

## 현미 품종별 에탄올 추출물의 항산화 성분 및 항산화 활성

김현주 · 이지혜\* · 이병원 · 이유영 · 이병규\*\* · †우관식

농촌진흥청 국립식량과학원 농업연구사, \*농촌진흥청 국립식량과학원 전문연구원,

\*\*농촌진흥청 국립식량과학원 농업연구관

### Antioxidant Compounds and Antioxidant Activities of Ethanolic Extracts from Brown Rice Cultivars

Hyun-Joo Kim, Ji Hae Lee\*, Byong Won Lee, Yu Young Lee, Byoung Kyu Lee\*\* and †Koan Sik Woo

Researcher, Dept. of Central Area Crop Science, National Institute of Crop Science, Rural Development Administration, Suwon 16613, Korea

\*Researcher, Dept. of Central Area Crop Science, National Institute of Crop Science, Rural Development Administration, Suwon 16613, Korea

\*\*Senior Researcher, Dept. of Central Area Crop Science, National Institute of Crop Science, Rural Development Administration, Suwon 16613, Korea

#### Abstract

This study investigated chemical components, antioxidant compounds, and activity of brown rice cultivars, to select good cultivar to be used for processing of mixed-rice in the food industry. Proximate compositions, phytic acid, phenolic compounds, and antioxidant activity of brown rice were significantly different among cultivars. Moisture, crude ash, fat, protein, and carbohydrate contents of brown rice were 9.51~12.82, 1.05~1.93, 1.84~6.24, 5.90~9.60 and 71.75~80.34 g/100 g, respectively. Phytic acid content of brown rice cultivars was 7.39~0.87 mg/g. Total polyphenol content of Joeunheukmi and Geonganghongmi cultivars, were 615.25 and 311.14 µg GAE/g, total flavonoid content was 267.75 and 100.67 µg CE/g, respectively. DPPH radical scavenging activity of Geonganghongmi, Joeunheukmi and Hyeugkwang cultivars was 89.17, 87.94 and 43.17%, ABTS radical scavenging activity was 113.57, 113.34, and 93.53 µmol TE/g, and ferric reducing antioxidant potential was 951.67, 1,075.75, and 508.33 µM/g, respectively. As a result, phenolic compounds and antioxidant activities of pigmented brown rice were high, and it could be used as a functional material.

Keywords: brown rice, cultivar, antioxidant compound, antioxidant activity

#### 서 론

우리가 주식으로 이용하는 쌀(*Oryza sativa* L.)은 밀, 옥수수  
수와 함께 세계에서 가장 많이 생산 및 소비되는 곡물로 세  
계 인구 60억 명 중 약 27억 명이 주식으로 이용하고  
있는 중요한 식량 작물이다(Cho 등 2017). 우리나라의 쌀 생  
산량은 2015년 432만 톤으로 전년대비 2.0% 증가하였지만,  
가구부문 1인당 쌀 소비량은 2014년 65.1 kg, 2015년 62.9 kg  
으로 매년 감소하고 있는 추세이다(Park 등 2016). 우리나라  
쌀이 주식용 밥으로 소비되고 있는 비중은 전체 쌀 생산량의

95% 이상으로 하루에 2끼는 쌀로 소비된다고 할 수 있지만,  
국내산 쌀의 재고와 수입쌀의 증가로 쌀 소비에 아직까지 어  
려움이 있다(Park 등 2011). 이러한 어려움을 해결하기 위해  
쌀 소비 확대 정책으로 농림수산식품부에서는 쌀 가공 산업  
활성화 방안을 마련하고, 가공용 쌀 소비를 확대하기 위해 중  
장기 계획을 세우기도 하였다(Park 등 2016). 또한, 농촌진흥  
청은 가공용으로 적합한 다수성 벼와 밥쌀용 벼로 구분하여  
품종을 육성하고, 재배 및 생산하는 등 쌀 품종 개발에 대한  
연구를 지속적으로 진행해 오고 있다.

현미(whole grain, brown rice)는 벼(rough rice)의 왕겨(hull)를

† Corresponding author: Koan Sik Woo, Researcher, Dept. of Central Area Crop Science, National Institute of Crop Science, Rural Development Administration, Suwon 16613, Korea. Tel: +82-31-695-0616, Fax: +82-31-695-0609, E-mail: wooks@korea.kr

제거한 것으로 지방, 단백질, 비타민, 식이섬유 및 각종 미네랄과 효소 등이 풍부하여 영양성과 기능성이 뛰어나다(Mo 등 2006; Lee 등 2016). 또한, 현미에는  $\alpha$ -tocopherol,  $\alpha$ -tocotrienol,  $\gamma$ -tocopherol,  $\gamma$ -aminobutyric acid(GABA), arabinoxylan, ferulic acid, vitamin B<sub>1</sub>, vitamin E 등과 같은 항산화, 항당뇨, 항고혈압, 면역기능 증진 등의 생리기능성 물질들이 백미, 보리 및 밀 등의 기타 곡물보다 상대적으로 많이 함유되어 있다(Ha 등 1999; Krishna 등 2001; Kang 등 2003; Kim 등 2004; Moon 등 2010). 그러나 현미가 가지고 있는 뛰어난 효능에도 불구하고, 현미는 단단한 껍질과 phytic acid 등으로 인하여 식감이 거칠고 소화가 잘 되지 않는 단점을 가지고 있어 주로 한국을 포함한 많은 아시아 국가에서는 백미를 주식으로 섭취하고 있는데, 이는 현미가 가수율이 낮고 식감이 거칠며 딱딱하기 때문이다(Park & Woo 1991; Ohtsubo 등 2005). 그래서 많은 연구자들은 이러한 현미의 식미 향상 및 질감의 개선을 위한 노력이 계속되고 있으며(Kim 등 2012), 한국에서는 쌀 소비 확대를 위한 다양한 연구 및 기술개발이 시급한 실정이다(Cho 등 2017).

