

품종별 발아현미의 기능성분 및 라디칼 소거 활성

이경하 · 함현미 · 김현주 · 박혜영 · 심은영 · 오세관 · 김육한 · 정현상* · †우관식

농촌진흥청 국립식량과학원 중부작물부, *충북대학교 식품공학과

Functional Components and Radical Scavenging Activity of Germinated Brown Rice according to Variety

Kyung ha Lee, Hyeonmi Ham, Hyun-Joo Kim, Hye Young Park, Eun-Yeong Sim, Sea Kwan Oh, Wook Han Kim, Heon Sang Jeong* and †Koan Sik Woo

Dept. of Central Area Crop Science, National Institute of Crop Science, Rural Development Administration, Suwon 16429, Korea

*Dept. of Food Science and Technology, Chungbuk National University, Cheongju 28644, Korea

Abstract

This study investigated the changes in chemical components, antioxidant compounds, and activity before (BG) and after germinated (AG) brown rice in order to promote the availability of these beneficial factors. The GABA content of BG and AG brown rice were 0.07~6.61 and 11.13~49.72 mg/100 g, respectively. The α -amylase activity of AG brown rice was 1.77~70.25 unit/g fold higher than it was in BG brown rice. Total polyphenol and flavonoid contents, which are known to be related to antioxidation, were higher in BG brown rice than in AG brown rice. The total polyphenol contents of BG and AG brown rice were 10.52~36.38 and 11.38~26.33 mg/100 g, and the total flavonoid contents were 3.55~13.39 and 3.52~9.78 mg/100 g, respectively. Also, DPPH radical scavenging activity was 57.64~251.34 and 50.49~213.35 mg TE/100 g, respectively. ABTS radical scavenging activity and total tannin content showed a similar trend to DPPH radical scavenging activity. We expect that this data will be useful in the manufacturing of food products.

Key words: germinated brown rice, dietary fiber, GABA (γ -aminobutyric acid), polyphenol, radical scavenging activity

서 론

우리가 주식으로 이용하는 쌀에는 전분을 제외한 성분들이 쌀의 호분층(외피부분)과 배아에 분포되어 있는데, 특히 도정하지 않은 현미(whole grain, brown rice)에서 항산화력을 나타내는 tocopherol, γ -oryzanol, 체내 콜레스테롤 대사 조절을 도와주는 phytosterol와 squalene 등의 기능성 영양성분들이 많이 함유되어 있다(Kim 등 2004). 뿐만 아니라 식물성 섬유질을 비롯한 각종 효소, 비타민, 미네랄 등의 영양소가 다량 함유되어 있다. 그러나 현미가 가지고 있는 뛰어난 효능에도 불구하고, 현미는 단단한 껍질과 피틴산 등으로 인하여 식감이 거칠고 소화가 잘 되지 않는 단점을 가지고 있어, 이러

한 현미의 식미 향상 및 질감의 개선을 위한 노력이 계속되고 있다(Kim 등 2012).

발아현미는 적당한 온도와 수분, 산소 등을 공급해 현미를 발아시킨 것으로 조식을 연화시켜 질감을 개선시킬 뿐 아니라, 발아과정 중 식이섬유, 비타민 B₁, B₂, E, 칼슘, 인 등의 무기질과 γ -amino butyric acid(GABA), β -sitosterol 등 각종 미량 기능성 성분들이 증가하는 것으로 보고하였다(Lee 등 2007). 이와 같이 현미와 이를 개선하기 위한 발아현미에 대한 연구는 항산화 활성 및 항산화 성분(Seo 등 2008), tocopherol, tocotrienol류, squalene, phytosterol류, GABA 등 기능성 물질의 함량(Jung 등 2008), 발아조건(Kim 등 2001a), 건조방법 및 가공 원료로서의 이용(Kum 등 2004) 등 다양한 분야에서 보고되

† Corresponding author: Koan Sik Woo, Dept. of Central Area Crop Science, National Institute of Crop Science, Rural Development Administration, Suwon 16429, Korea. Tel: +82-31-695-4084, Fax: +82-31-695-4085, E-mail: wooks@korea.kr

어지고 있다. 이렇게 발아 전후의 현미의 생리활성 성분에 대한 기능성 및 가공특성은 품종, 재배환경, 재배기술, 수확시기뿐만 아니라, 수확 후 관리기술 등에 의해서 품질이 좌우된다(Kim 등, 2011). 따라서 매년 수확되는 여러 가지 쌀 품종의 품질 특성과 기능성 평가는 쌀 소비 촉진과 쌀 가공식품 개발에 효율적인 이용증진을 위해 구축되어야 한다고 생각된다. 따라서 본 연구에서는 품종별 현미와 발아현미에 대한 일반 성분과 항산화 성분 및 항산화 활성을 검정하여 이를 이용한 가공품 제조에 기초자료로 활용하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 시험재료 및 일반성분, α -amylase 활성 검정

