

벼 품종별 도정 부산물 에탄올 추출물의 항산화 성분 및 항산화 효과 - 연구노트 -

오세관^{1*} · 김대중¹ · 천아름¹ · 윤미라¹ · 김기종¹ · 이준수² · 홍하철¹ · 김연규¹

¹농촌진흥청 국립식량과학원

²충북대학교 식품공학과

Antioxidant Compounds and Antioxidant Activities of Ethanol Extracts from Milling By-products of Rice Cultivars

Sea-Kwan Oh^{1*}, Dae-Jung Kim¹, A-Reum Chun¹, Mi-Ra Yoon¹, Kee-Jong Kim¹,
Jun-Soo Lee², Ha-Cheol Hong¹, and Yeon-Kyu Kim¹

¹National Institute of Crop Science, Rural Development Administration, Gyeonggi 441-857, Korea

²Dept. of Food Science and Technology, Chungbuk National University, Chungbuk 361-763, Korea

Abstract

This study was conducted to determine antioxidant compounds and antioxidative activities of by-products including rice bran and half-crashed rice by rice milling. DPPH, ABTS radical scavenging activities and reducing power have been used to investigate the relative antioxidative activities of 70% EtOH extracts from by-products. The contents of total polyphenol, total flavonoid and γ -oryzanol in EtOH extracts were measured by spectrophotometric methods, and vitamin E was carried out by HPLC. Ethanol extract from rice bran showed markedly antioxidative activity than that from half-crashed rice. Among EtOH extracts from milling by-products, rice bran of 'Hongjiju' tended to have the most effective antioxidative activity compared to the others. These results suggested that by-products of rice milling have the potent antioxidative activity and these activity are partly due to the antioxidative compounds present in by-products including rice bran and half-crashed rice.

Key words: by-product, antioxidant compound, antioxidant activity, rice bran, half-crashed rice.

서 론

최근 사회전반에 걸쳐 일어나고 있는 웰빙 붐을 타고 건강에 대한 관심이 높아지면서 천연 유래의 건강식품에 대한 수요가 급격히 증가하고 보다 영양성과 기능성이 강화된 여러 형태의 제품 개발이 요구되어지고 있다. 특히 고도로 발달된 산업화 사회에서 각종 환경오염으로 인하여 생체 내 지질과 산화, DNA 손상 및 단백질 산화 등으로 세포노화, 동맥경화, 당뇨병, 암, 아토피성 피부염이 발생되며 각종 성인병 질환의 원인으로 알려진 활성산소(free radical)도 생성된다. 이로 인하여 발생할 수 있는 피해를 줄이기 위하여 천연 항산화제의 개발 연구가 활발히 진행 중에 있다. 현재 *tert*-butylhydroxyanisol(BHA) 및 *tert*-butylhydroxytoluene(BHT)와 같은 합성 항산화제는 탁월한 효과와 경제성 때문에 많이 사용되고 있지만 인체에 대한 안전성 문제로 α -tocopherol, vitamin C, flavonoid, carotenoid 등과 같은 천연 항산화제에 관심이 모아지고 있다. 하지만 이러한 천연 항산화제는 합성 항산화제보다 안전하고 효과가 뛰어나지

만 가격이 비싼 단점을 갖고 있어 경제성을 갖는 천연물 소재를 찾으려는 노력이 활발히 이루어지고 있다(1-3).

우리나라에서는 세계적으로 중요한 식량 자원 중의 하나인 쌀을 주식으로 삼고 있으며 이로부터 인체 활동에 필요한 다양한 영양분을 공급받는다. 벼 도정 시 부산물인 미강은 현미의 약 7% 정도이며 벼 품종, 재배환경, 도정 방법 등 여러 요인에 따라 달라질 수 있다. 쌀에 포함되어 있는 미강(쌀겨)의 주성분은 수분함량 14%를 기준으로 할 때 조단백질 11~15%, 조지방질 15~20%, 탄수화물 34~52% 정도 함유하고 있다. 미강은 연간 60만 톤 정도 생산되는 것으로 추정되며 그중 극히 일부만이 미강유로 제조되고 대부분은 판매하기 쉽고 저장이 어려워 식품으로 소비되기보다는 사료용이나 농산폐기물로 처리되고 있다(4,5). 쌀겨의 경우 많은 영양성분이 포함되어 있음에도 불구하고 가공 이용성이 낮고 쌀에 포함되어 있을 경우 식미에 나쁜 영향을 미치기 때문에 식품이나 소재 개발에 필요한 가공적성과 이용성 구명이 요구되어지고 있다. 또한 식생활의 다양화와 고급화로 인한 쌀 소비량 감소로 파잉 생산의 문제, 식품의

