

남부 평야지에서 생산된 유색미 품종별 항산화 성분 및 활성 비교

- 연구노트 -

박지영¹ · 함현미¹ · 한상익² · 오성환² · 송유천² · 조준현² · 허연재² · 이유영¹ · 이병원¹ · 최용환¹

¹농촌진흥청 국립식량과학원 수확후이용과

²농촌진흥청 국립식량과학원 논이용작물과

Comparison of Antioxidant Components and Antioxidant Activities of Colored Rice Varieties (*Oryza sativa* L.) Cultivated in Southern Plain

Ji-Young Park¹, Hyeonmi Ham¹, Sang-Ik Han², Sung-Hwan Oh², You Chun Song², Jun Hyeon Cho², Yeon-jae Hur², Yu-Young Lee¹, Byung-Won Lee¹, and Yong Hwan Choi¹

¹Crop Post-Harvest Technology Research Division and

²Paddy Crop Research Division, NICS, RDA

ABSTRACT This study compared antioxidant compounds and antioxidant activities according to various varieties of 18 colored rice. Selected rice cultivars for this study were as follows: black rice (12 cultivars)-Heuginjubyeo, Nunkeunheugchal, Joenheugmi, Josaengheugchal, Heuggwang, Heugseol, Shinmyeongheugchal, Shinongheugchal, Shintoheugmi, Cheongpunheugchal, Heughyang, Boseogheugchal, red rice (four cultivars)-Jeogjinju, Jeogjinjuchal, Hongjinju, Geonganghongmi, and green rice (two cultivars)-Nogwonchal and Jungmo1020. These were transplanted on June 30th and cultivated from the Department of Southern Area Crop Science, National Institute of Crop Science in Miryang, Korea. Total polyphenol (TP) content of black rice cultivars was higher than that of red rice varieties. Heuginjubyeo exhibited the highest TP, which was 9.55 ± 0.05 mg gallic acid equivalent/g sample. There were no significant differences between black rice cultivars and red rice cultivars in terms of total flavonoid (TF) level. Heuginjubyeo and Hongjinju showed the higher TF content than any other variety. Shintoheugmi revealed the highest anthocyanin content (194.26 ± 0.65 mg/100 g). Methanol extract of Heuginjubyeo had the highest antioxidant activities. 2,2'-Azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) and 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl radical scavenging activities of Heuginjubyeo extract were 14.70 ± 0.62 and 30.68 ± 2.22 μ g/mL, respectively. There were significant correlations between antioxidant compound content and antioxidant activities.

Key words: colored rice, variety, anthocyanin, antioxidant activity, polyphenol

서 론

건강 기능성에 대한 국민의 관심이 높아지고, 건강한 식품에 대한 선호도가 증대되면서 주식인 쌀에서도 현미 상태로 섭취하는 유색미 소비가 많이 증가하였다(1). 우리나라에서 유통되는 유색미는 대표적으로 흑미와 적미 등이 있으며, 산지와 품종에 따라 여러 종류가 있다(2).

품종에 따라 과피의 색이 적갈색, 흑자색, 녹색 등에 이르는 다양한 유색미들은 다양한 천연색소를 함유하고 있는데 (3), 일반적으로 흑자색 현미는 안토시아닌이 풍부하며 적갈색 현미는 탄닌이 포함된 것으로 알려져 있다. 흑미의 안토시아닌은 cyanidin, peonidin의 배당체가 주성분이고, 그중 cyanidin 3-O-glucoside(C3G)의 함량이 가장 높다고 보고

된 바 있다(4). 적미는 탄닌계 색소뿐만 아니라 catechin 및 catecholtannin 등 다양한 성분을 함유한다고 보고된 바 있다(5-7).

이외에 유색미는 보통 흰쌀 품종보다 단백질, 비타민, 미네랄 등 영양적 가치가 월등히 높을 뿐만 아니라(8,9) 미강층 추출물의 항산화 활성이 우수하다고 보고된 바 있으며(10), 항종양 등 질병 예방 및 노화방지 효과가 인정되어 이용 가치가 높은 식품으로 평가되고 있다(11-13). 쌀의 일반성분, 기능성 성분 함량 및 조성 등 품질특성은 쌀의 품종, 도정률, 저장 및 가공방법, 그리고 재배지역에 따라 큰 차이가 있다고 보고되어 있다(14-17). 일반 백미에 대비하여 유색미의 많은 우수성이 구명되어 있지만, 최근 국내에서 재배되고 있는 유색미 품종별 항산화 성분 분석 및 활성을 통한 특성 비교는 미흡한 실정이다. 본 연구에서는 남부 평야지 한 곳에서 표준재배법으로 재배된 유색미 품종별 항산화 성분인 총폴리페놀, 총플라보노이드, 안토시아닌 함량을 정량하고, 항산화 활성을 분석하여 품종 간 특성을 비교하고자 한다.

Received 20 April 2016; Accepted 26 May 2016

Corresponding author: Ji-Young Park, Crop Post-Harvest Technology Research Division, NICS, RDA, Suwon, Gyeonggi 16613, Korea
E-mail: pjy2812@korea.kr, Phone: +82-31-695-0622

Table 1. List of colored rice varieties

Type of colored rice	Varieties	The number of varieties
Black rice	Heuginjubyeo (HJJ), Nunkeunheugchal (NKHC), Joeunheugmi (JEHM), Josaengheugchal (JSHC), Heuggwang (HG), Heugseol (HS), Shinmyeongheugchal (SMHC), Shinongheugchal (SNHC), Shintoheugmi (STHM), Cheongpungheugchal (CPHC), Heughyang (HH), Boseogheugchal (BSHC)	12
Red rice	Jeogjinju (JJJ), Jeogjinjuchal (JJJC), Hongjinju (Hong), Geonganghongmi (GGHM)	4
Green rice	Nogwonchal (NWC), Jungmo1020 (JM1020)	2
Total		18

재료 및 방법

실험재료

본 실험에 사용된 유색미는 총 18종으로 Table 1에 나타내었다. 흑진주(HJJ), 눈큰흑찰(NKHC), 조은흑미(JEHM), 조생흑찰(JSHC), 흑광(HG), 흑설(HS), 신명흑찰(SMHC), 신농흑찰(SNHC), 신토흑미(STHM), 청풍흑찰(CPHC), 흑향(HH), 보석흑찰(BSHC)로 흑미 12품종, 적진주(JJJ), 적진주찰(JJJC), 홍진주(Hong), 건강홍미(GGHM)로 적미 4품종, 녹원찰(NWC), 중모1020(JM1020)으로 녹미 2품종을 사용하였다. 분석에 사용된 재료는 농촌진흥청 국립식량과학원 남부작물부인 밀양에서 2014년에 생산되었다.

