.90±0.00 ^a	2.73±0.01 ^a	5.20±0.02 ^g
BR-2	5.76±0.00 ^b	371.43±0.09 ^h	0.40±0.00 ^{ef}	0.99±0.01 ^e	5.46±0.02 ^c
BR-4	5.64±0.01 ^c	378.47±0.00 ^g	0.47±0.06 ^{de}	1.18±0.02 ^d	5.32±0.02 ^c
BR-6	5.19±0.01 ^e	380.27±0.01 ^f	0.50±0.00 ^d	2.17±0.01 ^e	5.22±0.01 ^g
BR-8	5.08±0.00 ^f	385.28±0.04 ^d	0.73±0.06 ^b	2.37±0.01 ^b	5.09±0.01 ^h

¹⁾Water binding capacity

²⁾Values are mean±SD (n=3)

³⁾Values with different superscripts a column (a-i) are significant at $p < 0.05$ by Duncan's multiple range test

Table 3. Comparison of color value and hardness of Nurungji added with purple sweet potato powder

Samples	Color values			Hardness (g)
	L value	a value	b value	
Control	80.60±2.80 ^{1(a2)}	4.27±0.21 ^g	14.57±0.67 ^a	4,078.37±106.79 ^e
AR-2	66.80±1.37 ^c	8.90±0.26 ^e	13.00±0.44 ^b	4,738.00±234.64 ^d
AR-4	65.20±0.10 ^{cd}	9.77±0.06 ^d	12.60±0.26 ^b	5,795.50±312.86 ^c
AR-6	60.40±0.10 ^{ef}	10.13±0.29 ^c	10.57±0.06 ^{de}	6,262.90±338.36 ^{bc}
AR-8	59.73±0.59 ^{ef}	11.00±0.10 ^a	9.23±0.31 ^f	7,415.33±327.74 ^a
BR-2	70.10±0.26 ^b	7.93±0.15 ^f	11.57±0.15 ^c	4,430.87±328.67 ^{de}
BR-4	64.73±0.76 ^d	8.70±0.17 ^e	10.83±0.23 ^d	4,913.37±246.59 ^d
BR-6	61.57±0.23 ^e	9.90±0.20 ^{cd}	10.13±0.15 ^e	6,034.63±721.80 ^c
BR-8	59.20±0.36 ^f	10.47±0.15 ^b	7.80±0.30 ^g	6,724.23±85.43 ^b

¹⁾Values are mean±SD (n=3)

²⁾Values with different superscripts a column (a-g) are significant at $p < 0.05$ by Duncan's multiple range test

서 수분함량이 낮을수록 가용성 고형분 함량이 증가하는 것으로 보고하였고, Table 3에 나타난 바와 같이 BR에 비해서 수분함량이 낮았던 AR 시료가 더 높은 가용성 고형분 함량을 보인 것으로 판단된다.

환원당은 유리 알데하이드 작용기 또는 유리 케톤 작용기를 가지고 있어 환원제로 작용할 수 있는 당으로 포도당, 과당, 맥아당 등의 감미도에 영향을 주는 중요한 성분이다(Lee, 2018). 자색고구마 분말 첨가에 따른 누룽지의 환원당 함량은 대조군의 경우 0.52%였으며, 첨가구의 경우 AR 시료에서 2.00-2.73%, BR 시료에서 0.99-2.37%로 자색고구마 분말 첨가량에 따라 유의적으로 증가하였다($p < 0.05$). Kim & Ryu (1995)가 분석한 결과에 따르면 자색고구마의 중성당 함량은 62.77%로 이 중 대부분은 glucose로 보고되어 첨가량에 따라 환원당 함량이 증가한 것은 자색고구마 분말 자체의 당 성분 때문으로 판단된다. 한편 AR 시료가 BR 시료에 비해 높은 환원당 함량을 나타낸 것은 BR 시료의 경우 분말 첨가 후 밥솥에서 취반 과정을 거쳐 누룽지를 제조하여 수용성의 환원당 성분이 유실되었기 때문으로 생각된다.