*Corresponding author. E-mail: ohskwan@korea.kr
Phone: 82-31-290-6722, Fax: 82-31-290-6782

기호성 증진을 위해 더욱 정교해지는 곡류의 도정 과정으로 인해 미강의 발생량은 계속 증가될 것이며 그 외 부산물인 벚짳, 왕겨 등의 처리도 관심을 가져야 할 부분이다(6). 일반적으로 현미의 배유부분에는 전분이 많으며 외피부분(미강층)에는 식이섬유, 비타민류, 미네랄 성분들 외에 phytic acid, γ -oryzanol 등과 같은 항산화 물질 등 다양한 생리활성 물질들이 존재하고 있다(7). 그중 vitamin E는 천연 항산화제로 쌀의 배아 및 미강층에 상당히 함유되어 있으며 혈중 콜레스테롤을 저하시켜 만성질환의 예방에 효과적인 것으로 보고되어지고 있다(8). 최근 쌀겨 추출물의 변이원성 억제 효과(9), 간암 세포주와 자궁경부암 세포주에 대한 항암 활성(6), 혈중 콜레스테롤 저하 효과(10), 항산화 효과(11,12), 혈압 상승 억제 효과(13,14) 및 염증 반응 억제 활성(15) 등 다양한 생리적 기능에 대한 연구가 보고되어 왔다. 또한 본 연구에서 사용되어진 삼광벼와 일품벼는 국내육성 최고 품질벼 품종으로서 밥맛이 우수한 품종이며 설겅벼는 양조용과 홍국균쌀 및 황국균쌀 제조용으로 이용되는 품종으로서 1991년 일품벼 돌연변이 유기 계통 중 선발된 품종이다. 2005년 개발된 큰눈벼는 눈이 일반벼보다 3배 이상 커서 뇌세포 간에 신경전달 물질(neurotransmitter)로 알려진 GABA(gamma-amino butyric acid)를 3~5배 정도 다량 포함하는 품종이며 화선찰벼는 양질의 찰벼 품종이다. 유색미로서 홍진주벼, 흑광벼, 그리고 녹미벼를 사용하였으며 그중 적갈색미인 홍진주벼는 폴리페놀과 같은 기능성 물질을 다량 함유하고 있는 품종이고, 흑자색의 흑광벼는 안토시아닌 함량(C3G)이 강화된 품종이며 녹미벼는 현미의 색이 녹색으로 과피, 종피의 부분에 녹색계 색소를 포함하고 있는 품종이다. 이러한 유색미 품종들은 제과용이나 혼반용 등 가공용으로도 사용되고 있다. 또한 2009년 새롭게 육성된 계통인 하이아미벼는 기존 품종에 비하여 필수아미노산 함량이 30% 정도 높은 품종이다. 따라서 본 연구에서는 새롭게 육성되어진 벼 품종들의 도정 부산물에 다량 함유된 유용 성분 및 생리활성 성분 등에 대한 연구의 일환으로 항산화 성 물질을 탐색하고 평가함으로써 새로운 식품의 연구개발로 우수한 고부가가치가 증대된 식품소재를 개발코자 하는 기초 자료로 제공하려 한다.