본 연구에 사용된 현미 및 발아현미는 삼광(*O. sativa* L. cv. Samkwang, SK), 큰눈(cv. Keunnun, KN), 홍진주(cv. Hongjinju, HJ), 흑광(cv. Heugkwang, HK), 수원595호(cv. Suwon 595, S595), 미소미(cv. Misomi, MS), 고아미 4호(cv. Goami 4, G4), 단미(cv. Danmi, DM), 친들(cv. Chindeul, CD), 현품(cv. Hyunpum, HP) 등 10품종이며, 경기 수원 소재의 국립식량과학원 중부작물부 시험용 포장에서 2014년 재배 생산된 산물을 시험용 재료로 사용하였다. 수분함량은 적외선수분함량측정기(AND MX-50 moisture analyzer, Tokyo, Japan)로 측정하였으며, 조단백질 함량은 Kjeldahl 방법(2300 Kjeltac Analyzer Unit, FOSS Tecator, Laurel, MD, USA), 조회분 함량은 600°C 직접회화법으로 분석하였다(Woo 등 2011). α -Amylase 활성 측정법은 Lee 등(2012)의 방법으로 측정하였다. 시료 2.0 g을 증류수를 가하여 20 mL로 정용한 후 Homogenizer(400 rpm, Polyron® PT 2100 Homogenizers, Kinematica AG, Luzern, Switzerland)로 균질화 시킨 후 원심분리(8,000×g, 10분)하여 상등액을 효소액으로 사용하였다. 효소액 0.5 mL에 1% NaCl 1 mL, 0.2 M sodium acetate buffer 2 mL와 5% soluble starch 5 mL를 첨가한 후 65°C에서 30분간 반응시켰다. 반응액 1 mL를 취하여 dinitrosalicylic acid 3 mL를 넣고 100°C에서 5분간 반응시켜 550 nm에서 흡광도를 측정하였다. 효소 활성 단위는 1분간 maltose 1 μ mol을 생성하는 효소량을 1 unit으로 하였다.

2. GABA 및 식이섬유 함량 분석

시료의 GABA(γ -aminobutyric acid) 함량은 시료 0.5 g을 3% TCA(trichloroacetic acid)용액 10 mL를 첨가하고, 1시간동안 교반 추출하였다. 추출물을 1,500 rpm으로 15분간 원심분리 후 상등액을 취하여 0.45 μ m Syringe filters로 여과 후 아미노산 자동 분석기(L-8800 Amino acid auto analyzer, Hitachi, Tokyo, Japan)로 분석하였다. 시료의 식이섬유 함량은 Fibertec™ 1023 (FOSS Tecator)을 이용하여 분석하였다. 한 쌍의 시료를 각각

1 g 씩 정량하여 cleaned flask에 넣고 MES-TRIS(Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA) buffer solution 40 mL를 첨가하여 용액이 잘 섞이도록 적당한 속도로 교반하고, megazyme total dietary fiber kit(Megazyme, Wicklow, Ireland)의 α -amylase solution 50 μ L를 첨가하여 100°C의 water bath에서 약 30분간 반응시켰다. 반응액을 식힌 후 100 μ L protease solution을 첨가하고, 60°C shaking water bath에서 30분간 반응시켜 식힌 후 0.561 N HCl 5 mL로 pH 4.5로 조절한 후 200 μ L amyloglucosidase solution을 첨가하고, 60°C shaking water bath에서 30분간 반응시켰다. 불용성 식이섬유(Insoluble dietary fiber)는 0.5 g celite(FOSS Tecator)를 포함한 crucible에 여과한 후 70°C 정도로 데워둔 증류수 10 mL를 2회 수세하고 95% ethanol과 acetone 10 mL씩 2회 수세하였다. Crucible을 105°C에서 하룻밤 건조하고 정량하였으며, 하나의 시료는 단백질 함량 분석에, 다른 하나는 550°C에서 회화하여 회분 함량을 정량하였다. 수용성 식이섬유(soluble dietary fiber)는 불용성 식이섬유 분석과정에서 나온 효소 반응액에 미리 60°C로 예열된 95% ethanol 225 mL를 첨가하여 60분간 상온에서 침전시키고, 0.5 g celite(FOSS Tecator)를 포함한 crucible로 여과하여 78% ethanol과 95% ethanol 각각 15 mL로 수세한 후 acetone 10 mL로 2회 수세하였다. Crucible을 105°C에서 하룻밤 건조하고 정량하였으며, 하나의 시료는 단백질 함량 분석에, 다른 하나는 550°C에서 회화하여 회분 함량을 정량하였다. 총 식이섬유(total dietary fiber)는 불용성 식이섬유와 수용성 식이섬유의 합으로 산출하였다.

3. 추출물 제조 및 항산화 성분 함량 분석

시료의 페놀성분 및 라디칼 소거 활성을 분석하기 위하여 분쇄된 시료 일정량을 취하여 80% 에탄올로 상온에서 24시간동안 3회 진탕추출(WiseCube WIS-RL010, Daihan Scientific Co., Ltd., Seoul, Korea)한 다음 여과하여 -20°C 냉동고에 보관하면서 분석용 시료로 사용하였다. 추출물에 대한 총 폴리페놀 함량은 Folin-Ciocalteu phenol reagent가 추출물의 폴리페놀성 화합물에 의해 환원된 결과, 몰리브덴 청색으로 발색하는 것을 원리로 분석하였다(Dewanto 등 2002). 추출물 50 μ L에 2% Na₂CO₃ 용액 1 mL를 가한 후 3분간 방치하여 50% Folin-Ciocalteu reagent(Sigma-Aldrich) 50 μ L를 가하였다. 30분 후, 반응액의 흡광도 값을 750 nm에서 측정하였고, 표준물질인 gallic acid(Sigma-Aldrich)를 사용하여 검량선을 작성하였고, 시료 100 g당 mg gallic acid equivalent(GAE, dry basis)로 나타내었다. 총 플라보노이드 함량은 추출물 250 μ L에 증류수 1 mL와 5% NaNO₂ 75 μ L를 가한 다음, 5분 후 10% AlCl₃ · 6H₂O 150 μ L를 가하여 6분 방치하고 1 N NaOH 500 μ L를 첨가하고, 11분 후 반응액의 흡광도 값을 510 nm에서 측정하