pH

자색고구마 분말 함량별 누룽지의 pH는 Table 2와 같다. pH는 대조군이 5.90으로 가장 높았고 자색고구마 분말 첨가량에 따라 AR의 경우 5.20-5.53, BR의 경우 5.09-5.46으로 약산성을 띄었으며, 첨가량이 높을수록 유의적으로 감소하였다($p < 0.05$). Ra et al. (2018)의 국내산 고구마 품종별 영양성분 및 이화학적 특성 연구에 따르면 고구마에는 oxalic acid, citric acid, malic acid 등의 유기산이 확인되었으며 그 중 oxalic acid, citric acid 함량이 일반고구마에 비해 자색고구마에서 유의적으로 높은 결과를 보였다. 본 연구에서 대조군에 비해 첨가구의 pH가 낮은 것은 oxalic acid 등의 유기산을 함유한 자색고구마의 pH가 낮기 때문인 것으로 생각된다. 자색고구마를 첨가한 스펀지케이크(Kim & Lee, 2013) 및 자색고구마 죽(Lee, 2013)의 연구에서도 자색고구마 첨가량이 증가할수록 pH가 낮아져 본 연구와 유사한 경향을 보였다. 분말 첨가시기에 따른 pH는 AR 시료에 비해 BR 시료에서 더 낮게 나타났으며, 이는 BR 시료의 경우 자색고구마 분말을 밥 제조 전에 투입하여 가열함으로써 열에 의한 영향을 더 받은 시료의 pH가 감소한 것으로 판단된다. 한편 Hwang & Lee (2021)은 가열온도가 증가함에 따라 고구마칩의 pH가 감소함을 보고한 바 있다.

색도 및 경도

자색고구마 누룽지의 색도 및 경도의 결과는 Table 3에 나타내었다. L값은 대조군이 80.60으로 가장 높게 나타났으며 자색고구마 분말을 첨가할수록 누룽지의 L값이 감소

하여 AR-8, BR-8의 경우 각각 59.73, 59.20으로 가장 낮은 결과를 보였다($p < 0.05$). a값은 대조군이 4.27로 가장 낮게 나타났고 자색고구마 분말 첨가량이 많아질수록 증가하여 AR-8, BR-8의 경우 각각 11, 10.47로 가장 높은 값을 보였다. b값은 대조군이 14.57로 가장 높았고 자색고구마 분말의 첨가량이 증가할수록 감소하여 AR-8, BR-8에서 각각 9.23, 7.8로 나타났다. 황색도에서 AR 시료가 BR 시료에 비해 높은 값을 보인 것은 누룽지의 굽기 과정 중 환원당에 의한 비효소적 갈변인 메일라드 반응이 누룽지의 표면에서 발생하여 제조공정에 따른 환원당 함량의 차이로 인한 것으로 생각된다. 한편 자색고구마 분말 첨가 생면(Lee & Yoo, 2012), 아로니아 분말을 첨가한 쿠키(Lee & Yoon, 2016) 연구에서도 첨가량이 많아질수록 명도, 황색도 값은 감소하고 적색도 값은 증가하여 안토시아닌계 색소의 부재료를 첨가하면 색도의 측정값이 비슷한 경향을 보이는 것으로 나타났다.

자색고구마 누룽지의 경도는 대조군이 4078.37 g, 자색고구마 분말의 함량이 증가함에 따라 AR의 경우 4738.00-7415.33 g, BR의 경우 4430.87-6724.23 g으로 증가하는 경향을 보였다. 이는 수분이 적고 식이섬유가 많은 부재료의 첨가에 따라 수분함량이 감소하면서 경도가 증가한 것으로 생각된다. 또한 AR 시료가 BR 시료보다 더 높은 경도값을 보인 것은 AR 시료에 비해 BR 시료의 수분함량이 더 높았기 때문으로 판단된다.