재료 및 방법

실험재료 및 시약

본 연구에 사용된 시료는 2008년에 농촌진흥청 국립식량과학원에서 재배, 수확된 삼광벼(*Oryza sativa* cv. *Samkwangbyeol*), 설겅벼(*Oryza sativa* cv. *Seolgaengbyeol*), 화선찰벼(*Oryza sativa* cv. *Hwaseonchalbyeol*), 큰눈벼(*Oryza sativa* cv. *Keunnunbyeol*), 홍진주벼(*Oryza sativa* cv. *Hongjinjubyeol*), 흑광벼(*Oryza sativa* cv. *Heugkwangbyeol*), 일품벼(*Oryza sativa* cv. *Ilpumbyeol*), 하이아미

(*Oryza sativa* cv. *Haiami*), 녹미벼(*Oryza sativa* cv. *Nokmibyeol*)를 사용하였다. 본 연구에서 항산화 성분 분석과 항산화 활성 측정에 사용된 시약으로 Folin-Ciocalteu reagent, gallic acid, (+)-catechin hydrate, ABTS(2,2'-azino-bis-3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid), L-ascorbic acid, DPPH(1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl) 등은 Sigma-Aldrich Co.(St. Louis, MO, USA) 제품을, vitamin E 분석을 위한 methanol, isopropanol, DIW, *n*-hexane 등은 J. T. Baker(Phillipsburg, NJ, USA) 제품을 사용하였으며 그 밖에 사용된 추출용매 및 모든 시약은 특급 시약을 사용하였다.

시료 및 추출물 제조

실험 전까지 냉장 보관된 정조를 제현기(Model SY88-TH, Ssangyong Ltd., Incheon, Korea)를 이용하여 왕겨를 분리하고 도정기(Model MC-90A, Wakayama Co. Ltd., Wakayama, Japan)를 이용하여 백미(white rice)를 제조하였다. 현미(brown rice)를 백미로 도정하는 과정 중 발생하는 미강(rice bran)과 백미를 2.0 mm mesh체(No. 10)를 통과시켜서 빠져나온 찌라기(half-crushed rice)를 본 연구의 재료로 사용하였다.

제조된 시료는 분쇄기(Micro hammer-cutter mill, Type-3, MHK Trading Co., Bucheon, Korea)로 분쇄하여 80 mesh 체에 완전히 통과시킨 시료만을 70% ethanol을 가한 뒤 상온에서 24시간 교반하면서 유용 성분들을 추출하였다. 추출 후 고형분은 Whatman No. 2 여과지를 이용하여 잔류물을 제거하고 상정액은 회전진공농축기(Model N-1000, EYELA, Tokyo, Japan)를 사용하여 40°C에서 감압 농축하여 용매를 제거하였다. 남아 있는 물은 냉동건조(Modulyod-115, Thermo Electron Co., Waltham, MA, USA)를 통하여 수분을 완전히 제거하였다. 건조된 추출물은 수율 측정 후 -20°C 냉동고에 보관하면서 실험에 사용하였다.

항산화 성분 함량 측정

각 추출액의 total polyphenol 함량은 Velioglu 등(16)의 방법에 따라 측정하였다. 즉, 100 μ L 추출액에 2% Na_2CO_3 용액 2 mL를 가한 후 3분간 방치시키고 50% Folin-Ciocalteu reagent 100 μ L를 가하였다. 30분 후 750 nm에서 흡광도 값을 측정하였고, 0.1% gallic acid를 표준물질로 사용하여 표준 검량선을 작성한 후 추출물의 total polyphenol 함량은 mg gallic acid equivalent per 100 g sample로 나타내었다.

Total flavonoid 함량은 Jia 등(17)의 방법을 약간 변형하였다. 즉, 각 추출액 250 μ L에 증류수 1.25 mL를 가하고 5% NaNO_2 용액 75 μ L를 넣고 5분간 방치하였다. 10% $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 용액 150 μ L를 가하고 다시 6분간 방치하였다. 위 반응액에 1 M NaOH 500 μ L와 증류수 275 μ L를 가한 후 510 nm에서 흡광도를 측정하였다. 표준물질은 (+)-catechin

hydrate를 사용하여 표준 검량선을 작성 후 추출물의 total flavonoid 함량은 시료 100 g 중의 μg (+)-catechin hydrate로 나타내었다.