였다(Dewanto 등 2002). 표준물질인 (+)-catechin(Sigma-Aldrich)를 사용하여 검량선을 작성하였고, 시료 100 g당 mg catechin equivalent(CE, dry basis)로 나타내었다. 총 탄닌 함량은 Duval & Shetty(2001)의 방법에 따라 측정하였다. 즉, 시료 용액 1 mL에 95% ethanol 1 mL와 증류수 1 mL를 가하여 잘 흔들어 주고, 5% Na₂CO₃ 용액 1 mL와 1 N Folin-Ciocalteu reagent(Sigma-Aldrich) 0.5 mL를 가한 후 실온에서 60분간 발색시킨 다음 725 nm에서 흡광도를 측정하였으며, tannic acid(Sigma-Aldrich)를 표준물질로 검량선을 작성하여 시료 100 g당 mg tannic acid equivalent(TAE, dry basis)로 나타내었다.

4. 메탄올 추출물의 DPPH 및 ABTS radical 소거 활성 측정

메탄올 추출물에 대한 항산화 활성은 DPPH(1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl, Sigma-Aldrich) 및 ABTS(2,2'-azino-bis-3-ethylbenzo-thiazoline-6-sulfonic acid, Sigma-Aldrich) radical 소거 활성을 측정하였다(Choi 등 2006). DPPH radical 소거 활성은 0.2 mM DPPH 용액(99.9% ethanol에 용해) 0.8 mL에 시료 0.2 mL를 첨가한 후 520 nm에서 정확히 30분 후에 흡광도 감소를 측정하였다. ABTS radical 소거 활성은 ABTS 7.4 mM과 potassium persulphate 2.6 mM을 하루 동안 암소에 방치하여 ABTS 양이온을 형성시킨 후 이 용액을 735 nm에서 흡광도 값이 1.4~1.5가 되도록 물 흡광계수($\epsilon=3.6 \times 10^4 \text{ M}^{-1} \text{cm}^{-1}$)를 이용하여 메탄올로 희석하였다. 희석된 ABTS 용액 1 mL에 추출액 50 μL 를 가하여 흡광도의 변화를 정확히 30분 후에 측정하였다. DPPH 및 ABTS radical 소거 활성은 시료 100 g당 mg TE(Trolox equivalent antioxidant capacity)로 표현하였다.

5. 통계분석

모든 데이터는 3회 반복 측정하였으며, mean \pm SD로 표현하였다. 또한 얻어진 결과를 통계프로그램(Statistical Analysis System; version 9.2, SAS Institute, Cary, NC, USA)을 이용하여 성분 및 활성에 대한 Duncan의 다중검정으로 유의성을 검증하였다.

결과 및 고찰

1. 품종에 따른 현미 및 발아현미의 일반성분과 α -amylase 활성

일반현미 및 발아현미의 수분, 회분, 단백질 등 일반성분의 함량을 분석한 결과는 Table 1과 같이 나타났다. 수분함량의 경우, 일반현미에서 높은 함량을 보이는 것으로 나타났으며, 전체적으로 일반현미는 9.04~11.65 g/100 g, 발아현미는 5.29~8.16 g/100 g의 범위로 나타났다. 회분함량은 일반현미는 1.18~1.73 g/100 g, 발아현미는 1.20~1.52 g/100 g의 범위로 나타나, 발아 유무에 따라 회분함량은 큰 변화가 없는 것으로 나타났다. 단백질 함량은 삼광(SK)이 일반현미 및 발아현미에서 각각 6.13 및 6.26 g/100 g으로 가장 낮았고, 단미(DM)가 각각 10.99 및 11.07 g/100 g으로 높은 함량을 보였다. 일반현미 및 발아현미의 α -amylase 활성을 측정된 결과, Fig. 1과 같이 발아현미에서 높은 활성을 보이는 것으로 나타났다. 일반현미의 경우, 0.85~13.02 unit/g으로 낮은 활성을 보였지만, 발아현미의 경우, 9.11~59.77 unit/g의 범위로 나타나 높은 활성을 보였다. 전분을 분해하는 효소인 α -amylase 활성은 환원

Table 1. Changes in the proximate compositions¹⁾ of brown rice before (BG) and after (AG) germination