조생종인 흑진주벼와 조생흑찰은 안토시아닌 고함유 메벼, 흑자색 찰벼이며, 눈큰흑찰은 GABA 고함유 거대배 흑자색 찰벼이다(18-20). Fig. 1의 a)는 흑진주 b)는 눈큰흑찰의 사진으로 흑진주 대비하여 눈큰흑찰의 배 부분이 큰 것을 확인할 수 있다. 흑설은 중부 평야지에 적응하고 가공용 연질미로 개발되었고(21), 중만생종인 신농흑찰과 신토흑미는 각각 안토시아닌 고함유 흑색 찰벼와 메벼 품종이다. 종피가 적색인 적미는 중부평야지 적응용 찰벼인 적진주찰을 제외하고는 모두 메벼이다(22). Fig. 1의 c)는 적미인 건강홍미의 외형이다. Fig. 1의 d)는 녹색을 띠는 중모1020이라는 품종으로 2012년 등록되었다. 중모 1020은 성숙기에 이삭과 외영의 색상이 청색으로 나타나는 특성을 보이는 품종이다(23). 하지만 종자에서는 청색이나 자색이 관찰되지 않고 녹색의 엽록소 축적을 보이는 녹미이다(24). 위 품종들을 6월 30일 이앙하여 수확한 것을 분석 시료로 이용하였다.

40°C 건조기에서 72시간 건조한 후, 정조를 도정하여 현미 상태에서 분쇄하여 분석에 사용하였다.

총폴리페놀 함량 분석

총폴리페놀 함량은 Kim 등(25)의 방법을 변형한 방법인 Folin-Ciocalteu's phenol reagent가 추출물의 폴리페놀성 화합물에 의해 환원된 결과 몰리브덴 청색으로 발색하는 것을 원리로 분석하였다. 분쇄된 유색미 시료 1 g에 80% 메탄올 20 mL를 첨가하여 25°C에서 24시간 추출하였다. 유색미 추출물 10 µL에 2% Na₂CO₃ 200 µL를 가하여 3분 방치 후 Folin-Ciocalteu's phenol reagent(Sigma-Aldrich Co., St. Louis, MO, USA)를 10 µL 가하고 37°C에서 27분 반응시킨 다음 microplate reader(Molecular Device Co., Sunnyvale, CA, USA)로 750 nm에서 반응액의 흡광도 값을 측정하였다. 표준물질로 gallic acid(Sigma-Aldrich Co.)를 사용하여 표준 검량선을 작성한 후 추출물의 총폴리페놀 함량은 시료 1 g 중의 mg gallic acid equivalent(GAE)로 나타내었다.

총플라보노이드 함량 분석

총플라보노이드의 함량은 Zhishen 등(26)의 방법을 변형하여 측정하였다. 분쇄된 유색미 시료 1 g에 80% 메탄올 20 mL를 첨가하여 25°C에서 24시간 추출하였다. 품종별 유색미 추출액 25 µL에 증류수 100 µL를 가하고 5% NaNO₂ 용액 7.5 µL를 가하였다. 5분 방치 후 10% AlCl₃·6H₂O 용액을 15 µL 가하고 6분 방치하였다. 위의 반응액에 1 M의 NaOH 100 µL를 가한 후 흡광도 값을 microplate read-

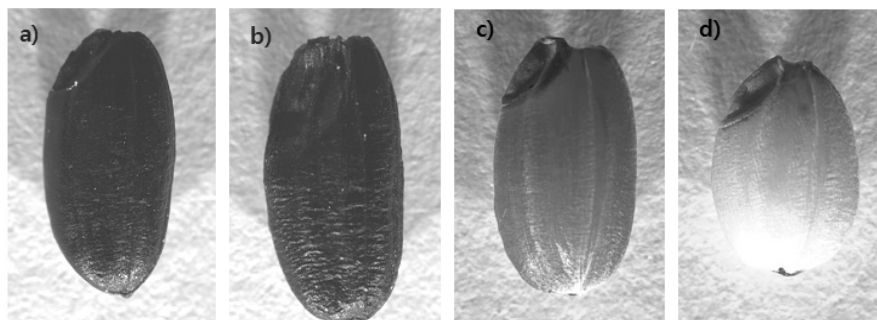


Fig. 1. Grain shape and color of colored rice. a) black rice (HJJ), b) black rice (NKHC), c) red rice (GGHM), d) green rice (JM1020).

er(Molecular Device Co.)를 이용하여 510 nm에서 측정하였다. 표준물질로는 (+)-catechin(Sigma-Aldrich Co.)을 사용하여 표준 검량선을 작성한 후 추출물의 총플라보노이드 함량은 시료 1 g 중의 mg (+)-catechin equivalent(CE)로 나타내었다.