총 폴리페놀 및 플라보노이드 함량

자색고구마 분말을 첨가한 누룽지의 총 폴리페놀 및 플라보노이드 함량은 Table 4와 같다. 총 폴리페놀 함량은 대조군이 104.28 $\mu\text{g GAE/g}$ 이며, 첨가구는 AR 시료에서 204.69-384.86 $\mu\text{g GAE/g}$, BR 시료에서 125.23-287.32 $\mu\text{g GAE/g}$ 으로 자색고구마 분말의 첨가량이 증가할수록 총 폴리페놀 함량이 유의적으로 증가하였다($p < 0.05$). 플라보노이드의 함량도 대조군에서 34.72 $\mu\text{g CE/g}$ 으로 나타났고, 첨가구는 AR 시료의 경우 144.85-395.00 $\mu\text{g CE/g}$, BR 시료의 경우 61.47-337.23 $\mu\text{g CE/g}$ 으로 첨가량에 비례해 증가하였다. 자색고구마의 안토시아닌 색소는 페놀산 등의 공통적인 aromatic acyl group을 갖고 있어 분말 첨가량에 따라 항산화력에도 뚜렷한 차이가 나는 것으로 생각된다(Kim & Lee, 2013). 자색고구마 분말의 첨가 시기에 따른 총 폴리페놀 및 플라보노이드 함량은 자색고구마 분말을 밥 제조 전에 투입하여 가열하는 BR의 제조공정으로 인해 AR 시료보다 BR 시료가 더 낮은 함량을 보여주었다. 이는 Sung et al. (2017)의 단순 열풍건조한 시료보다 증숙과 열풍건조를 병행처리한 고추냉이 잎 시료가 더 낮은 폴리페놀 및 플라보노이드 함량을 보여준 결과와 일치하였다.

Table 4. Comparison of Total polyphenol, flavonoid, anthocyanin contents, DPPH and ABTS radical scavenging activity of Nurungji added with purple sweet potato powder

Samples	Total polyphenol contents ($\mu\text{g GAE/g}$)	Total flavonoid contents ($\mu\text{g CE/g}$)	Total anthocyanin contents ($\text{mg}/100 \text{ g}$)	DPPH ($\text{IC}_{50}, \text{mg/mL}$)	ABTS ($\text{IC}_{50}, \text{mg/mL}$)
Control	104.28 \pm 8.36 ¹⁾²⁾	34.72 \pm 4.03 ⁱ	2.34 \pm 0.44 ^h	2,196.66 \pm 53.43 ^a	1,095.78 \pm 7.36 ^a
AR-2	204.69 \pm 6.96 ^f	144.85 \pm 4.21 ^g	4.27 \pm 0.64 ^g	887.04 \pm 12.19 ^c	409.08 \pm 1.65 ^d
AR-4	246.29 \pm 3.58 ^e	214.86 \pm 6.29 ^d	7.04 \pm 0.20 ^e	733.74 \pm 16.04 ^e	357.64 \pm 1.38 ^e
AR-6	332.64 \pm 2.58 ^b	322.15 \pm 1.78 ^c	9.11 \pm 0.34 ^c	497.09 \pm 3.83 ^g	269.27 \pm 1.58 ^g
AR-8	384.86 \pm 3.02 ^a	395.00 \pm 2.61 ^a	10.98 \pm 0.18 ^a	393.80 \pm 1.97 ^h	258.86 \pm 0.97 ^h
BR-2	125.23 \pm 0.86 ^h	61.47 \pm 0.85 ^h	3.81 \pm 0.57 ^g	1,166.30 \pm 29.25 ^b	551.80 \pm 2.99 ^b
BR-4	165.68 \pm 4.79 ^g	158.23 \pm 2.75 ^f	6.21 \pm 0.42 ^f	794.67 \pm 14.35 ^d	418.54 \pm 3.67 ^c
BR-6	260.92 \pm 4.74 ^d	204.33 \pm 5.15 ^e	7.79 \pm 0.56 ^d	597.33 \pm 7.20 ^f	338.72 \pm 3.88 ^f
BR-8	287.32 \pm 4.74 ^c	337.23 \pm 2.26 ^b	9.86 \pm 0.21 ^b	431.37 \pm 4.50 ^h	266.48 \pm 0.67 ^g

¹⁾Values are mean \pm SD (n=3)

²⁾Values with different superscripts a column (a-i) are significant at $p < 0.05$ by Duncan's multiple range test

총 안토시아닌 함량

자색고구마 분말 첨가 누룽지의 안토시아닌 함량은 Table 4에 나타내었다. 대조군이 1.17 mg/100 g으로 가장 낮은 값이었으며 자색고구마 분말의 첨가량이 증가함에 따라 안토시아닌 함량은 AR 시료와 BR 시료에서 각각 2.03-5.31 mg/100 g, 1.90-5.07 mg/100 g으로 유의적으로 증가하였다($p < 0.05$). 한편 자색고구마 분말의 첨가 시기에 따른 총 안토시아닌 함량은 분말을 밥 제조 전에 투입하여 가열하는 BR 시료가 AR 시료보다 더 감소한 것으로 나타났다. Park et al. (2011)은 자색고구마의 안토시아닌이 40°C 이하의 온도에서는 비교적 안정하였으나 그 이상의 온도에서는 빠르게 분해됨을 보고하였고, Hwang & Ki (2013)는 가열 온도가 높아지고 가열 시간이 길어질수록 안토시아닌 색소의 안정성이 감소한다고 보고하였다.