Sample ²⁾	Moisture		Crude ash		Crude protein	
	BG	AG	BG	AG	BG	AG
SK	11.65 \pm 0.12 ^{3)ad)}	6.83 \pm 0.18 ^b	1.23 \pm 0.05 ^{ef}	1.24 \pm 0.05 ^{bcd}	6.13 \pm 0.29 ^e	6.26 \pm 0.08 ^f
KN	11.13 \pm 0.41 ^b	8.16 \pm 0.37 ^a	1.42 \pm 0.02 ^{bc}	1.38 \pm 0.15 ^{abc}	7.55 \pm 0.14 ^{cd}	7.66 \pm 0.23 ^{cde}
HJ	10.59 \pm 0.26 ^c	6.67 \pm 0.02 ^{bc}	1.42 \pm 0.02 ^{bc}	1.52 \pm 0.12 ^a	6.96 \pm 0.03 ^d	7.49 \pm 0.22 ^{de}
HK	10.31 \pm 0.04 ^{cd}	6.15 \pm 0.16 ^{def}	1.36 \pm 0.07 ^{cd}	1.46 \pm 0.11 ^a	8.12 \pm 0.41 ^{bc}	8.23 \pm 0.01 ^{bcd}
S595	10.60 \pm 0.21 ^c	6.01 \pm 0.02 ^{ef}	1.31 \pm 0.04 ^{de}	1.21 \pm 0.07 ^d	8.01 \pm 0.44 ^{bc}	8.72 \pm 0.49 ^b
MS	10.10 \pm 0.13 ^d	5.76 \pm 0.22 ^f	1.44 \pm 0.04 ^{bc}	1.28 \pm 0.01 ^{bcd}	7.60 \pm 0.43 ^{cd}	7.35 \pm 0.41 ^e
G4	11.63 \pm 0.47 ^a	6.53 \pm 0.34 ^{bcd}	1.48 \pm 0.01 ^b	1.49 \pm 0.02 ^a	8.49 \pm 0.09 ^b	8.34 \pm 0.05 ^{bc}
DM	9.04 \pm 0.06 ^e	5.29 \pm 0.34 ^g	1.73 \pm 0.09 ^a	1.39 \pm 0.09 ^{ab}	10.99 \pm 0.12 ^a	11.07 \pm 0.39 ^a
CD	10.48 \pm 0.17 ^{cd}	6.37 \pm 0.17 ^{cde}	1.18 \pm 0.04 ^f	1.20 \pm 0.04 ^d	7.46 \pm 0.43 ^{cd}	7.30 \pm 0.48 ^e
HP	10.68 \pm 0.09 ^c	6.33 \pm 0.02 ^{cde}	1.21 \pm 0.01 ^f	1.23 \pm 0.04 ^{cd}	7.91 \pm 0.18 ^{bc}	7.67 \pm 0.28 ^{cde}

¹⁾ Unit: g/100 g

²⁾ SK: *O. sativa* L. cv. Samkwang, KN: cv. Keunnun, HJ: cv. Hongjinju, HK: cv. Heugkwang, S595: cv. Suwon 595, MS: cv. Misomi, G4: cv. Goami 4, DM: cv. Danmi, CD: cv. Chindeul, and HP: cv. Hyunpum

³⁾ Each value is mean \pm SE (n=3).

⁴⁾ Any means in the same column followed by the same letter are not significantly ($p < 0.05$) different by Duncan's multiple range test.

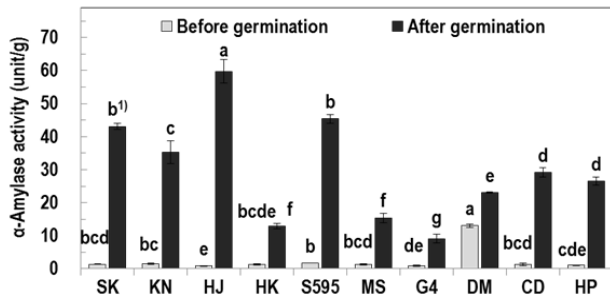


Fig. 1. Changes in the α -amylase activity of brown rice before (BG) and after (AG) germination. ¹⁾ Any means in the same column followed by the same letter are not significantly ($p < 0.05$) different by Duncan's multiple range test.

당으로 유리하는데 관여하여 단맛에 영향을 주는 요인이므로(Song 등 2015) 밥 제조 시 발아현미가 단맛을 더 낼 수 있을 것으로 기대된다.

2. 품종에 따른 현미 및 발아현미의 GABA 및 식이섬유 함량

일반현미 및 발아현미의 GABA 및 식이섬유 함량을 분석한 결과는 Fig. 2 및 Table 2와 같이 나타났다. 일반현미 및 발아현미의 GABA 함량은 Fig. 2와 같이 단미(DM)를 제외하고 대체적으로 발아현미에서 높은 함량을 보였다. 단미(DM)의 경우 일반현미 및 발아현미에서 각각 28.24 및 26.54 mg/100 g으로 나타났다. 다른 품종들은 일반현미에서 0.07~6.61

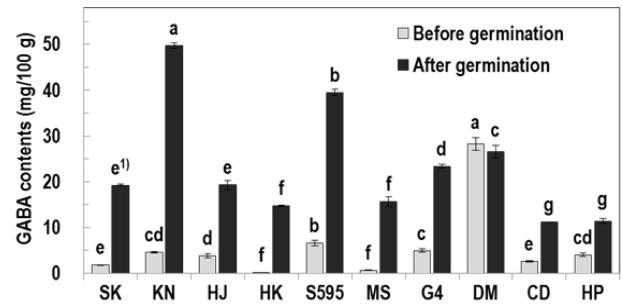


Fig. 2. Changes in the GABA (γ -aminobutyric acid) contents of brown rice before (BG) and after (AG) germination. ¹⁾ Any means in the same column followed by the same letter are not significantly ($p < 0.05$) different by Duncan's multiple range test.

mg/100 g의 함량을 보였고, 발아현미는 11.13~49.72 mg/100 g의 함량으로 증가하는 결과를 얻었다. 특히 큰눈(KN)과 수원595호(S595)의 발아현미는 각각 49.72 및 39.47 mg/100 g으로 일반현미(각각 4.58 및 6.61 mg/100 g)에 비해 크게 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 불용성 식이섬유 함량(Table 2)은 일반현미의 경우 단미(DM)가 16.30%로 높은 함량을 나타내었으며, 고아미4호(G4) 또한 10.19%로 비교적 높은 함량을 나타내었다. 발아현미는 삼광(SK), 큰눈(KN), 흥진주(HJ), 미소미(MS)는 약간 증가하는 경향을 보였고, 흑광(HK), 수원595호(S595), 고아미4호(G4), 단미(DM), 친들(CD)은 약간 감소하였고, 현품은 변화가 없는 것으로 조사되었다. 수용성 식이섬유