시료의 tocopherol 및 tocotrienol 함량은 Lee와 Lee(18)의 방법에 따라 측정하였다. 약 2~3 g의 시료를 취하여 약 80°C의 물 4 mL, 10 mL 2-propanol, 5 g MgSO_4 를 첨가한 후 추출용매 20 mL을 넣고 2분간 균질화시켰다. 이 시료를 여과시킨 후 0.01% BHT, 15% ethylacetate가 포함된 *n*-hexane으로 재추출하여 여과 후 100 mL로 정용하였다. 2 mL을 취한 후 질소 가스로 완전 농축하고, 1 mL의 *n*-hexane으로 녹인 다음 0.22 μm nylon membrane filter(MSI Inc., Westboro, MA, USA)로 여과한 다음 순상 HPLC(Younglin Inc., Seoul, Korea)로 분석하였다. Column은 Merck사로부터 구입한 LiChrosphere Diol 100(250×4 mm i.d. 5 μm , Hibar Fertigsaupe RT, Darmstadt, Germany)을 사용하였고 검출기는 형광검출기(Linear instruments, Thermo Separation Products Inc., San Jose, CA, USA)로 파장은 excitation wavelength 290 nm, emission wavelength 330 nm에서 검출하였으며, 이동상은 *n*-hexane과 isopropanol을 99:1(v/v)로 혼합하여 1 mL/min의 속도로 하고 추출물 20 μL 를 주입하여 분석하였다. 각각의 유도체를 분리·정량하여 mg/100 g sample로 나타내었다.

시료의 γ -oryzanol 함량은 Lilitchan 등(19)의 방법에 따라 측정하였다. 표준물질로는 Wako Pure Chemical Inc. (Osaka, Japan)의 γ -oryzanol을 사용하였으며 표준 검량선은 3~20 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 사이의 값을 사용하였다.

총 항산화력 측정

총 항산화력 측정은 Re 등(20)의 ABTS radical 소거능에 따라서 측정하였다. 즉, 7.4 mM ABTS와 2.6 mM potassium persulfate 용액을 혼합하여 하루 동안 암소에 방치하여 $\text{ABTS}^{\cdot+}$ 를 형성시킨 후 이 용액을 734 nm에서 흡광도 값이 1.4~1.5가 되도록 물 흡광계수($\epsilon=3.6 \times 10^4 \text{ M}^{-1}\text{cm}^{-1}$)를 이용하여 증류수로 희석하였다. 희석된 $\text{ABTS}^{\cdot+}$ 용액 1 mL에 희석된 추출액 50 μL 를 가하여 흡광도의 변화를 정확히 30분 후에 측정하였으며, 표준물질로서 L-ascorbic acid를 이용하여 표준곡선을 작성한 후 시료의 항산화력(AEAC, mg ascorbic acid equivalent antioxidant capacity)으로 나타내었다.

환원력은 Mau 등(21)의 방법에 따라 측정하였다. 추출물 250 μL 에 동량의 0.2 M sodium phosphate buffer(pH 6.6), 1% potassium ferricyanide를 각각 가하고 이 혼합물을 50°C에서 20분간 반응시킨 후 250 μL 1% trichloroacetic acid (TCA, w/v) 용액을 가하였다. 위 반응액을 1,000 rpm에서 10분간 원심분리 하여 상침액 500 μL 와 증류수 500 μL , 100 μL 0.1% ferric chloride 용액을 넣고 잘 혼합하여 700 nm에서 흡광도를 측정하였다.

DPPH radical 소거활성은 Kim 등(22)의 방법을 변형하여 측정하였다. 시료 0.2 mL에 0.2 mM DPPH 용액 0.8 mL를 가한 후, 520 nm에서 정확히 30분 후에 분광광도계(UV-1650PC, Shimadzu, Kyoto, Japan)를 이용하여 흡광도의 변화를 측정하였다. 이때 전자공여능은 시료 첨가구와 비첨가구의 흡광도 차이를 백분율(%)로 구하였다.