안토시아닌 정량 분석

Park 등(27)의 분석을 변형한 것으로 안토시아닌 분석에 사용한 표준시약으로 cyanidin-3-O-glucoside, peonidin-3-O-glucoside(Extrasynthese, Genay, France)를 이용하였다. 표준용액은 0.1% HCl을 포함하는 80% MeOH 수용액으로 1,000 ppm stock solution을 만들어 갈색병에 저장하여 사용하였다. 안토시아닌 추출은 시료 1 g을 0.1% HCl 함유 80% MeOH 수용액 20 mL로 실온에서 24시간 추출하였다. 추출용액은 10분간 원심분리(1,000×g) 하고, 상등액을 0.2 µm membrane filter(Millipore, Billerica, MA, USA)로 여과하여 UPLC(UltiMate 3000 UHPLC, Thermo Fisher Scientific Inc., Waltham, MA, USA)로 분석하였다. 검출기는 PDA detector(Thermo Fisher Scientific Inc.)를 이용하여 530 nm, 칼럼은 Endeavorsil C18 1.8 µm 100×2.1 mm(Dikma Technologies Inc., Lake Forest, CA, USA)를 사용하였고, injection volume은 2 µL를 주입하여 측정하였다. 이동상은 A: 0.1% TFA를 포함한 water, B: 0.1% TFA를 포함한 MeOH를 사용하였으며, flow rate는 0.35 mL/min이었다. 이동상 gradient 조건은 0 min B: 20%, 0.4 min B: 25%, 6.5 min B: 35%, 9 min B: 20%, 10 min B: 20%로 분석하였다.

항산화 활성 측정

흑미의 항산화 활성 측정은 2가지 방법으로 측정하였으며, 2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulphonic acid)(ABTS) 측정방법은 ABTS cation decolorization assay 방법(28)을 변형하여 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 후 시료 25 µL에 첨가하고 1분 동안 반응시켰다. 이후 microplate reader(Molecular Device Co.)를 사용하여 734 nm에서 흡광도의 값을 측정하였다. 또 다른 방법으로 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl(DPPH)에 의한 전자공여능(electron donating ability, EDA)으로 측정하였다. DPPH는 페놀, 플라보노이드와 같은 페놀성 물질에 대한 항산화 작용의 지표로 알려져 있으며, EDA는 항산화 측정에 가장 많이 쓰이는 방법의 하나이다. 실험방법은 Kim 등(29)의 방법을 변형하여 시료 50 µL에 에탄올 200 µL 및 DPPH 용액 200 µL를 첨가한 것을 30분 동안 반응시킨 후 microplate reader(Molecular Device Co.)를 사용하여 517 nm에서 흡광도의 값을 측정하였다. 시료 첨가구와 비첨가구의 흡광

도 차이를 백분율로 구하였으며, 추출물의 EDA(%) 값을 50% 감소시키는 IC₅₀(inhibitory concentration)을 구하였다.

통계분석

모든 실험은 3회 반복 측정한 다음 mean±SD로 표시하였고, 통계처리 프로그램인 SAS(Statistical Analysis System, SAS 9.2, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA)를 이용하여 5% 유의수준에서 평균값과 표준편차 그리고 Duncan's multiple range test로 평균 간의 다중비교를 시행하였다.

결과 및 고찰

총폴리페놀 및 총플라보노이드 함량

남부 평야지에서 생산된 유색미 품종별 총폴리페놀 및 총플라보노이드 함량 결과를 Table 2에 나타내었다. 총폴리페놀은 흑미인 흑진주에서 유의적으로 가장 높은 9.55±0.05 mg GAE/g sample이었고, 그다음으로 조은흑미 및 신토흑미가 각각 8.95±0.47 및 8.83±0.04 mg GAE/g sample로 높았다. 적미는 대부분 흑미보다는 총폴리페놀 함량이 낮은 경향을 나타내었고, 적미 중에서는 홍진주가 4.30±0.04 mg GAE/g sample로 높았으며, 녹원찰 및 중모1020은 각각 0.81±0.01 및 0.87±0.01 mg GAE/g sample로 녹미가 유색미 중 총폴리페놀 함량이 가장 낮은 결과를 보였다. 이는 Kim 등(30)에서도 흑미의 수용성 페놀 함량이 갈색벼보다

Table 2. Total polyphenol and total flavonoid content of colored rice varieties

Rice cultivars	Total polyphenol ¹⁾ (mg GAE/g sample)	Total flavonoid ²⁾ (mg CE/g sample)
HJJ	9.55±0.05 ^{ab3)}	1.11±0.05 ^a
NKHC	3.83±0.02 ^{fg}	0.75±0.08 ^b
JEHM	8.95±0.47 ^b	0.72±0.02 ^b
JSHC	6.23±0.36 ^c	0.73±0.14 ^b
HG	3.98±0.10 ^{ef}	0.51±0.03 ^c
HS	5.73±0.07 ^d	0.52±0.01 ^c
SMHC	3.53±0.09 ^{gh}	0.27±0.06 ^{de}
SNHC	5.58±0.17 ^d	0.72±0.07 ^b
STHM	8.83±0.04 ^b	0.75±0.08 ^b
CPHC	5.88±0.06 ^{cd}	0.53±0.03 ^c
HH	3.02±0.04 ^{ij}	0.31±0.07 ^{de}
BSHC	2.62±0.05 ^j	0.40±0.02 ^{cd}
JJJ	3.19±0.38 ^{hi}	0.78±0.12 ^b
JJC	3.10±0.16 ^{hi}	0.69±0.11 ^b
Hong	4.30±0.04 ^e	1.07±0.04 ^a
GGHM	3.32±0.17 ^{hi}	0.83±0.01 ^b
NWC	0.81±0.01 ^k	0.22±0.02 ^e
JM1020	0.87±0.01 ^k	0.17±0.00 ^e

¹⁾Mean of triplicate determinations±standard deviation (SD) expressed as mg gallic acid equivalents per g sample.

²⁾Mean of triplicate determinations±standard deviation (SD) expressed as mg catechin equivalents per g sample.

³⁾Means with different letters (a-k) within a column are significantly different ($P<0.05$) by Duncan's multiple range test.