Table 2. Changes in the insoluble, soluble and total dietary fiber contents¹⁾ of brown rice before (BG) and after (AG) germination

Sample ²⁾	Insoluble dietary fiber		Soluble dietary fiber		Total dietary fiber	
	BG	AG	BG	AG	BG	AG
SK	4.09±0.08 ³⁾ (^{2d)})	4.85±0.06 ^f	0.41±0.01 ^c	0.47±0.03 ^c	4.50±0.07 ^c	5.33±0.08 ^f
KN	6.17±0.07 ^c	7.38±0.17 ^c	0.26±0.02 ^d	0.41±0.02 ^{ef}	6.43±0.06 ^c	7.80±0.19 ^c
HJ	6.20±0.11 ^c	7.22±0.06 ^c	0.23±0.03 ^d	0.36±0.04 ^f	6.43±0.13 ^c	7.58±0.03 ^c
HK	6.25±0.05 ^c	5.61±0.09 ^e	0.45±0.08 ^{bc}	0.72±0.03 ^{ab}	6.70±0.05 ^c	6.33±0.06 ^e
S595	6.26±0.10 ^c	6.18±0.23 ^d	0.19±0.07 ^d	0.53±0.04 ^d	6.45±0.10 ^c	6.71±0.19 ^d
MS	4.56±0.16 ^{de}	4.96±0.09 ^f	0.23±0.03 ^d	0.66±0.05 ^{bc}	4.79±0.18 ^e	5.62±0.12 ^f
G4	10.19±0.40 ^b	9.16±0.18 ^b	0.52±0.01 ^b	0.61±0.01 ^c	10.71±0.39 ^b	9.77±0.17 ^b
DM	16.30±0.17 ^a	13.62±0.49 ^a	0.64±0.08 ^a	0.74±0.05 ^a	16.94±0.19 ^a	14.36±0.44 ^a
CD	4.74±0.26 ^d	4.24±0.06 ^g	0.53±0.04 ^b	0.62±0.03 ^c	5.27±0.29 ^d	4.86±0.03 ^g
HP	4.29±0.09 ^{ef}	4.29±0.06 ^g	0.20±0.04 ^d	0.60±0.04 ^{cd}	4.49±0.06 ^e	4.89±0.05 ^g

¹⁾ Unit: g/100 g

²⁾ See the Table 1

³⁾ Each value is mean±SE (n=3)

⁴⁾ Any means in the same column followed by the same letter are not significantly ($p < 0.05$) different by Duncan's multiple range test.

의 경우 일반현미는 0.19~0.64%, 발아현미는 0.36~0.74%로 약간 증가하는 경향을 보였다. 발아현미에서 총 식이섬유 함량은 삼광(SK), 큰눈(KN), 홍진주(HJ), 수원595호(S595), 미소미(MS), 현품(HP)은 약간 증가하는 경향을 보였고, 흑광(HK), 고아미4호(G4), 단미(DM), 친들(CD)은 약간 감소하는 경향을 나타내었다.

3. 품종에 따른 현미 및 발아현미의 페놀 화합물 함량

일반현미 및 발아현미의 항산화 성분 함량을 분석한 결과, 총 폴리페놀 함량은 Fig. 3과 같이 일반현미의 경우 10.52~36.375 mg/100 g, 발아현미는 11.38~26.33 mg/100 g으로 나타났다. 삼광(SK), 큰눈(KN), 고아미4호(G4), 단미(DM), 현품(HP) 품종은 약간 증가하는 경향을 보였고, 홍진주(HJ), 흑광(HK), 수원595호(S595), 친들(CD) 품종은 감소하는 경향을 보였으며, 미소미(MS)는 거의 변화가 없는 것으로 나타났다. 특히 유색 품종이 홍진주(HJ)와 흑광(HK)은 크게 감소하는 것을 알 수 있었다. 플라보노이드 함량은 Fig. 4와 같이 일반현미의 경우 3.55~13.39 mg/100 g, 발아현미는 3.52~9.78 mg/100 g의 범위의 함량을 나타내었으며, 탄닌 함량은 Fig. 5와 같이 일반현미의 경우 3.68~11.88 mg/100 g, 발아현미는 3.55~9.55 mg/100 g의 범위의 함량을 나타내어 품종별로 총 폴리페놀 함량과 유사한 경향을 나타내었다. 이와 같이 곡류를 발아할 때 폴리페놀 화합물의 함량 변화는 품종에 따라 다소 차이가 있음을 알 수 있었다. 페놀성 화합물은 식물계에 널리 분포되어 있는 물질로 다양한 구조와 분자량을 가지며, 페놀성 화합물의 phenolic hydroxyl기가 단백질과 같은 거대분자와의 결합을 통해 항산화, 항암 및 항균 등의 생리기능을 가지는 것으로 알려져 있으며(Rice-Evans 등 1997), 곡류에 함유되어 있는 polyphenolic 화합물들은 우수한 항산화력을 가지는 것으로 알려져 있다(Middleton & Kandaswami 1994). 이상의 항산

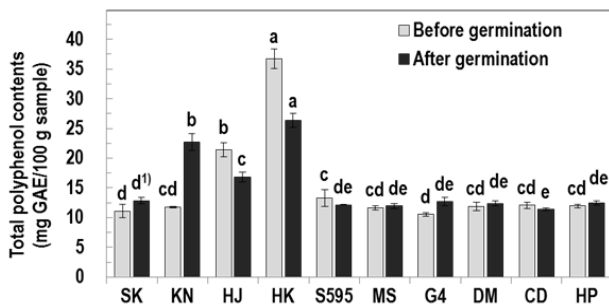


Fig. 3. Changes in the total polyphenol contents of brown rice before (BG) and after (AG) germination. ¹⁾ Any means in the same column followed by the same letter are not significantly ($p < 0.05$) different by Duncan's multiple range test.