따라서 본 연구에서는 식품산업에서 가공용 또는 혼반용 등으로 활용 가능한 우수한 품종 선정의 일환으로 국내에서 육성된 많은 품종들 중에서 11 품종을 선정하여 현미에 대한 기능성분과 항산화 활성을 분석하여 추후 품종 선정의 기초 자료로 활용하고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 시험재료

본 연구에 사용된 현미 품종은 청품(*O. sativa* L. cv. Cheongpum; CP), 친들(cv. Chindeul; CD), 단미(cv. Danmi; DM), 도담쌀(cv. Dodamsal; DD), 건강홍미(cv. Geonganghongmi; GH), 일품(cv. Ilpum; IP), 조은흑미(cv. Joeunheukmi; JH), 삼광(cv. Samkwang; SK), 하이아미(cv. Haiami; HA), 현품(cv. Hyunpum; HP) 및 흑광(cv. Heugkwang; HK) 등 11 품종이며, 경기 수원 소재의 국립식량과학원 중부작물부 시험용 포장에서 2017년 생산된 산물을 시험용 재료로 사용하였다. 현미 제조는 제현기(Model SY88-TH, Ssangyong Machine Ind., Incheon, Korea)를 이용하여 시험재료를 제조하였고, 4°C 냉장고에 저장하면서 시료로 사용하였다.

### 2. 현미 품종별 일반성분 함량 분석

현미 품종별 일반성분 분석을 위해 Vibrating sample mill(CMT Co. Ltd., Tokyo, Japan)로 분쇄하여 분석용 시료로 사용하였다. 수분 함량은 105°C에서 상압가열건조법(DS-80S, Dasol Scientific, Hwaseong, Korea)으로 측정하였으며, 조단백

질 함량은 Kjeldahl 방법(Apodest 50SC-KTL20S, C. Gerhardt GmbH & Co. KG, Königswinter, Germany)으로 정량 분석하였다. 조지방 함량은 Soxhlet 방법(Sox416, C. Gerhardt GmbH & Co. KG)으로 분석하였고, 조회분 함량은 600°C 직접회화법(DS-84E-1, Dasol Scientific, Hwaseong, Korea)으로 분석하였다. 탄수화물 함량은 100 중량부에서 수분, 단백질, 지방, 회분을 뺀 나머지로 표시하였다(Jeong 등 2014).

### 3. 현미 품종별 phytic acid 함량 분석

현미 품종별 phytic acid 함량 분석은 megazyme phytic acid kit(Megazyme, Wicklow, Ireland)를 이용하여 분석하였다. 시료 1 g을 정확히 칭량하여 삼각플라스크에 넣고 0.66 M hydrochloric acid 20 mL를 첨가하여 실온에서 3시간 이상 교반하여 추출하였다. 추출물 1 mL를 1.5 mL tube에 옮겨 13,000 rpm에서 10분간 원심분리하고, 상등액 0.5 mL를 1.5 mL tube에 옮기고 0.75 M sodium hydroxide solution 0.5 mL 첨가하였다. 1.5 mL micro-centrifuge tube에 증류수 600  $\mu$ L와 sodium acetate buffer 200  $\mu$ L, 추출물 50  $\mu$ L, phytase 20  $\mu$ L를 혼합하고, 40°C water bath에서 10분간 반응시켰다. 여기에 glycine buffer 200  $\mu$ L와 ALP(suspension 4) 20  $\mu$ L를 첨가하고 40°C water bath에서 15분간 반응시킨 다음 50% trichloroacetic acid 300  $\mu$ L를 첨가하고 13,000 rpm에서 10분간 원심분리하였다. 상등액 1 mL를 취하여 2.0 mL micro-centrifuge tube에 넣고 colour reagent 500  $\mu$ L를 첨가하고, 40°C water bath에서 1시간 동안 반응시킨 후 655 nm에서 흡광도(Multiskan™ GO Microplate spectrophotometer, Thermo Scientific, Waltham, MA, USA)를 측정하였다.

### 4. 현미 품종별 에탄올 추출물 제조

현미 품종별 페놀성분 및 항산화 활성을 분석하기 위해 Vibrating sample mill(CMT Co. Ltd., Tokyo, Japan)로 분쇄한 시료 10 g에 5배량의 80% 에탄올을 넣고 homogenizer로 균질화시킨 후, 상온에서 24시간 동안 진탕추출(WiseCube WIS-RL010, Daihan Scientific Co., Ltd., Seoul, Korea)한 다음 여과하였고, 잔사에 다시 80% 에탄올을 가하여 추출한 후 두 추출물을 합쳐 -20°C 냉동고에 보관하면서 분석용 시료로 사용하였다.