높다는 것과 유사한 결과라고 할 수 있으나, 찰벼와 메벼에 따라서도 차이가 있다고 하였는데 이 실험에서는 유의성이 없다고 판단된다. Ko 등(31)에서 현미와 흑미의 항산화 성분을 비교한 결과에 따르면 흑미 품종 중 흑진주, 신농흑찰, 흑설의 폴리페놀 함량은 각각 498.5 mg/100 g, 331.4 mg/100 g, 449.5 mg/100 g으로 보고되었다. 본 연구 결과에서는 각각의 폴리페놀 함량이 955 mg/100 g, 558 mg/100 g, 573 mg/100 g으로 Ko 등(31)의 연구 결과보다 높게 나타났는데, 이는 흑미 품질에 따른 재료 차이라고 생각한다. 본 연구에서 분석에 사용된 흑미 시료는 이앙시기가 6월 30일로 보통기 재배보다 늦은 경향이다. Song 등(32)이 보고한 연구 결과에서는 5월 20일~6월 20일 이앙한 후 유색미 수량 품질에서 이앙시기가 늦어질수록 완전미 착색 비율이 높아진다고 보고하였으며, 이것이 흑미 과피 색을 띠는 안토시아닌에서 기인한다고 보고되었다. 본 연구에서도 실제로 진한 검은색을 띠는 흑진주, 신토흑미 등이 안토시아닌 함량이 높았는데, 이 품종들은 총폴리페놀 함량이 높은 것으로 나타났다. 총플라보노이드 함량은 흑미와 홍미 즉, 유색미의 색깔에 따른 차이보다는 품종별로 차이가 큰 경향을 나타내었다. 흑진주 및 홍진주가 각각 1.11±0.05 및 1.07±0.04 mg CE/g sample로 가장 높은 함량을 나타내었고, 건강홍미, 적진주, 눈큰흑찰, 신토흑미 등이 각각 0.83±0.01, 0.78±0.12, 0.75±0.08, 0.75±0.08 mg CE/g sample로 비슷한 결과를 보였다. 녹원찰과 중모1020은 총폴리페놀 함량과 마찬가지로 가장 낮은 경향을 나타내었다. Goufo 등(33)이 보고한 바에 의하면 유색미 플라보노이드 함량은 흑미 10품종이 279±131.5 mg/100 g, 적색미 13품종이 225.1±136.3 mg/100 g으로 유색미 과피 색의 차이보다는 품종간 변이가 심한 것으로 나타났으며, 본 연구 결과와 유사하다고 생각된다.

안토시아닌 함량 변화

유색미의 안토시아닌 함량 분석 결과는 Table 3에 나타내었다. 적미와 녹미는 안토시아닌 색소가 검출되지 않았고, 흑미에서는 품종별로 다양하게 색소를 함유하였다. 신토흑미, 흑진주 각각 194.26±0.65, 140.07±0.96 mg/100 g으로 가장 높은 결과를 보였으며, 청풍흑찰, 흑설, 신농흑찰도 126.31, 125.33, 124.74 mg/100 g으로 높은 함량을 나타내었다. 거대배아미인 눈큰흑찰은 안토시아닌 색소 함량이 24.83±0.27로 흑향 28.51±0.11 mg/100 g, 보석흑찰 21.16±0.18 mg/100 g과 비슷한 결과를 보였다. 눈큰흑찰은 배유의 발달이 불량한데 배의 크기가 일반 벼보다 3.7배 정도 커서 씨눈에 함유된 gamma-aminobutyric acid 함량이 높은 품종으로(16) 상대적으로 안토시아닌 색소의 함량은 적은 것으로 나타났다. 쌀의 안토시아닌 조성은 자색을 나타내는 cyanidin-3-O-glucoside가 90% 이상을 차지하고 있으며, peonidin-3-O-glucoside가 10% 정도를 차지

Table 3. Total anthocyanin content (C3G+Pn3G) of black rice varieties (mg/100 g)

Rice cultivars	Cyanidin 3-O-glucoside	Peonidin 3-O-glucoside	Total anthocyanin
HJJ	132.09±0.92 ^{b1)}	7.98±0.24 ^c	140.07±0.96 ^b
NKHC	24.14±0.16 ⁱ	0.69±0.10 ^j	24.83±0.27 ⁱ
JEHM	81.98±0.28 ^c	3.60±0.19 ^e	85.58±0.17 ^c
JSHC	77.73±0.20 ^f	3.44±0.07 ^e	81.17±2.05 ^f
HG	14.17±0.16 ^k	0.66±0.06 ⁱ	14.83±0.12 ^k
HS	119.17±0.47 ^c	6.16±0.20 ^c	125.33±0.48 ^{cd}
SMHC	50.42±0.09 ^e	4.14±0.1 ^f	54.56±0.09 ^e
SNHC	117.81±0.62 ^d	6.93±0.07 ^d	124.74±0.65 ^d
STHM	181.77±0.60 ^a	12.50±0.11 ^a	194.26±0.65 ^a
CPHC	116.78±0.44 ^d	9.53±0.28 ^b	126.31±0.72 ^c
HH	26.01±0.13 ^h	2.50±0.07 ^h	28.51±0.11 ^h
BSHC	20.28±0.12 ^j	0.89±0.06 ⁱ	21.16±0.18 ^j
JJJ	ND ²⁾	ND	ND
JJC	ND	ND	ND
Hong	ND	ND	ND
GGHM	ND	ND	ND
NWC	ND	ND	ND
JM1020	ND	ND	ND

¹⁾Means with different letters (a-k) within a column are significantly different (*P*<0.05) by Duncan's multiple range test.

²⁾ND: Not detected.