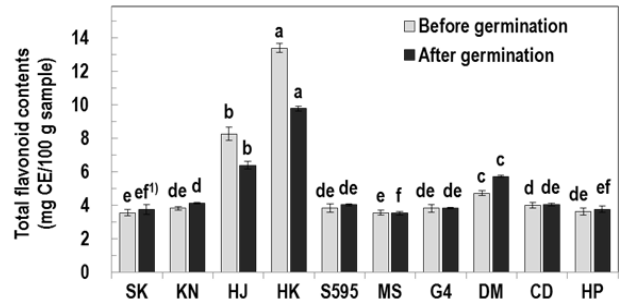


Fig. 4. Changes in the total flavonoid contents of brown rice before (BG) and after (AG) germination. ¹⁾ Any means in the same column followed by the same letter are not significantly ($p < 0.05$) different by Duncan's multiple range test.

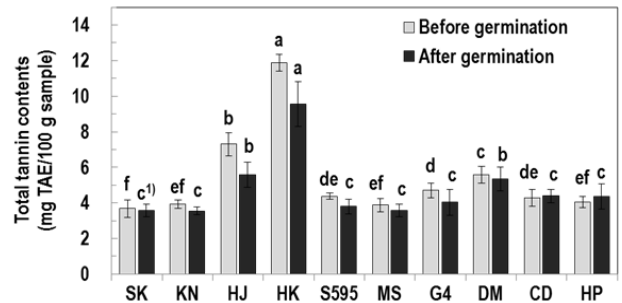


Fig. 5. Changes in the total tannin contents of brown rice before (BG) and after (AG) germination. ¹⁾ Any means in the same column followed by the same letter are not significantly ($p < 0.05$) different by Duncan's multiple range test.

화성분 분석 결과에서 발아 후 함량이 감소하는 것은 발아과정에서 살수에 의해 수용성 항산화 성분이 씻겨 내려가 감소하는 것으로 생각되며, 추후 정확한 감소 원인 구명과 감소 최소화 제조조건의 구명이 필요할 것으로 생각된다.

4. 품종에 따른 현미 및 발아현미의 radical 소거 활성

일반현미 및 발아현미의 항산화 활성을 항산화 물질에 의해 환원되어 짙은 자색이 탈색됨으로써 항산화 물질의 전자공여능을 측정할 때 사용되고 있는 DPPH radical 소거 활성법(Nieva 등 2000)과 혈장에서 ABTS radical의 흡광도가 항산화제에 의해 억제되는 것에 기초하여 개발된 ABTS radical 소거 활성법(Kim 등 2009)을 표준물질인 Trolox와 비교하여 mg TE(Trolox equivalent antioxidant capacity)/100 g sample로 나타내었다. 전자공여능은 지질과산화의 연쇄반응에 관여하는 산화성 활성 free radical에 전자를 공여하여 산화를 억제시키는 척도가 되며, free radical은 인체 내에서 각종 질병과 세포의 노화를 일으키므로 식물 추출물 등에서 항산화제로 작용할

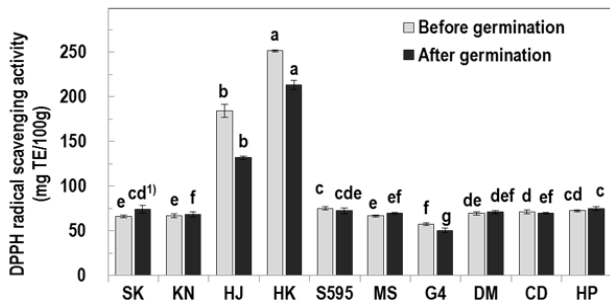


Fig. 6. Changes in the DPPH radical scavenging activity of brown rice before (BG) and after (AG) germination. ¹⁾ Any means in the same column followed by the same letter are not significantly ($p < 0.05$) different by Duncan's multiple range test.

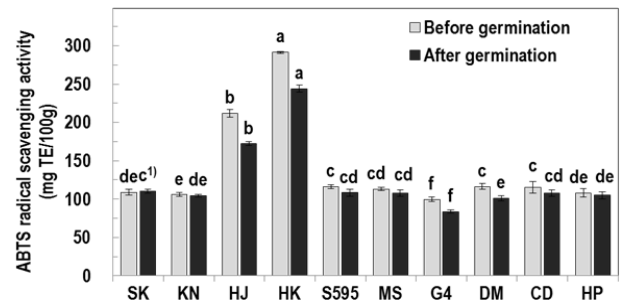


Fig. 7. Changes in the ABTS radical scavenging activity of brown rice before (BG) and after (AG) germination. ¹⁾ Any means in the same column followed by the same letter are not significantly ($p < 0.05$) different by Duncan's multiple range test.