### 5. 현미 품종별 에탄올 추출물의 페놀 성분 함량 분석

추출물에 대한 총 폴리페놀 및 플라보노이드 함량은 Woo 등(2016)의 방법에 따라 Folin-Ciocalteu reagent가 시료의 페놀성 물질에 의해 환원된 결과, 몰리브덴 청색으로 발색하는 것을 원리로 분석하였다. 총 폴리페놀 함량은 추출물 10  $\mu$ L에 2% Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 용액 200  $\mu$ L를 가한 후 3분간 방치하여 50%

Folin-Ciocalteu reagent(Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA) 10  $\mu\text{L}$ 를 가하였다. 30분 후, 반응액의 흡광도 값을 750 nm에서 측정하였고, 표준물질인 gallic acid(Sigma-Aldrich)를 사용하여 검량선( $y=1.2046x - 0.0588$ ,  $R^2=0.9995$ )을 작성하였으며, 시료 g 중의  $\mu\text{g}$  gallic acid equivalents(GAE, dry basis)로 나타내었다. 총 플라보노이드 함량은 추출물 50  $\mu\text{L}$ 에 증류수 200  $\mu\text{L}$ 와 5%  $\text{NaNO}_2$  15  $\mu\text{L}$ 를 가한 다음, 5분 후 10%  $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  30  $\mu\text{L}$ 를 가하여 6분 방치하고, 1 N  $\text{NaOH}$  100  $\mu\text{L}$ 를 첨가해 11분 후 반응액의 흡광도 값을 510 nm에서 측정하였다. 표준물질인 (+)-catechin(Sigma-Aldrich)를 사용하여 검량선( $y=0.0016x+0.0396$ ,  $R^2=0.9991$ )을 작성하였으며, 시료 g 중의  $\mu\text{g}$  catechin equivalents(CE, dry basis)로 나타내었다.

#### 6. 현미 품종별 에탄올 추출물의 radical 소거활성 측정

추출물에 대한 radical 소거활성은 DPPH(1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl, Sigma-Aldrich) 및 ABTS(2,2'-azino-bis-3-ethylbenzo-thiazoline-6-sulfonic acid, Sigma-Aldrich) radical 소거활성을 측정하였다(Woo 등 2016). DPPH radical 소거활성은 0.2 mM DPPH 용액(99.9% ethanol에 용해) 200  $\mu\text{L}$ 에 시료(추출물 농도 0.1 g/mL) 10  $\mu\text{L}$ 를 첨가한 후 520 nm에서 정확히 30분 후에 흡광도를 측정하였다. DPPH radical 소거활성은 시료구와 비침가구의 흡광도 차이를 백분율(%)로 구하였다. ABTS radical 소거활성은 ABTS 7.4 mM과 potassium persulphate 2.6 mM을 하루 동안 암소에 방치하여 ABTS 양이온을 형성시킨 후 이용액을 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 에탄올로 희석하였다. 희석된 ABTS 용액 200  $\mu\text{L}$ 에 추출액 10  $\mu\text{L}$ 를 가하여 흡광도의 변화를 정확히 30분 후에 측정하였다. ABTS radical 소거활성은 시료 g당  $\mu\text{mol TE}$ (Trolox equivalent antioxidant capacity)로 표현하였다.

#### 7. 현미 품종별 에탄올 추출물의 ferric-reducing antioxidant potential(FRAP) 측정

품종별 현미 에탄올 추출물의 FRAP는 Benzie & Strain (1996)의 방법에 따라  $\text{Fe}^{3+}$ 가  $\text{Fe}^{2+}$ 로 환원되어 TPTZ와 결합하여 blue 계열의 색을 나타내어 환원력을 흡광도 값으로 나타내는 방법으로 측정하였다. FRAP reagent는 25 mL acetate buffer(300 mM, pH 3.6)를 37°C에서 가온한 후, 40 mM HCl에 용해한 10 mM 2,4,6-tris(2-pyridyl)-s-triazine(TPTZ, Sigma-aldrich) 5 mL와 20 mM ferric sulfate 2.5 mL를 가하여 제조하였다. 제조한 FRAP reagent 0.9 mL에 시료 0.03 mL, 증류수 0.09mL를 넣은 후 37°C에서 10분간 반응시킨 후 593 nm에서 흡광도를 측정하였다. Blank는 시료 대신 80% ethanol을 넣어 측정하였다. 계산은 25, 50, 100, 200, 500, 1,000 및 2,000  $\mu\text{M}$

의 농도로 반복하여 작성한  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 의 검량식( $y=0.0004x+0.063$ ,  $R^2=1$ )에 대입하여 환산하였다.

#### 8. 통계분석

모든 데이터는 3회 이상 반복 측정하였으며,  $\text{mean} \pm \text{S.D.}$ 로 표현하였다. 또한, 얻어진 결과를 통계프로그램(Statistical Analysis System; version 9.2, SAS Institute, Cary, NC, USA)을 이용하여 다중범위검정(Duncan's multiple range test)을 실시하였으며, 각 분석항목 간의 상관관계를 분석하였다.

### 결과 및 고찰

#### 1. 현미 품종별 일반성분 함량

현미 품종별 일반성분 함량을 분석한 결과, Table 1과 같이 품종에 따라 유의적인 차이를 보이는 것으로 나타났다( $p<0.05$ ). 현미의 수분 함량은 9.51~12.82 g/100 g으로 삼광과 하이아미가 다른 품종에 비해 낮게 나타났다. 조회분 함량은 1.05~1.93 g/100 g으로 하이아미가 낮았고, 단미 품종이 높은 함량을 나타내었다. 조지방 함량은 1.84~6.24 g/100 g으로 단미 품종이 높은 함량을 나타내었으며, 조단백질 함량은 5.90~9.60 g/100 g으로 단미 품종이 높았다. 탄수화물 함량은 71.75~80.34 g/100 g으로 삼광 품종이 다른 품종에 비해 유의적으로 높았으며, 단미 품종이 낮은 함량을 보이는 것으로 나타났다. Lee 등(2017)은 2015년 경기 수원에서 수확한 삼광 현미의 수분, 조회분, 조지방, 조단백 및 탄수화물 함량을 11.30, 1.61, 2.12, 6.15 및 78.82%로 보고하였고, Yoon 등(2014)은 2011년 경기 수원에서 생산된 일품, 삼광, 하이아미, 흑광 품종의 단백질 함량을 각각 6.6, 6.8, 7.2 및 7.9%로 보고하여 본 연구와 약간의 차이를 보였는데, 이는 생산년도, 기상조건 등 환경적인 요인에 의한 것으로 생각된다(Woo 등 2016).