하고 있고 적미에서는 안토시아닌이 검출되지 않는다는 Seo 등(34)과 유사한 결과를 보였다. 한편 Pengkumsri 등(35)이 연구한 결과에 의하면 1% 염산을 첨가한 메탄올의 태국 품종의 흑미 추출물 수율이 21.30±3.20%이고, cyanidin-3-O-glucoside가 5.69±0.28 mg/g extract, peonidin-3-O-glucoside가 11.46±0.57 mg/g extract로 나타났는데, 기존의 cyanidin-3-O-glucoside가 90% 이상 차지한 선행 연구 결과들과는 상반된 결과라고 생각되며 품종의 차이라고 생각된다. 우리나라에서도 유색미인 중모 1020의 왕겨에서 petunidin-3-O-glucoside 색소를 68.3% 함유하고 있다고 보고되었으나(24), 유색미 현미에서 안토시아닌 조성이 현저히 다른 결과는 보고된 바가 없다. 이에 대해 다양한 색소 조성을 가지는 품종들에 대한 탐색과 추가 연구가 필요하다.

녹미에서도 안토시아닌 색소는 검출되지 않았다. 하지만 녹색미인 중모1020의 왕겨에서는 최초로 페튜니딘 색소를 함유하고 있다고 하였고, 생육단계에 따라 색소 함량 변화가 크기 때문에 추가적인 연구가 필요하다고 생각된다. 이 실험에 이용된 유색미 품종은 경남 밀양의 남부 평야지 한곳에서 재배하여 생산하였지만, 품종에 따라 출수기가 다르고 등숙 온도가 색소 함량에 영향을 준다는 결과(36)를 고려하면 재배지역 및 재배시기에 따라 이 실험과 다른 결과가 나올 수 있으리라 판단된다. 실제로 흑설은 2007년 중부 평야지 적색 품종으로 육성되었고, 청풍흑찰은 중부 평야지와 남부 중산간지에 주로 보급되었으며(37), 중부 및 남부 평야지 모두 적응하는 2006년 육성된 홍진주(38)와 같이 유색미 품종의 생태형 및 재배적지가 다양하므로 품종별 재배지역

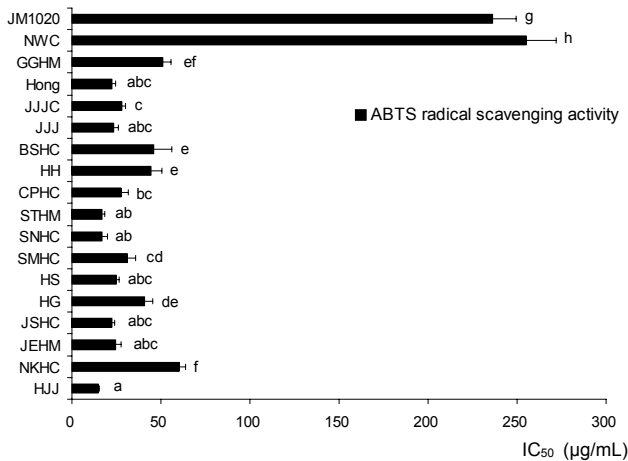


Fig. 2. ABTS radical scavenging activity of colored rice varieties. IC₅₀ is concentration in µg/mL required to scavenge ABTS radical by 50%. Means with different letters (a-h) are significantly different ($P < 0.05$) by Duncan's multiple range test.

에 따른 색소 축적에 관한 추가 연구가 필요하다고 생각된다.

항산화 활성

남부 평야지에서 생산된 유색미 18종의 품종에 대한 항산화 활성을 본 연구에서는 2가지 방법으로 측정하였다. ABTS 라디칼 소거능은 ABTS의 양이온 라디칼의 흡광도가 항산화제에 의해 억제되어 청록색이 탈색되는 현상을 측정하는 방법으로 그 결과는 Fig. 2에 나타내었다. 총폴리페놀 함량이 높았던 흑진주가 14.70 ± 0.62 µg/mL의 가장 낮은 IC₅₀ 값을 나타내어 항산화 활성이 가장 높았다. 다음으로 신토흑미 및 신훈흑찰이 각각 16.79 ± 1.56 및 17.01 ± 2.72 µg/mL로 활성이 높았고, 거대배아 흑미인 눈큰흑찰은 60.01 ± 3.69 µg/mL로 흑미 중에서는 낮은 항산화 활성을 나타내었다. 적미 중에서는 홍진주와 적진주가 각각 22.23 ± 2.12 및 23.47 ± 2.54 µg/mL로 높았는데 이는 흑미 메탄올 추출물의 총항산화력, 환원력 등이 백미, 현미, 적색미, 거대배아미에서 높았다는 Seo 등(39)의 결과와 유사하였고, 거대배아 흑미는 흑미 평균보다 낮은 항산화 활성을 나타내었다. 하지만 적미와 흑미의 라디칼 소거능은 유색미 종류보다는 품종 간 변이가 큰 것으로 판단되며, 적진주 및 홍진주가 보석흑찰, 흑향, 흑광, 눈큰흑찰 등보다 항산화 활성이 높은 것으로 나타났다. 한편 녹미인 녹원찰과 중모1020은 흑미 및 적미보다는 유의하게 낮은 항산화 활성을 나타내었다. 항산화 활성을 측정하는 또 다른 방법인 DPPH 라디칼 소거능 측정방법은 프리라디칼에서 전자나 수소원자에 의해 전자가 쌍이 되어 비라디칼이 되면 특유의 색이 사라지는 DPPH의 화학적 성질을 이용한 방법으로 이에 관한 결과는 Fig. 3에 나타내었다. ABTS 라디칼 소거능이 높았던 흑진주가 DPPH 라디칼 소거능 결과 값에서도 가장 낮은 IC₅₀ 값인 30.68 ± 2.22 µg/mL로 항산화 활성이 가장 높았고, 다음으로 건강홍미와 신토흑미가 41.11 ± 1.82 , 45.17 ± 6.86 µg/mL로 높은 활성