DPPH 및 ABTS 라디칼 소거 활성

자색고구마 분말을 첨가한 누룽지의 DPPH 및 ABTS 라디칼 소거능을 측정된 IC_{50} 값은 Table 4와 같다. DPPH 라디칼을 50% 소거시키는 데 필요한 농도로 대조군의 IC_{50} 값은 2196.66 mg/mL로 가장 높았으며, 자색고구마 분말 첨가비율의 증가에 따라 낮아지는 경향을 나타내어 8%의 자색고구마 분말을 첨가한 누룽지가 AR, BR 시료에서 각각 393.80 mg/mL, 431.37 mg/mL로 각 시료 간에 유의적인 차이를 나타내었다($p < 0.05$). ABTS 라디칼 소거능을 측정된 IC_{50} 값도 자색고구마 분말 첨가량이 증가할수록 낮게 나타났으며, 대조군이 1095.78 mg/mL로 가장 높은 값을 보였고, 자색고구마 분말을 8% 첨가하여 제조한 누룽지에서는 AR, BR 시료에서 각각 258.86 mg/mL, 266.48 mg/mL의 IC_{50} 값을 나타내었다. Choi (2009)는 총 페놀화합물의 함량과 항산화능과는 서로 양의 상관관계가 있으며 항산화능의 주된 성분은 페놀화합물인 것으로 보고한 바 있어 자색고구마에 들어있는 페놀화합물과 anthocyanin 색소

가 라디칼 소거 활성의 주요 물질로 작용했을 것으로 보인다. 이상의 결과를 살펴보면 누룽지의 제조에 있어 자색고구마 분말의 첨가는 항산화 증가의 효과에 긍정적인 역할을 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

요 약

본 연구에서는 자색고구마 분말을 밥 제조 후 첨가 (AR)하거나 밥 제조 전에 첨가(BR)하였으며, 첨가 비율별 (0, 2, 4, 6, 8%)로 누룽지를 제조하여 품질특성 및 항산화 활성을 비교하였다. 수분결합능력, 경도, 가용성 고형물 함량과 환원당 함량은 AR, BR 모두 자색고구마의 첨가량이 높을수록 유의적으로 증가하였으나 수분함량과 pH는 AR, BR 모두 자색고구마 첨가량이 높을수록 감소하였다. 색도는 AR, BR 모두 첨가량이 많아짐에 따라 명도, 황색도 값은 감소하였고 적색도 값은 증가하였다. 총 폴리페놀, 플라보노이드, 안토시아닌 함량, DPPH, ABTS 라디칼 소거 활성은 AR, BR 모두 자색고구마 분말을 8% 첨가한 누룽지에서 가장 높게 나타났으며, BR 시료보다 AR 시료에서 높은 항산화 활성을 보였다. 따라서 자색고구마 누룽지 제조 시 항산화 물질의 함량, 항산화 활성을 고려하면 AR의 방법으로 8%를 첨가한 누룽지를 제조하는 것이 바람직할 것으로 판단되었다. 본 연구 결과 자색고구마와 쌀의 소비활성화가 기대되며 기능성을 고려한 기호식품으로 활용될 수 있는 전통 가공식품의 개발 가능성을 확인하였다.

Acknowledgements

이 연구는 서울과학기술대학교 교내연구비의 지원으로 수행되었습니다.