결과 및 고찰

70% 에탄올 추출물의 항산화 성분

각 품종별 추출 수율은 Table 1에 나타냈으며 미강과 싸라기의 순서로 삼광벼 13.40, 0.45%, 설광벼 12.66, 0.98%, 화선찰벼 18.99, 0.96%, 큰눈벼 18.04, 1.25%, 흥진주벼 17.64, 0.78% 흑광벼 15.12, 0.59%, 일품벼 13.64, 0.70%, 하이아미 14.90, 0.95% 그리고 녹미벼 13.61, 1.41%를 나타내어 미강에서는 화선찰벼가 싸라기에서는 녹미벼의 추출 수율이 높았다. 또한 싸라기 추출물보다는 미강 추출물에서 높은 값의 수율을 보여주었다.

곡류에 함유되어 있는 항산화 물질 중 polyphenolic 화합물들은 분자 내 phenolic hydroxyl기가 효소 단백질과 같은 거대분자들과 결합하는 성질 등에 의해 항산화, 심혈관 질환, 암, 골다공증 및 당뇨병 등에 효과가 있는 것으로 알려져 있다(23,24). 본 실험에서 total polyphenol 화합물의 함량(mg gallic acid equivalents/g of sample)을 측정한 결과 미강일 경우 흥진주벼에서 55.52 mg으로 가장 높은 수치를 나타냈으며 다음으로 흑광벼 23.68 mg, 화선찰벼 10.77 mg, 삼광벼 9.25 mg, 일품벼 9.23 mg, 하이아미 7.65 mg, 설광벼 7.47 mg, 녹미벼 6.44 mg, 큰눈벼 5.70 mg 순이었으며 싸라기일 경우 큰눈벼가 0.59 mg으로 가장 높은 수치를 나타내었다. 다음으로는 화선찰벼, 흥진주벼, 설광벼, 하이아미, 녹미벼, 일품벼, 흑광벼, 삼광벼 순으로 싸라기보다는 미강에서 total polyphenol 함량이 월등히 높았으며 품종으로는 흥진주벼에서 가장 높다는 것을 알 수 있었다. Kong 등(25)의 보고에서 흑광벼 미강 메탄올 추출물의 total polyphenol 함량이 32.87 mg에 비하면 낮은 수치를 나타내었다. 이는 곡류에서의 항산화 성분들의 추출은 이들 항산화 성분들의 추출 용매에 대한 용해도 차이로 인해 발생될 수 있으며 특히 메탄올 추출용매일 경우 그 추출물의 항산화 활성 및 항산화 성분 함량이 높은 것으로 보고되어 본 실험의 추출용매인 70% 에탄올과의 차이로 인하여 낮은 수치를 나타내는 것으로 사료된다(25,26)(Table 1). 본 연구에서 사용되어진 추출용매인 에탄올과 물의 혼합용액은 일반적으로 식품산업에서 많이 사용되어지고 있으며 다른 용매들에 비하여 인체에 안정하기 때문에 추출용매로 선택되어졌다.

폐놀계 화합물의 일종인 total flavonoid 함량(μg (+)-catechin equivalents/g of sample)은 미강과 싸라기 순으로 삼광벼 1326.2와 25.5 μg , 설광벼 1242.1과 40.63 μg , 화선찰벼

Table 1. Antioxidant compounds and extraction yields of 70% ethanol extracts from milling by-products of rice cultivars