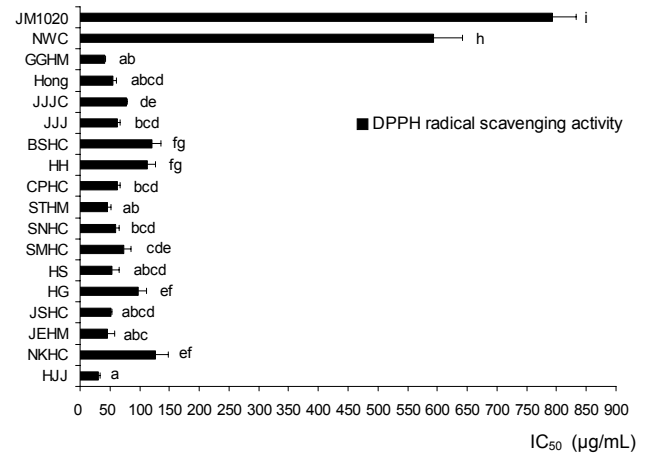


Fig. 3. DPPH radical scavenging activity of colored rice varieties. IC₅₀ is concentration in µg/mL required to scavenge DPPH radical by 50%. Means with different letters (a-i) are significantly different ($P < 0.05$) by Duncan's multiple range test.

을 나타내었다. 이는 Kim 등(40)이 보고한 바와 같이 ABTS 라디칼 소거능과 DPPH 라디칼 소거능이 유사한 결과를 보이는 것과 일치하였는데, 페놀성 화합물이 DPPH 라디칼에 수소를 공여하여 안정화하는 것으로 판단되었으며, 폴리페놀 함량이 높은 흑진주, 신토흑미가 항산화 활성이 높은 것으로 나타났다. 한편 건강홍미가 ABTS 측정법에서는 적미 중 가장 낮았지만, DPPH 라디칼 소거능에서는 가장 높은 활성을 나타내었는데, Villaño 등(41)에 의하면 폴리페놀 화합물 중 플라보노이드 계열 화합물의 DPPH 라디칼을 이용한 측정에서 우수한 항산화력이 있다고 보고한 바가 있으며, 향후 적미에 있어서 총폴리페놀과 총플라보노이드 함량뿐만 아니라 구체적인 항산화 성분에 대한 추가적인 물질 구명이 필요하다고 생각된다. DPPH 라디칼 소거능 결과에서도 유색미 색깔의 종류보다는 품종 간의 차이가 큰 것으로 나타났다. 녹원찰과 중모1020은 ABTS 라디칼 소거능과 유사하게 흑미, 적미보다 현저히 낮은 활성을 보였는데, 총폴리페놀 및 총플라보노이드 함량이 다른 유색미에 비해 낮은 것과 상관이 있으며, 엽록소에 녹미의 구성물질 및 생리활성에 관한 추가 연구도 필요하다고 생각된다.

항산화 성분과 항산화 활성의 상관관계

흑미, 적미, 녹미의 유색미 품종별 항산화 성분 및 항산화 활성과의 상관관계를 SAS 9.2로 분석한 결과를 Table 4에 나타내었다. 총폴리페놀과 ABTS 및 DPPH radical 소거능 간에 r값이 각각 -0.6273 ($P < 0.01$), -0.6007 ($P < 0.01$)로 높은 부의 상관관계를 보였다. 총플라보노이드 함량과 ABTS 및 DPPH 라디칼 소거 활성 간에 r값이 각각 -0.6093 ($P < 0.01$), -0.6214 ($P < 0.01$)로 총폴리페놀과 같이 높은 부의 상관관계를 나타내었다. 안토시아닌 함량과 ABTS와 DPPH 라디칼 소거 활성 간에 r값이 각각 -0.8439 ($P < 0.001$), -0.8322 ($P < 0.001$)로 매우 높은 부의 상관관계를 보였고, 항

Table 4. Correlation coefficients among polyphenol, flavonoid, anthocyanin and radical scavenging activities of colored rice varieties

Factor	Polyphenol	Flavonoid	Anthocyanin	ABTS	DPPH
Polyphenol	1.0000	0.6144**	0.7913**	-0.6273**	-0.6007**
Flavonoid	—	1.0000	0.5318 ^{ns}	-0.6093**	-0.6214**
Anthocyanin	—	—	1.0000	-0.8439***	-0.8322***
ABTS	—	—	—	1.0000	0.9702***
DPPH	—	—	—	—	1.0000

^{ns}Not significant. ** $P < 0.01$, *** $P < 0.001$.

산화 활성 방법의 종류인 ABTS 소거 활성과 DPPH 소거 활성 간에 r 값은 0.9702($P < 0.001$)로 높은 상관관계를 보였다.

DPPH나 ABTS 라디칼 소거 활성은 페놀류나 플라보노이드 물질에 기인하여 항산화 활성을 나타내는 것으로 판단하고(42), Kim 등(40)에서도 흑미 복합발효물의 페놀, 플라보노이드, 프로안토시아닌이 증가함에 따른 ABTS, DPPH 관계는 각각 $R^2=0.9$, $R^2=0.8$ 로 높은 부의 상관관계를 보인다고 한 결과에 부합하여 본 연구 결과에서도 항산화 성분과 항산화 활성 간에 높은 부의 상관관계를 나타내었다. 따라서 항산화 성분과 항산화 활성 간에 상관관계가 높다고 할 수 있다.