수 있는 물질을 확인할 필요성이 있다(Kim 등 2009). 일반현미의 DPPH radical 소거 활성은 Fig. 6과 같이 57.64~251.34 mg TE/100 g, 발아현미는 50.49~213.35 mg TE/100 g의 범위로 나타났다. 삼광(SK), 큰눈(KN), 미소미(MS), 단미(DM), 현품(HP) 품종은 약간 증가하는 경향을 보였고, 흥진주(HJ), 흑광(HK), 수원595호(S595), 고아미4호(G4), 친들(CD) 품종은 약간 감소하는 경향을 보였다. ABTS radical 소거 활성법은 ABTS와 potassium persulfate를 암소에 방지하여 $ABTS^+ \cdot$ 이 생성되면 추출물의 항산화 성분에 의해 $ABTS^+ \cdot$ 이 소거되어 radical 특유의 색인 청록색이 탈색되는데, 이를 흡광도 값으로 나타내어 소거 활성을 측정할 수 있다(Kim 등 2009). 일반현미의 ABTS radical 소거 활성은 Fig. 7과 같이 99.73~291.45 mg TE/100 g, 발아현미는 83.72~244.07 mg TE/100 g의 범위로 나타났다. 삼광(SK) 품종만 약간 증가하는 경향을 보였고, 나머지 품종은 약간 감소하는 경향을 보였다. 천연물의 항산화 활성은 활성 radical에 전자를 공여하고, 식품 중의 지방질 산화를

억제하는 특성을 가지고 있고, 인체 내에서는 활성 radical에 의한 노화를 억제시키는 역할을 하고 있으며, radical 소거작용은 인체의 질병과 노화를 방지하는데 대단히 중요한 역할을 한다(Kim 등 2001b).

5. 현미 추출물의 기능성분과 radical 소거 활성 간의 상관관계

현미 추출물물의 기능성분과 radical 소거 활성 간의 상관관계를 분석한 결과, Table 3과 같은 결과를 나타내었다. 불용성 식이섬유 함량은 총 식이섬유 함량과 GABA 함량 간에 r 값이 각각 0.9995($p < 0.001$) 및 0.6621($p < 0.05$)로 높은 상관성을 보였으며, 총 식이섬유 함량은 GABA 함량과 0.6466($p < 0.05$)의 상관성을 나타내었다. 총 폴리페놀 함량은 총 플라보노이드 함량, 탄닌 함량, DPPH 및 ABTS radical 소거 활성 간에 r 값이 각각 0.9462($p < 0.001$), 0.9189($p < 0.001$), 0.9459($p < 0.001$) 및 0.9457($p < 0.001$)로 높은 상관성을 보였으며, 총 플라보노

Table 3. Correlation coefficients among the insoluble, soluble, total dietary fiber, GABA, total polyphenol, flavonoid, tannin, DPPH and ABTS radical scavenging activity of brown rice

Factor	Soluble dietary fiber	Total dietary fiber	GABA	Polyphenol	Flavonoid	Tannin	DPPH	ABTS
Insoluble dietary fiber	0.5564 ^{NS}	0.9995 ^{**}	0.6621 [*]	-0.0990 ^{NS}	0.0634 ^{NS}	0.1044 ^{NS}	-0.1256 ^{NS}	-0.1281 ^{NS}
Soluble dietary fiber	1.0000	0.5825 ^{NS}	-0.0188 ^{NS}	0.0139 ^{NS}	0.1917 ^{NS}	0.2947 ^{NS}	0.0127 ^{NS}	0.0299 ^{NS}
Total dietary fiber	-	1.0000	0.6466 [*]	-0.0952 ^{NS}	0.0706 ^{NS}	0.1147 ^{NS}	-0.1211 ^{NS}	-0.1230 ^{NS}
GABA	-	-	1.0000	-0.1703 ^{NS}	-0.2169 ^{NS}	-0.2364 ^{NS}	-0.3310 ^{NS}	-0.3350 ^{NS}
Polyphenol	-	-	-	1.0000	0.9462 ^{**}	0.9189 ^{**}	0.9459 ^{**}	0.9457 ^{**}
Flavonoid	-	-	-	-	1.0000	0.9902 ^{**}	0.9761 ^{**}	0.9767 ^{**}
Tannin	-	-	-	-	-	1.0000	0.9497 ^{**}	0.9500 ^{**}
DPPH	-	-	-	-	-	-	1.0000	0.9989 ^{**}

NS, *, **: Nonsignificant or significant at $p < 0.05$, or $p < 0.001$, respectively.

이드 함량은 총 탄닌 함량, DPPH 및 ABTS radical 소거 활성 간에 r 값이 각각 0.9902($p<0.001$), 0.9761($p<0.001$) 및 0.9767($p<0.001$)로 높은 상관관계를 나타내었다. 총 탄닌 함량은 DPPH 및 ABTS radical 소거 활성 간에 r 값이 각각 0.9497($p<0.001$) 및 0.9500($p<0.001$)으로 나타났고, DPPH radical 소거 활성과 ABTS radical 소거 활성 간에 r 값은 0.9989($p<0.001$)로 높은 상관관계를 보였다.