Cultivar	EtOH extract	Polyphenolics ¹⁾	Flavonoids ²⁾	γ -Oryzanol ³⁾	Yield (%)
Samkwang	Rice bran	9.25±0.22	1326.2±114.03	322.9±26.2	13.40
	Half-crushed rice	0.17±0.003	25.5±0.59	4.6±0.6	0.45
Seolgaeng	Rice bran	7.47±0.10	1242.1±145.02	211.9±11.3	12.66
	Half-crushed rice	0.39±0.016	40.63±2.68	6.6±0.7	0.98
Hwaseonchal	Rice bran	10.77±0.34	917.8±130.73	271.1±16.6	18.99
	Half-crushed rice	0.45±0.014	42.87±5.02	8.7±1.3	0.96
Keunnun	Rice bran	5.70±0.03	458.5±101.06	230.2±16.5	18.04
	Half-crushed rice	0.59±0.011	54.35±5.19	15.2±1.2	1.25
Hongjinju	Rice bran	55.52±1.31	15198.7±325.31	344.7±12.8	17.64
	Half-crushed rice	0.44±0.007	112.30±3.99	4.7±1.4	0.78
Heugkwang	Rice bran	23.68±0.34	5323.4±142.17	312.7±1.3	15.12
	Half-crushed rice	0.23±0.008	34.64±1.12	4.9±1.1	0.59
Ilpum	Rice bran	9.23±0.10	963.4±67.67	364.2±21.6	13.64
	Half-crushed rice	0.29±0.008	75.64±0.62	4.7±0.3	0.70
Haiami	Rice bran	7.65±0.11	990.1±19.38	435.7±3.0	14.90
	Half-crushed rice	0.38±0.011	33.92±1.68	9.3±1.7	0.95
Nokmi	Rice bran	6.44±0.19	794.2±80.42	341.2±15.8	13.61
	Half-crushed rice	0.35±0.014	18.12±1.88	6.8±0.5	1.41

¹⁾Mean of triplicate determinations expressed as mg gallic acid equivalents per 1 g of sample (wet weight basis).
²⁾Mean of triplicate determinations expressed as μ g (+)-catechin equivalents per 1 g of sample (wet weight basis).
³⁾Mean of triplicate determinations expressed as mg per 100 g of sample (wet weight basis).

917.8과 42.87 μ g, 큰눈벼 458.5와 54.35 μ g, 흥진주벼 15198.7과 112.30 μ g, 흑광벼 5323.4와 34.64 μ g, 일품벼 963.4와 75.64 μ g, 하이아미 990.1과 33.92 μ g, 녹미벼 794.2와 18.12 μ g으로 조사되었으며 품종 중 미강과 싸라기에서 가장 높은 함량을 보여준 것은 흥진주벼이었다(Table 1). 이전 연구(25)에서 보고된 흑광벼 미강의 total flavonoid 함량은 1039.1 (+)-catechin mg/100 g sample의 함량을 보고하였다. 혈청 콜레스테롤 개선, HDL 콜레스테롤 증가와 같은 항산화 활성을 나타내는 γ -oryzanol은 10개 이상의 phyto-steryl ferulate의 혼합물로서 쌀 내에서는 주로 미강층에 많이 존재한다(27). 품종별 γ -oryzanol 함량은 미강은 하이아미에서 435.7 mg/100 g으로 싸라기에서는 큰눈벼가 15.2 mg/100 g sample로서 가장 많이 나타났으며 그 다음으로는 미강은 일품벼, 흥진주벼, 녹미벼, 삼광벼, 흑광벼, 화선찰벼, 큰눈벼 및 설갱벼 순이었으며, 싸라기일 경우에는 하이아미, 화선찰벼, 녹미벼, 설갱벼, 흑광벼, 흥진주벼, 일품벼 및 삼광벼 순이었다(Table 1).

품종별 미강과 싸라기에 함유된 tocopherol과 tocotrienol 함량은 Table 2에 나타내었으며 순상 HPLC를 통해 8가지 유도체를 분리·정량하여 mg/100 g으로 나타내었다. 미강과 싸라기에 함유된 주요 tocopherol은 α -tocopherol이었으며 미강은 큰눈벼를 제외한 모든 품종에서 α -, γ -tocopherol(T)과 tocotrienol(T3)이 검출되었으며 모든 품종의 싸라기에서는 α -tocopherol만이 검출되었다. 일품벼 미강층의 total vitamin E 함량은 22.29 mg으로 다른 품종보다 높은 함량을 나타내었으며 품종별 싸라기의 vitamin E 함량은 0.38 mg 이하였다. 이전의 연구에서 천연 항산화제로 알려

진 vitamin E는 식물로부터 합성되어지고 세포막내 불포화 지방산의 산화를 방지하고 혈중 콜레스테롤을 저하시킴으로써 만성질환의 예방에 효과적이라고 보고되어져 있다(8,28).