요 약

남부 평야지에서 생산된 유색미의 품종별 항산화 성분으로 총폴리페놀, 총플라보노이드 및 안토시아닌을 분석하고 항산화 활성을 측정된 결과를 비교하였다. 총폴리페놀 함량은 흑미 > 적미 > 녹미 순이었고, 흑미 중에서도 흑진주, 조은흑미, 신토흑미 등이 높았다. 총플라보노이드 함량은 유색미 종류에 따른 차이보다는 품종별로 차이가 있었다. 흑진주와 홍진주, 건강홍미 등이 높은 결과를 나타내었다. 안토시아닌 함량은 적미와 녹미에서는 나타나지 않았고, 흑미에서는 신토흑미, 흑진주, 청풍흑찰 순으로 높은 결과를 보였다. ABTS 라디칼 소거능은 흑진주의 IC_{50} 값이 낮아 항산화 활성이 높았고, 신토흑미, 신평흑찰, 홍진주, 적진주, 조생흑찰 등이 높았다. DPPH 라디칼 소거능에서는 흑진주의 IC_{50} 값이 가장 낮았고, 건강홍미, 신토흑미가 다음으로 낮은 IC_{50} 값을 보여 항산화 활성이 높았다. 총폴리페놀, 총플라보노이드, 안토시아닌 함량이 높은 흑미인 흑진주는 가장 높은 항산화 활성을 나타내었다. 총폴리페놀과 총플라보노이드 함량이 낮은 녹미는 흑미와 적미에 비해 유의하게 항산화 활성이 낮게 나타났다. 본 연구에서 분석한 총폴리페놀, 총플라보노이드, 안토시아닌과 ABTS·DPPH 라디칼 소거능에서 측정된 IC_{50} 값과는 높은 부의 상관관계를 보이므로 항산화 성분과 항산화 활성은 상관관계가 높았다.

감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 국립식량과학원 농업과학기술사업(과제번호: PJ01124101)의 지원에 의해 이루어진 것임.

REFERENCES

- Ryu SN, Park SZ, Kang SS. 2005. Studies on exploration and expansive use of genetic variation of functional substances in rice. Report of Rural Development Administration, Suwon, Korea.
- Nam SH, Chang SM, Kang MY. 2003. Varietal difference in antioxidative activity of ethanolic extracts from colored rice bran. *J Korean Soc Agric Chem Biotechnol* 46: 16-22.
- Kang MY, Nam YJ, Nam SH. 2005. Screening of antioxidation-related functional components in brans of the pigmented rices. *J Korean Soc Appl Biol Chem* 48: 233-239.
- Ryu SN, Han SJ, Park SZ, Kim HR. 2006. Antioxidant activity of blackish purple rice. *Korean J Crop Sci* 51: 173-178.
- Choi HC, Oh SK. 1996. Diversity and function of pigments in colored rice. *Korean J Crop Sci* 41: 1-9.
- Akiwa Y, Ohtani T. 1991. Pigment properties of pigment rices. *Shokuhingogyo* 34: 28-33.
- Kang MY, Shin SY, Nam SH. 2003. Correlation of antioxidant and antimutagenic activity with content of pigments and phenolic compounds of colored rice seeds. *Korean J Food Sci Technol* 35: 968-974.
- Koh HJ, Won YJ, Cha GW, Heu MH. 1996. Varietal variation of pigmentation and some nutritive characteristics in colored rices. *Korean J Crop Sci* 41: 600-607.
- Gu D, Xu M. 1992. A study on special nutrient of purple black glutinous rice. *Sci Agric Sin* 25(5): 36-41.
- Ramarathnam N, Osawa T, Namiki M, Kawakishi S. 1988. Chemical studies on novel rice hull antioxidants. 1. Isolation, fractionation, and partial characterization. *J Agric Food Chem* 36: 732-737.
- Choi SW, Nam SH, Choi HC. 1996. Antioxidative activity of ethanolic extracts of rice brans. *Foods and Biotechnol* 5: 305-309.
- Wang H, Cao G, Prior RL. 1997. Oxygen radical absorbing capacity of anthocyanins. *J Agric Food Chem* 45: 304-309.
- Lee HH, Kim HY, Koh HJ, Ryu SN. 2006. Varietal difference of chemical composition in pigmented rice varieties. *Korean J Crop Sci* 51: 113-118.
- Lloyd BJ, Siebenmorgen TJ, Beers KW. 2000. Effects of commercial processing on antioxidant in rice bran. *Cereal Chem* 77: 551-555.
- Kim IH, Kim CJ, You JM, Lee KW, Kim CT, Chung SH, Tae BS. 2002. Effect of roasting temperature and time on the chemical composition of rice germ oil. *J Amer Oil Chem Soc* 79: 413-418.
- Kadlec P, Kaasova J, Bubnik Z. 2003. Chemical and physicochemical changes during microwave treatment of rice. *Food Sci Biotechnol* 12: 219-223.
- Yoon SH, Kim SK. 2004. Physicochemical properties of rice differing in milling degrees. *Food Sci Biotechnol* 13: 57-62.
- Song YC, Lee JS, Ha WG, Hwang HG, Lee SJ, Yeo US,