#### 2. 현미 품종별 phytic acid 함량

현미 품종별 phytic acid 함량을 분석한 결과, Fig. 1과 같이 품종별로 유의적인 차이를 보이는 것으로 나타났다( $p<0.05$ ). Phytic acid 함량은 단미 품종이 10.87 mg/g으로 유의적으로 높게 나타났으며, 현미 품종이 7.39 mg/g으로 유의적으로 낮게 나타났다( $p<0.05$ ). Phytic acid는 대부분의 종자와 곡물에 인을 저장하는데 사용되는 주요 화합물이며, 전체 인의 70% 이상을 차지한다(Lee 등 2007). Phytic acid는 Ca 또는 Mg의 염인 피틴(phytin) 형태로 존재하며(Cheryan M 1980), phytases에 의해 효소적으로 분해되거나, 저장, 발효, 발아, 가공, 소화 과정 중에 inositol penta-phosphate (IP5), inositol tetra-phosphate (IP4), inositol tri-phosphate (IP3), inositol di-phosphate 및 mono-phosphate와 같은 inositol phosphate로 분해된다(Sandberg 등

Table 1. The proximate compositions of brown rice cultivars

Cultivars <sup>1)</sup>	Moisture (g/100 g)	Crude ash (g/100 g)	Crude fat (g/100 g)	Crude protein (g/100 g)	Carbohydrate (g/100 g)
CP	12.28±0.02 <sup>b2)</sup>	1.31±0.01 <sup>g</sup>	1.84±0.02 <sup>g</sup>	6.69±0.02 <sup>f</sup>	77.88±0.02 <sup>d</sup>
CD	11.27±0.02 <sup>d</sup>	1.32±0.01 <sup>g</sup>	1.99±0.04 <sup>f</sup>	5.90±0.02 <sup>i</sup>	79.52±0.04 <sup>b</sup>
DM	10.48±0.05 <sup>g</sup>	1.93±0.01 <sup>a</sup>	6.24±0.03 <sup>a</sup>	9.60±0.00 <sup>a</sup>	71.75±0.06 <sup>j</sup>
DD	11.34±0.01 <sup>c</sup>	1.47±0.01 <sup>c</sup>	2.98±0.02 <sup>b</sup>	7.50±0.01 <sup>d</sup>	76.70±0.04 <sup>g</sup>
GH	10.92±0.04 <sup>e</sup>	1.68±0.01 <sup>b</sup>	2.68±0.01 <sup>c</sup>	8.56±0.03 <sup>c</sup>	76.16±0.04 <sup>i</sup>
IP	12.82±0.06 <sup>a</sup>	1.43±0.03 <sup>f</sup>	2.13±0.01 <sup>c</sup>	6.35±0.02 <sup>h</sup>	77.27±0.02 <sup>f</sup>
JH	10.05±0.03 <sup>h</sup>	1.67±0.01 <sup>b</sup>	2.99±0.03 <sup>b</sup>	8.69±0.01 <sup>b</sup>	76.61±0.07 <sup>h</sup>
SK	9.51±0.06 <sup>j</sup>	1.52±0.02 <sup>d</sup>	2.40±0.01 <sup>d</sup>	6.23±0.02 <sup>i</sup>	80.34±0.05 <sup>a</sup>
HA	9.73±0.03 <sup>i</sup>	1.47±0.03 <sup>e</sup>	3.00±0.02 <sup>b</sup>	6.56±0.05 <sup>g</sup>	79.23±0.06 <sup>c</sup>
HP	10.53±0.04 <sup>g</sup>	1.05±0.02 <sup>h</sup>	2.00±0.06 <sup>f</sup>	6.94±0.02 <sup>c</sup>	79.48±0.11 <sup>b</sup>
HK	10.76±0.03 <sup>f</sup>	1.64±0.02 <sup>c</sup>	2.65±0.03 <sup>c</sup>	7.53±0.04 <sup>d</sup>	77.42±0.03 <sup>e</sup>

<sup>1)</sup> CP: Cheongpum, CD: Chindeul, DM: Danmi, DD: Dodamssal, GH: Geonganghongmi, IP: Ilpum, JH: Joeunheukmi, SK: Samkwang, HA: Haiami, HP: Hyeonpum, HK: Hyeugkwang.

<sup>2)</sup> All values are expressed as the mean±S.D. of triplicate determinations. Means with different superscripts within a column (<sup>a-j</sup>) are significantly different at  $p<0.05$  by one-way analysis of variance (ANOVA) using Duncan's multiple range test.