요 약

본 연구에서는 현미 품종별 발아 전후의 일반성분 분석과 α -amylase 활성분석, GABA 및 식이섬유 함량분석, 항산화 성분, 라디칼 소거 활성을 분석하여 기능적 가치를 평가하고자 하였다. GABA 함량은 일반현미는 0.07~28.24 mg/100 g의 함량을 나타내었으며, 발아현미는 11.13~49.72 mg/100 g의 함량을 나타내어 대체적으로 발아현미에서 높은 함량을 보였다. 특히 큰눈(KN)과 수원595호(S595)의 발아현미가 일반현미에 비해 크게 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 또한 α -amylase 활성은 발아현미에서 일반현미에 비해 1.77~70.25배 더 높게 나타났다. 총 폴리페놀 함량은 일반현미와 발아현미에서 각각 10.52~36.38 및 11.38~26.33 mg/100 g으로 나타났고, 플라보노이드 함량은 각각 3.55~13.39 및 3.52~9.78 mg/100 g으로 나타났다. 일반현미와 발아현미의 DPPH radical 소거 활성은 57.64~251.34 및 50.49~213.35 mg TE/100 g의 범위로 나타났고, ABTS radical 소거 활성도 일반현미에서 더 높은 활성을 보였다. 이상의 항산화 성분 분석 결과에서 발아 후 함량이 감소하는 것은 발아과정에서 살수에 의해 수용성 항산화 성분이 씻겨 내려가 감소하는 것으로 생각된다. 이와 같이 본 연구에서는 다양한 품종의 현미와 발아현미에 대한 일반성분과 항산화 성분 및 항산화 활성검정을 하였으며, 이는 현미와 발아현미를 이용한 가공품 제조에 기초자료로 활용될 것으로 기대된다.

감사의 글

본 논문은 농촌진흥청 AGENDA 연구사업(ATIS 과제번호: PJ01167602)의 지원에 의해 이루어진 것임.

References

Choi Y, Lee SM, Chun J, Lee HB, Lee J. 2006. Influence of heat treatment on the antioxidant activities and polyphenolic compounds of shiitake (*Lentinus edodes*) mushroom. *Food Chem* 99:381-387

- Dewanto V, Xianzhong W, Liu RH. 2002. Processed sweet corn has higher antioxidant activity. *J Agr Food Chem* 50:4959-4964
- Duval B, Shetty K. 2001. The stimulation of phenolics and antioxidant activity in pea (*Pisum sativum*) elicited by genetically transformed anise root extract. *J Food Biochem* 25: 361-377
- Jung HY, Lee DH, Baek HY, Lee YS. 2008. Pre-and post germination changes in pharmaceutical compounds of germinated brown rice. *Korean J Crop Sci* 53:37-43
- Kim DJ, Oh SK, Yoon MR, Chun AR, Choi IS, Lee DH, Lee JS, Yu KW, Kim YK. 2011. The change in biological activities of brown rice and germinated brown rice. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 40:781-789
- Kim JE, Joo SI, Seo JH, Lee SP. 2009. Antioxidant and α -glucosidase inhibitory effect of tartary buckwheat extract obtained by the treatment of different solvents and enzymes. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 38:989-995
- Kim JM, Yu MY, Shin MS. 2012. Effect of mixing ratio of white and germinated brown rice on the physicochemical properties of extruded rice flours. *Korea J Food Cookery Sci* 28:813-820
- Kim SL, Son YK, Son JR, Hur HS. 2001a. Effect of germination condition and drying methods on physicochemical properties of sprouted brown rice. *Korean J Crop Sci* 46: 221-228
- Kim SM, Cho YS, Sung SK. 2001b. The antioxidant ability and nitrite scavenging ability of plant extracts. *Korean J Food Sci Technol* 33:626-632
- Kim SR, Ahn JY, Lee HY, Ha TY. 2004. Various properties and phenolic acid contents of rices and rice brans with different milling fractins. *Korea J Food Sci Technol* 36: 930-936
- Lee GR, Ko YJ, Kim EJ, Seol HG, Kim EJ, Kim IH, Shim KH, Kim YG, Ryu CH. 2012. Quality characteristic of the Korean wheat *meju* according to milling degree of wheat and fermenting strains. *Korean J Food Preserv* 19:858-865
- Lee YR, Kim JY, Woo KS, Hwang IG, Kim KH, Kim KJ, Kim JH, Jeong HS. 2007. Changes in the chemical and functional components of Korean rough rice before and after germination. *Food Sci Biotechnol* 16:1006-1010
- Middleton E, Kandaswami C. 1994. Potential health-promoting properties of citrus flavonoids. *Food Technol* 48:115-119
- Nieva MM, Sampietro AR, Vattuone MA. 2000. Comparison of the free radical-savenging activity of propolis from several

- regions of Argentina. *J Ethnopharmacol* 71:109-114
- Rice-Evans CA, Miller NJ, Paganga G. 1997. Antioxidant properties of phenolic compounds. *Trends in Plant Sci* 2:152-159
- Seo SJ, Choi YM, Lee SM, Kong SH, Lee JS. 2008. Antioxidant activities and antioxidant compounds of some specialty rices. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 37:129-135
- Song J, Lee KH, Choi HS, Hwang KA. 2015. Bioactive compounds of *cheonggukjang* prepared by different soybean cultivars with *Bacillus subtilis* HJ18-9. *Korean J Food Preserv* 22:535-544
- Woo KS, Seo MC, Ko JY, Song SB, Lee JS, Kang JR, Kwak DY, Oh BG, Nam MH, Jeong HS, Lee J. 2011. Physico-chemical characteristics of commercially available cereal crops in Korea. *J Agr Sci Chungbuk Nat'l Univ* 27:40-47

Received 22 February, 2016

Revised 24 February, 2016

Accepted 14 March, 2016