- Park NB, Kwak DY, Jang JK, Lee JH, Park DS, Jung KH, Jeong EK, Nam MH, Kim YD, Kim MK, Kwon OK, Oh BG. 2010. A new early maturing blackish purple pigmented glutinous rice variety, 'Josaengheugchal'. *Korean J Breed Sci* 42: 262-266.
19. Park DS, Hwang UH, Park SK, Lee JH, Han SI, Cho JH, Lee JY, Oh SH, Jang KC, Seo WD, Shin DJ, Kim SY, Song YC, Yeo US, Park NB, Nam MH, Lee JK. 2015. A waxy black giant embryo earley maturing rice variety 'Nunkeunheugchal'. *Korean J Breed Sci* 47: 68-74.
 20. Moon HP, Choi YG, Lee JH, Jung KH, Cho SY, Hwang HG, Kang KH, Kim MK, Hwang KH, Choi HC, Kim YS. 1998. A new early maturing, anthocyanin pigmented rice variety "Heuginjubyeo". *Korean J Breed Sci* 30: 383-383.
 21. Yang CI, Choi YH, Lee SB, Lee KS, Lee JH, Hong HC, Kim HY, Shin YS, Hwang HG, Yang SJ, Jung OY, Jeon YH, Oh MG, Kim MK, Lee JH, Cho YC, Lee JI, Hwan KH, Kim YG, Lee YT. 2012. A new black pericarp and processing soft rice cultivar 'Heugseol'. *Kor J Breed Sci* 44: 35-40.
 22. Yang CI, Lee SB, Jeong JM, Kim MK, Lee KS, Lee JH, Hwang HG, Choi YH, Kim YG, Shin YS, Jeong OY, Hong HC, Chun AR, Oh SK, Jeung JU, Kang KH, Kim CY. 2012. New early maturing, reddish pericarp and high antioxidants glutinous rice variety 'Jeogjinjuchal'. *Kor J Breed Sci* 44: 637-642.
 23. RDA. 2011. Variety protection report of Jungmo1020. RDA Annual Report. Rural Development Administration, Suwon, Korea.
 24. Ra JE, Park JY, Seo WD, Song YC, Cho JH, Lee JH, Sim EY, Nam MH, Chung IM, Han SI. 2014. Isolation and identification of anthocyanins and determination of antioxidative activity in rice-hull of a new cultivar, 'Jungmo1020'. *Korean J Crop Sci* 59: 391-397.
 25. Kim DO, Chun OK, Kim YJ, Moon HY, Lee CY. 2003. Quantification of polyphenolics and their antioxidant activity in fresh plums. *J Agric Food Chem* 51: 6509-6515.
 26. Zhishen J, Mengcheng T, Jianming W. 1999. The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals. *Food Chem* 64: 555-559.
 27. Park JY, Han SI, Hur YJ, Lee YY, Lee BW, Sim EY, Ham H, Kim BJ, Lee CW, Lee SJ, Oh SH. 2015. Changes in physicochemical properties and antioxidant activities according to different harvest times in black rice (*Oryza sativa* L.). *J Korean Soc Food Sci Nutr* 44: 1653-1659.
 28. Dewanto V, Xianzhong W, Liu RH. 2002. Processed sweet corn has higher antioxidant activity. *J Agric Food Chem* 50: 4959-4964.
 29. Kim JH, Park JH, Park SD, Choi SY, Seong JH, Moon KD. 2002. Preparation and antioxidant activity of health drink with extract powders from safflower (*Carthamus tinctorius* L.) seed. *Korean J Food Sci Technol* 34: 617-624.
 30. Kim EO, Oh JH, Lee KT, Im JG, Kim SS, Suh HS, Choi SW. 2008. Chemical compositions and antioxidant activity of the colored rice cultivars. *Korean J Food Preserv* 15: 118-124.
 31. Ko MR, Choi HJ, Han BK, Yoo SS, Kim HS, Choi SW, Hur NY, Kim CN, Kim BY, Baik MY. 2011. Antioxidative components and antioxidative capacity of brown and black rices. *Food Eng Prog* 15: 195-202.
 32. Song YE, Lee DR, Cho SH, Lee KK, Lee JH, Song YJ, Jeung JS. 2012. Effect of different cultivation region, transplanting and harvesting date on yield and quality of "Shinongheugchal", "Shinmyeongheugchal". *Korean J Crop Sci* 57: 248-253.
 33. Goufo P, Trindade H. 2014. Rice antioxidants: phenolic acids, flavonoids, anthocyanins, proanthocyanidins, tocopherols, tocotrienols, γ -oryzanol, and phytic acid. *Food Sci Nutr* 2: 75-104.
 34. Seo WD, Kim JY, Han SI, Ra JE, Lee JH, Song YC, Park MJ, Kang HW, Oh SK, Jang KC. 2011. Relationship of radical scavenging activities and anthocyanin contents in the 12 colored rice varieties in Korea. *J Korean Soc Appl Biol Chem* 54: 693-699.
 35. Pengkumsri N, Chaiyasut C, Saenjum C, Sirilun S, Peerajan S, Suwannalert P, Sirisattha S, Sivamaruthi BS. 2015. Physicochemical and antioxidative properties of black, brown and red rice varieties of northern Thailand. *Food Sci Technol* 35: 331-338.
 36. Chae JC, Lee DJ, Jun DK, Ryu SN. 2003. Effect of ripening temperature on anthocyanin cyanidin-3-glucoside contents of pigmented rice variety Heuginjubyeo. Abstract No PD25 presented at Spring Meeting of the Korean Society of Breeding Science. Jeju, Korea.
 37. Kim EJ, Lee SY, Park JS, Lee CY, Lee YS, Lee JK, Hong ST, Kim YS, Lim SC, Ji JJ, Song BH. 2013. A new high yielding and quality with blackish pigmented glutinous rice variety, 'Cheongpungheukchal'. *Korean J Breed Sci* 45: 268-272.
 38. Yang CI, Lee KS, Choi YH, Jung KH, Jung OY, Hwang HG, Lee JH, Kim HY, Hong HC, Lee SB, Lee YT, Yang SJ, Kang KH, Cho YC, Kim SL. 2011. A new reddish brown color rice cultivar 'Hongjinju'. *Kor J Breed Sci* 43: 513-518.
 39. Seo SJ, Choi Y, Lee SM, Kong S, Lee J. 2008. Antioxidant activities and antioxidant compound of some specialty rices. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 37: 129-135.
 40. Kim YH, Lee YJ, Park SO, Lee SJ, Lee OH. 2013. Antioxidant compounds and antioxidant activities of fermented black rice and its fractions. *Korean J Food Sci Technol* 45: 262-266.
 41. Villaño D, Fernández-Pachón MS, Moyá ML, Troncoso AM, García-Parrilla MC. 2007. Radical scavenging ability of polyphenolic compounds towards DPPH free radical. *Talanta* 71: 230-235.
 42. Kang YH, Park YK, Lee GD. 1996. The nitrite scavenging and electron donating ability of phenolic compounds. *Korean J Food Sci Technol* 28: 232-239.