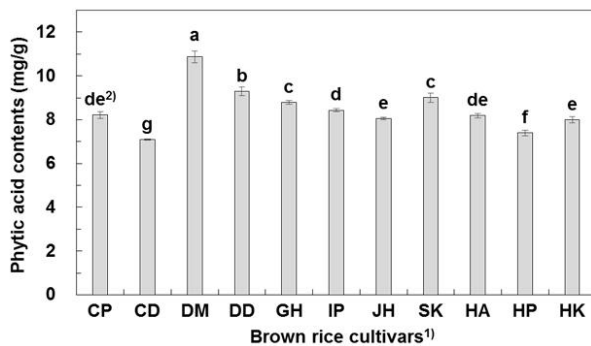


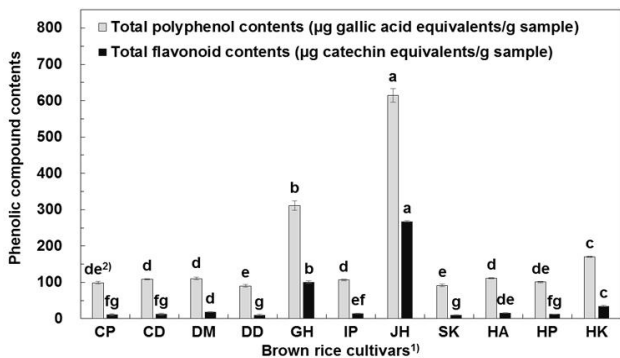
Fig. 1. Phytic acid contents of brown rice cultivars. <sup>1)</sup> See the Table 1. <sup>2)</sup> Means in the same group with the different letters (<sup>a-g</sup>) are significantly ( $p<0.05$ ) different by one-way analysis of variance (ANOVA) using Duncan's multiple range test.

1989). Phytic acid는 또한 다가 음이온 물질로 반응성이 매우 강하여 단백질의 양이온기와 결합하고 있으며, 이 결합물은 등전점 이하에서 불용성을 나타내며, 금속이온들과 쉽게 결합하여 무기물의 체내 흡수를 저해한다(Strong FM 1974; Park & Hwang 1994). 그러나 최근에는 phytic acid이 소장에서 free radical을 생성하는 철과 함께 결합하여 불용성 복합체를 형성하여 free radical 생성을 억제하므로 항암작용, 항산화 효과, 체내 지방산화 감소 효과 및 calcium oxalate의 생성억제효과가 보고되어 관심이 높아지고 있다(Anderson & Wolf 1995; Al-Wahsh 등 2005; Kim 등 2010). 따라서 phytic acid 함량이 높은 품종을 식품 가공에 이용하면 건강에 이로운 영향을 줄 것으로 생각되며, 가공 후 성분의 이행이나 함량 변화

등에 대한 연구가 필요할 것으로 생각된다.

### 3. 현미 품종별 에탄올 추출물의 페놀 성분 함량

품종에 따른 현미 에탄올 추출물의 총 폴리페놀 및 플라보노이드 함량을 분석한 결과, Fig. 2와 같이 품종에 따라 유의적인 차이를 보이는 것으로 나타났다( $p<0.05$ ). 현미의 총 폴리페놀 함량은 검정색의 유색미인 조은흑미 품종이 615.25  $\mu\text{g GAE/g}$ 으로 유의적으로 높게 나타났으며( $p<0.05$ ), 건강홍미와 흑광 품종은 각각 311.14 및 170.85  $\mu\text{g GAE/g}$ 으로 조사되었다. 일반 현미 중에서는 하이아미, 단미, 친들 품종이 각각 111.63, 110.24 및 108.86  $\mu\text{g GAE/g}$ 으로 다른 일반 현미 품종에 비해 높은 함량을 나타내었다. 현미의 총 플라보노이드 함량은 조은흑미 품종이 267.75  $\mu\text{g CE/g}$ 으로 유의적으로 높게 나타났으며( $p<0.05$ ), 건강홍미 품종은 100.67  $\mu\text{g CE/g}$ 으로 조사되었다. 일반 현미는 10.46~18.17  $\mu\text{g CE/g}$ 의 범위로 조사되어 유색미 품종이 높은 플라보노이드 함량을 보이는 것으로 나타났다. Lee 등(2016)은 현미 품종에 따라 총 폴리페놀 및 플라보노이드 함량을 각각 10.52~36.75 및 3.55~13.39  $\text{mg/100 g}$ 으로 흑광, 홍진주 등 유색미 품종이 높은 함량을 보이는 것으로 보고하였고, Lee 등(2007)은 흑광 품종 70% 에탄올 추출물에 4.9  $\text{mg/g}$  함유되어 있는 것으로 보고하였는데, 함량의 차이는 추출방법, 재배년도, 재배시기의 기상 등의 환경조건 등에 의한 차이로 생각된다. 페놀성 화합물은 식물체에 널리 분포되어 있는 물질로 다양한 구조와 분자량을 가지고, phenolic hydroxyl기가 단백질과 같은 거대분자와의 결합을 통해 항산화, 항암 및 항균 등의 생리기능을 가지는 것으



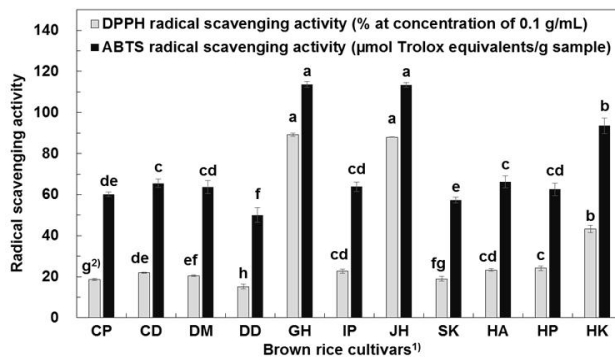
**Fig. 2. Total polyphenol and flavonoid contents of ethanolic extracts on the brown rice cultivars.** <sup>1)</sup> See the Table 1. <sup>2)</sup> Means in the same group with the different letters (a-e) are significantly ( $p < 0.05$ ) different by one-way analysis of variance (ANOVA) using Duncan's multiple range test.

로 알려져 있으며(Rice-Evans 등 1997), 곡류에 함유되어 있는 polyphenolic 화합물들은 우수한 항산화력을 가지는 것으로 알려져 있다(Middleton & Kandaswami 1994).