References

- AOAC. 2005. Official methods of analysis. 18th ed. Association of Official Analytical Chemists. Washington DC, USA, pp 33-36.
- Choi. 2009. Antioxidant activity and quality characteristics of pine needle cookies. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 38: 1414-1421.
- Hwang ES, Ki KN. 2013. Stability of the anthocyanin pigment extracted from aronia (*Aronia melanocarpa*). *Koean J. Food Sci. Technol.* 45: 416-421.
- Hwang ES, Lee HK. 2021. Quality characteristic, antioxidant activity and acrylamide content of sweet potato chips according to the baking temperature. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 50: 1350-1357.
- Kang MK, Kim JS, Kim GC, Choi SY, Kim KM. 2015. Evaluation of physicochemical properties and enhancement of antioxidant activities of *Dioscorea batatas* by stepwise steaming process. *J. East Asian Soc. Dietary Life.* 25: 1049-1057.
- Kim JH, Lee KJ. 2013. Antioxidative activities and gelatinization characteristics of sponge cake added with purple sweet potato. *J. East Asian Soc. Dietary Life.* 23: 750-759.
- Kim MK, Cho SC. 2020. Analysis of physicochemical properties of nurungji added with various materials. *J. Convergence for Inform. Technol.* 10: 102-108.
- Kim SY, Ryu CH. 1995. Studies on the nutritional components of purple sweet potato (*Ipomoea batatas*). *Korean J. Food Sci. Technol.* 27: 819-825.
- Ko SH, Seo EO. 2010. Quality characteristics of muffins containing purple colored sweetpotato powder. *J. East Asian Soc. Dietary Life.* 20: 272-278.
- Lee HS, Kwon KH, Kim BS, Kim JH. 2009. Quality characteristics of instant nuroong-ji to which *Dioscorea japonica* powder was added. *J. Korean Food Preserv.* 16: 680-685.
- Lee SM. 2013. A Study on the Quality Characteristics of Gruel Supplemented with Purple Sweet Potato. *J. East Asian Soc. Dietary Life.* 23: 234-240.
- Lee J, Durst RW, Wrolstad RE. 2005. Determination of total monomeric anthocyanin pigment content of fruit juices, beverages, natural colorants, and wines by the pH differential method: collaborative study. *J. AOAC Int.* 88: 1269-1278.
- Lee JA. 2018. Quality characteristics of pressurized nurungji using green whole grain. *Culi. Sci. & Hos. Res.* 24: 29-37.
- Lee JA. 2020. Quality characteristics of jeungpyun added with maqui berry powder. *Culi. Sci. & Hos. Res.* 26: 247-256.
- Lee JA, Yoon JY. 2016. The quality and antioxidant properties of cookies containing aronia powder. *Culi. Sci. & Hos. Res.* 22: 179-189.
- Lee JS, Yoo SS. 2012. Quality characteristics of wet noodles added with purple sweet potato powder. *J. East Asian Soc. Dietary Life.* 22: 489-496.
- Liu YN, Jeong DH, Jung JH, Kim HS. 2013. Quality characteristics and antioxidant activities of cookies added with purple sweet potato powder. *Korean J. Food Cookery Sci.* 29: 275-281.
- Park EJ, Park GS. 2012. Quality characteristics of jelly prepared with purple sweet potato powder. *Korean J. Food Culture.* 27: 730-736.
- Park JS, Bae JO, Chung BW, Jung MY, Choi DS. 2011. Degradation kinetics of anthocyanin pigment solutions from purple-fleshed sweet potato cultivars. *Korean J. Food & Nutr.* 24: 559-566.
- Park JS, Kang ST. 2021. Quality characteristics of nurungji added with barley sprout powder. *Food Eng. Prog.* 25: 1-7.
- Park YH, Oh YJ. 1997. The physicochemical characteristics of instant nuroong-gi. *Korean J. Soc. Food Sci. Nutr.* 26: 632-638.
- Ra HA, Kim JS, Kim GC, Choi SY, Han SK, Chung MN, Kim KM. 2018. Nutrient components and physicochemical properties of korean sweet potato according to cultivars. *J. Korean Soc. Food Cult.* 33: 597-607.
- Statics Korea. (2021). Survey on grain consumption statics. KOSIS, from: https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=DT_1ED0001&vw_cd=&list_id=&scrId=&seqNo=&lang_mode=ko&obj_var_id=&itm_id=&conn_path=E1&docId=0000750241&markType=S&itmNm=%EC%A0%84%EA%B5%AD.
- Sung EH, Shin SM, Kang YH. 2017. Physicochemical quality characteristics and antioxidant activity of wasabi (*Wasabia japonica*) leaf and oetiole extracts. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 46: 335-342.
- Yoo JS, Baek MK, Baek SH, Park HS, Cho YC, Kim BK, Ha KY. 2012. Comparison of characteristics of nuroong-gi made from japonica rice cultivars. *Food Eng. Prog.* 16: 381-385.

Author Information

용지은: 서울과학기술대학교 대학원생(석사과정)

강성태: 서울과학기술대학교 교수