**4. 현미 품종별 에탄올 추출물의 항산화 활성**

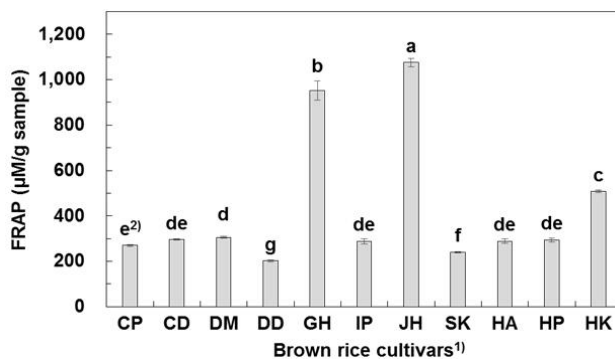
품종에 따른 현미 에탄올 추출물의 radical 소거활성을 분석한 결과, Fig. 3과 같이 품종에 따라 유의적인 차이를 보이는 것으로 나타났다( $p < 0.05$ ). 현미 에탄올 추출물의 DPPH radical 소거활성은 추출물의 농도를 0.1 g/mL의 농도로 측정하였으며, 건강홍미와 조은흑미 추출물에서 각각 89.17 및 87.94%로 높은 활성을 보였다. 흑광 품종은 43.17%의 활성을 보였고, 나머지 현미 품종은 15.20~24.13%의 활성을 보이는 것으로 나타났다. 현미 에탄올 추출물의 ABTS radical 소거활성은 건강홍미와 조은흑미 추출물이 각각 113.57 및 113.34 µmol TE/g으로 높은 활성을 보였고, 흑광 품종 또한 93.53 µmol TE/g으로 비교적 높은 활성을 나타내었다. 나머지 품종 추출물은 50.01~66.21 µmol TE/g으로 유의적인 차이를 보였다( $p < 0.05$ ). Lee 등(2016)은 현미 품종별 DPPH 및 ABTS radical 소거활성을 각각 57.64~251.34 및 99.73~291.45 mg TE/100 g으로 흑광, 홍진주 등 유색미 품종이 높은 활성을 보이는 것으로 보고하였고, Lee 등(2007)은 흑광 품종 70% 에탄올 추출물 5 mg/mL의 농도에서 32.5%의 활성을 나타내는 것으로 보고하였는데, 활성의 차이는 추출방법, 재료의 재배년도, 환경조건 등에 의한 차이로 생각된다.

FRAP 방법은 총 산화방지 능력을 측정하는 방법으로(Li 등 2008) 산성 pH에서 환원제에 의해 ferric tripyridyltriazine ( $Fe^{3+}$  TPTZ) 복합체가 ferrous tripyridyltriazine( $Fe^{2+}$  TPTZ)으로 환원되는 것을 이용한 산화방지 실험법으로 대다수의 산화방지 활성을 가진 화합물이 환원력을 가지는 것을 이용한 방



**Fig. 3. DPPH and ABTS radical scavenging activity of ethanolic extracts on the brown rice cultivars.** <sup>1)</sup> See the Table 1. <sup>2)</sup> Means in the same group with the different letters (a-h) are significantly ( $p < 0.05$ ) different by one-way analysis of variance (ANOVA) using Duncan's multiple range test.

법이다(Benzie & Strain 1996; Arano 등 2001). 환원된 ferrous-TPTZ의 양이 증가할 경우 흡광도 값이 증가하며, 이러한 흡광도 값의 증가는 시료가 가지는 항산화 능력이 높다는 것을 나타낸다. 현미 품종별 에탄올 추출물의 FRAP 활성은 Fig. 4와 같이 품종에 따라 유의적인 차이를 보였다( $p < 0.05$ ). 현미 에탄올 추출물의 FRAP 활성은 조은흑미 추출물이 1,075.75 µM/g으로 가장 높은 활성을 보였고, 건강홍미와 흑광 추출물은 각각 951.67 및 508.33 µM/g의 활성을 나타내었으며, 나머지 품종은 202.50~305.83 µM/g의 활성을 나타내었다. Deng 등(2012)은 흑미, 홍미, 현미가 각각 126.19, 34.22 및 18.31 µmol Fe(II)/g DW로 유색미가 FRAP value가 높은 것으로 보고하였다. 이상의 결과, 유색미 현미가 높은 페놀 성분 함량과 항산화 활성을 보여 이를 이용한 기능성 소재로 활용이



**Fig. 4. The ferric reducing antioxidant potential (FRAP) of ethanolic extracts on the brown rice cultivars.** <sup>1)</sup> See the Table 1. <sup>2)</sup> Means in the same group with the different letters (a-f) are significantly ( $p < 0.05$ ) different by one-way analysis of variance (ANOVA) using Duncan's multiple range test.

가능할 것으로 생각된다.

### 5. 현미 품종별 일반성분, phytic acid, 항산화 성분 및 활성 간의 상관관계

품종에 따른 현미의 일반성분, phytic acid, 항산화 성분 및 항산화 활성 간의 상관관계를 분석한 결과, Table 2와 같이 나타났다. 조지방 함량은 수분 함량과 부의 상관( $-0.3070$ ,  $p<0.05$ )을 보였고, 조회분 함량과 정의 상관( $0.7654$ ,  $p<0.001$ )을 나타내었다. 조단백질 함량은 조회분( $0.7499$ ,  $p<0.001$ ) 및 조지방 함량( $0.7622$ ,  $p<0.001$ )과 정의 상관을 나타내었으며, 탄수화물 함량은 조회분( $-0.7557$ ,  $p<0.001$ ), 조지방( $-0.8422$ ,  $p<0.001$ ) 및 조단백질 함량( $-0.8687$ ,  $p<0.001$ )과 부의 상관을 보였다. Phytic acid 함량은 조회분, 조지방 및 조단백질 함량과 높은 정의 상관을 나타내었으며( $p<0.001$ ), 탄수화물 함량과는 높은 부의 상관( $-0.7593$ ,  $p<0.001$ )을 나타내었다. 총 폴리페놀 및 플라보노이드 함량은 조회분( $p<0.05$ ) 및 조단백질 함량( $p<0.001$ )과 정의 상관을 나타내었다. DPPH 및 ABTS radical 소거활성, FRAP 활성은 조단백질, 총 폴리페놀 및 플라보노이드 함량과 높은 정의 상관( $p<0.001$ )을 나타내었고, 조회분 함량( $p<0.01$ )과도 정의 상관을 보였다. Radical 소거활성과 FRAP 활성은 천연물에 포함되어 있는 페놀 성분에 기인하여 활성을 나타내는 것으로 볼 때(Choi 등 2007), 현미에 함유된 페놀 성분 등 항산화 성분에 의해 radical 소거활성에 많이 기여하는 것으로 생각된다.

### 요약 및 결론

식품산업에서 가공용 또는 혼반용 등으로 활용 가능한 우수한 품종 선정의 일환으로 국내 육성 현미 품종에 대해 일반

성분, 기능성분과 항산화 활성을 분석한 결과, 수분, 조회분, 조지방, 조단백 및 탄수화물 등 일반성분 함량은 품종에 따라 유의적인 차이를 보였다. 현미 품종별 phytic acid 함량은 단위 품종이  $10.87$  mg/g으로 유의적으로 높게 나타났으며, 현미 품종이  $7.39$  mg/g으로 유의적으로 낮게 나타났다. 페놀 성분과 radical 소거활성, FRAP 활성은 유색미 품종이 유의적으로 높게 나타났다. 현미 에탄올 추출물의 총 폴리페놀 및 플라보노이드 함량은 조은흑미 품종이 각각  $615.25$   $\mu$ g GAE/g 및  $267.75$   $\mu$ g CE/g으로 유의적으로 높게 나타났으며, 건강홍미 품종은 각각  $311.14$   $\mu$ g GAE/g 및  $100.67$   $\mu$ g CE/g으로 조사되었다. 현미 에탄올 추출물의 DPPH radical 소거활성은 건강홍미, 조은흑미 및 흑광 품종이 각각  $89.17$ ,  $87.94$  및  $43.17\%$ 로 나타났고, ABTS radical 소거활성은 각각  $113.57$ ,  $113.34$  및  $93.53$   $\mu$ mol TE/g, FRAP 활성은 각각  $951.67$ ,  $1,075.75$  및  $508.33$   $\mu$ M/g으로 높은 활성을 보였다. 이상의 결과, 유색미 현미가 높은 페놀 성분 함량과 항산화 활성을 보여 이를 이용한 기능성 소재로 활용이 가능할 것으로 생각된다.

### 감사의 글

본 논문은 농촌진흥청 AGENDA 연구사업(ATIS 과제번호: PJ01196303)의 지원에 의해 이루어진 것임.

### References

- Al-Wahsh IA, Horner HT, Palmer RG, Reddy MB, Massey LK. 2005. Oxalate and phytate of soy foods. *J Agric Food Chem* 53:5670-5674
- Anderson RL, Wolf WJ. 1995. Compositional changes in trypsin

**Table 2. Correlation coefficients among proximate compositions, phytic acid, total polyphenol (TPC), flavonoid contents (TFC), radical scavenging activity, and FRAP of brown rice cultivars**

Factor	Crude ash	Crude fat	Crude protein	Carbohydrate	Phytic acid	TPC	TFC	DPPH	ABTS	FRAP
Moisture	-0.2648	-0.3070*	-0.2326	-0.1285	-0.1125	-0.2631	-0.2715	-0.2112	-0.2072	-0.2178
Crude ash	1.0000	0.7654***	0.7499***	-0.7557***	0.7205***	0.3665*	0.3550*	0.3968**	0.4314**	0.4169**
Crude fat	-	1.0000	0.7622***	-0.8422***	0.8260***	0.0419	0.0545	-0.0115	0.0046	0.0257
Crude protein	-	-	1.0000	-0.8687***	0.6188***	0.5210***	0.5136***	0.5433***	0.5213***	0.5683***
Carbohydrate	-	-	-	1.0000	-0.7593***	-0.2053	-0.2033	-0.2142	-0.2167	-0.2451
Phytic acid	-	-	-	-	1.0000	-0.1235	-0.1080	-0.1138	-0.1662	-0.1044
TPC	-	-	-	-	-	1.0000	0.9966**	0.8928**	0.8455**	0.9336**
TFC	-	-	-	-	-	-	1.0000	0.8597**	0.8043**	0.9064**
DPPH	-	-	-	-	-	-	-	1.0000	0.9683**	0.9924**
ABTS	-	-	-	-	-	-	-	-	1.0000	0.9619**

NS Not significant. Significant at \*  $p<0.05$ , \*\*  $p<0.01$ , \*\*\*  $p<0.001$ .

- inhibitors, phytate, saponins and isoflavones related to soybean processing. *J Nutr* 125:581-588
- Arano MB, Cano A, Acosta M. 2001. The hydrophilic and lipophilic contribution to total antioxidant activity. *Food Chem* 73:239-244
- Benzie IFF, Strain JJ. 1996. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": The FRAP assay. *Anal Biochem* 230:70-76
- Cheryan M, Rackis JJ. 1980. Phytic acid interaction in food systems. *CRC Crit Rev Food Sci Nutr* 13:297-335
- Cho DH, Park HY, Lee SK, Park JY, Choi HS, Woo KS, Kim HJ, Sim EY, Won YJ, Lee DH, Oh SK. 2017. Differences in physicochemical and textural properties of germinated brown rice in various rice varieties. *Korean J Crop Sci* 62:172-183
- Choi Y, Jeong HS, Lee J. 2007. Antioxidant activity of methanolic extracts from some grains consumed in Korea. *Food Chem* 103:130-138
- Deng GF, Xu XR, Guo YJ, Xia EQ, Li S, Wu S, Chen F, Ling WH, Li HB. 2012. Determination of antioxidant property and their lipophilic and hydrophilic phenolic contents in cereal grains. *J Func Foods* 4:906-914
- Ha TY, Park SH, Lee CH, Lee SH. 1999. Chemical composition of pigmented rice varieties. *Korean J Food Sci Technol* 31:336-341
- Jeong MS, Ko JY, Song SB, Lee JS, Jung TW, Yoon YH, Oh IS, Woo KS. 2014. Physicochemical characteristics of sikhye (Korean traditional rice beverage) using foxtail millet, proso millet, and sorghum. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 43:1785-1790
- Kang MY, Nam SY, Shin SH. 2003. Antioxidant and anti-mutagenic activity of solvent-fractionated layers of colored rice bran. *Korean J Food Sci Technol* 35:951-958
- Kim JM, Yu M, Shin M. 2012. Effect of mixing ratio of white and germinated brown rice on the physicochemical properties of extruded rice flours. *Korea J Food Cook Sci* 28:813-820
- Kim KC, Hwang IG, Kim HY, Song HL, Kim HS, Jang KI, Lee J, Jeong HS. 2010. Quality characteristics and mineral, oxalate and phytate contents of tofu manufactured by recommended soybean cultivars in Korea. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 39:986-991
- Kim SR, Ahn JY, Lee HY, Ha TY. 2004. Various properties and phenolic acid contents of rices and rice brans with different milling fractions. *Korea J Food Sci Technol* 36:930-936
- Krishna AGG, Khatoon S, Shiela PM, Sarmandal CV, Indira TN, Mishra A. 2001. Effect of refining of crude rice bran oil on the retention of oryzanol in the refined oil. *J Am Oil Chem Soc* 78:127-131
- Lee KH, Ham H, Kim HJ, Park HY, Sim EY, Oh SK, Kim WH, Jeong HS, Woo KS. 2016. Functional components and radical scavenging activity of germinated brown rice according to variety. *Korean J Food Nutr* 29:145-152
- Lee KH, Kim HJ, Lee SK, Park HY, Sim EY, Cho DH, Oh SK, Lee JH, Ahn EK, Woo KS. 2017. Functional components and radical scavenging activity of brown rice according to addition rate and cooker. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 46:350-357
- Lee YR, Woo KS, Kim KJ, Son JR, Jeong HS. 2007. Antioxidant activities of ethanol extracts from germinated specialty rough rice. *Food Sci Biotechnol* 16:765-770
- Li HB, Wong CC, Cheng KW, Chen F. 2008. Antioxidant properties *in vitro* and total phenolic contents in methanolic extracts from medicinal plants. *LWT-Food Sci Technol* 41:385-390
- Middleton E, Kandaswami C. 1994. Potential health-promoting properties of citrus flavonoids. *Food Technol* 48:115-119
- Mo KH, Choi YM, Choi SG, Lee JS. 2006. The change of some compounds in brown rice germinated by filtrate of loess suspension. *J Agric Life Sci* 40:41-48
- Moon GS, Kim MJ, Jin MH, Kim SY, Park SY, Ryu BM. 2010. Physicochemical and sensory properties of rice stored in an unused tunnel. *Korean J Food Cook Sci* 26:220-228
- Ohtsubo K, Suzuki K, Yasui Y, Kasumi K. 2005. Biofunctional components in the processed pre-germinated brown rice by a twin-screw extruder. *J Food Compos Anal* 18:303-316
- Park CK, Hwang IK. 1994. Effect of coagulant concentration and phytate addition on the contents of Ca and P and rheological property of soybean curd. *Korean J Food Sci Technol* 26:355-358
- Park HW, Woo KJ. 1991. The hydration properties and the cooking qualities of various brown rices. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 7:25-40
- Park HY, Shin DS, Woo KS, Sim EY, Kim HJ, Lee SK, Won YJ, Lee SB, Oh SK. 2016. Mechanical quality evaluation of rice cultivars that could potentially be used to produce processed cooked rice. *Korean J Crop Sci* 61:145-152
- Park SJ, Park KW, Shin MS. 2011. The cooking characteristics

- of high-yielding Japonica and Tongil type rice. *Korean J Food Cook Sci* 27:735-743
- Rice-Evans C, Miller N, Paganga G. 1997. Antioxidant properties of phenolic compounds. *Trends Plant Sci* 2:152-159
- Sandberg AS, Carlsson NG, Svanberg U. 1989. Effects of inositol tri-, tetra-, penta-, hexa-phosphates on *in vitro* estimation of iron availability. *J Food Sci* 54:159-186
- Strong FM. 1974. Toxicants occurring naturally in foods. *Nutr Rev* 32:225-231
- Woo KS, Song SB, Ko JY, Kim YB, Kim WH, Jeong HS. 2016. Antioxidant properties of adzuki beans, and quality characteristics of sediment according to cultivated methods. *Korean J Food Nutr* 29:134-143
- Yoon MR, Lee JS, Lee JH, Kwak JH, Chun A, Won YJ, Kim BK. 2014. Comparison of textural properties in various types of brown rice. *Korean J Food Nutr* 27:294-301

---

Received 14 October, 2018

Revised 22 October, 2018

Accepted 28 October, 2018