70% 에탄올 추출물의 항산화 활성

품종별 미강과 싸라기의 70% 에탄올 추출물에 대한 ABTS cation decolorization assay 방법을 이용한 총 항산화력의 측정은 mg AEAC(ascorbic acid equivalent antioxidant activity)/100 g sample 값으로 산출하였으며 Fig. 1(A, B)에서 보는 바와 같다. 미강과 싸라기의 순으로 삼광벼 485.6과 6.1 mg AEAC, 설갱벼 326.5와 15.9 mg AEAC, 화선찰벼 598.9와 33.7 mg AEAC, 큰눈벼 137.8과 21.2 mg AEAC, 흥진주벼 3797.2와 21.3 mg AEAC, 흑광벼 1633.4와 4.3 mg AEAC, 일품벼 490.1과 9.2 mg AEAC, 하이아미 369.1과 12.6 mg AEAC, 녹미벼 301.8과 4.2 mg AEAC가 측정되었다. 이 결과에서 AEAC 값이 가장 높은 흥진주벼일 경우 미강 100 g당 ascorbic acid 3797.2 mg, 화선찰벼일 경우 싸라기 100 g당 ascorbic acid 33.7 mg과 동일한 항산화력을 지니는 것으로 해석할 수 있다. 이는 항산화 성분과 항산화 활성 간의 상관관계에 대하여 보고한 Seo 등(28), Choi 등(29)의 연구에서와 같이 본 실험의 미강에 다량 포함되어 있는 polyphenolic 화합물로 인하여 높은 활성을 나타내는 것으로 사료된다. DPPH radical 소거능을 이용한 측정 결과는 Fig. 1(C)에 나타내었다. 흥진주벼 미강층에서 90% 정도를 보여주었으며 다음으로는 흑광벼 미강층에서 82.89%를 나타내어 다른 품종 미강(9.91~34.58%)과 싸라기(5.49~

Table 2. Tocopherol and tocotrienol contents¹⁾ of 70% ethanol extracts from milling by-products of rice cultivars

Cultivar	EtOH extract	α -T ²⁾	β -T	γ -T	δ -T	α -T3	β -T3	γ -T3	δ -T3	Total
Samkwang	Rice bran	8.37	— ³⁾	1.58	—	5.36	—	TA ⁴⁾	—	15.31
	Half-crushed rice	0.34	—	—	—	—	—	—	—	0.34
Seolgaeng	Rice bran	6.12	—	2.81	—	4.83	—	TA	—	13.76
	Half-crushed rice	TA	—	—	—	—	—	—	—	TA
Hwaseonchal	Rice bran	7.13	—	3.67	—	4.92	—	TA	—	15.72
	Half-crushed rice	0.36	—	—	—	—	—	—	—	0.36
Keunnun	Rice bran	7.35	—	—	—	3.98	—	—	—	11.33
	Half-crushed rice	0.38	—	—	—	—	—	—	—	0.38
Hongjinju	Rice bran	7.64	—	3.69	—	5.73	—	TA	—	17.06
	Half-crushed rice	TA	—	—	—	—	—	—	—	TA
Heugkwang	Rice bran	6.67	—	2.10	—	5.11	—	0.98	—	14.86
	Half-crushed rice	TA	—	—	—	—	—	—	—	TA
Ipum	Rice bran	9.29	—	1.26	—	8.42	—	3.32	—	22.29
	Half-crushed rice	TA	—	—	—	—	—	—	—	TA
Haiami	Rice bran	6.80	—	3.35	—	4.78	—	TA	—	14.93
	Half-crushed rice	0.24	—	—	—	—	—	—	—	0.24
Nokmi	Rice bran	6.60	—	0.59	—	7.65	—	TA	—	14.84
	Half-crushed rice	0.23	—	—	—	—	—	—	—	0.23

¹⁾Mean of duplicate determinations expressed as mg per 100 g of sample.

²⁾Corresponding tocopherols (T) and tocotrienols (T3).

³⁾Not detected.

⁴⁾Trace amount (TA).

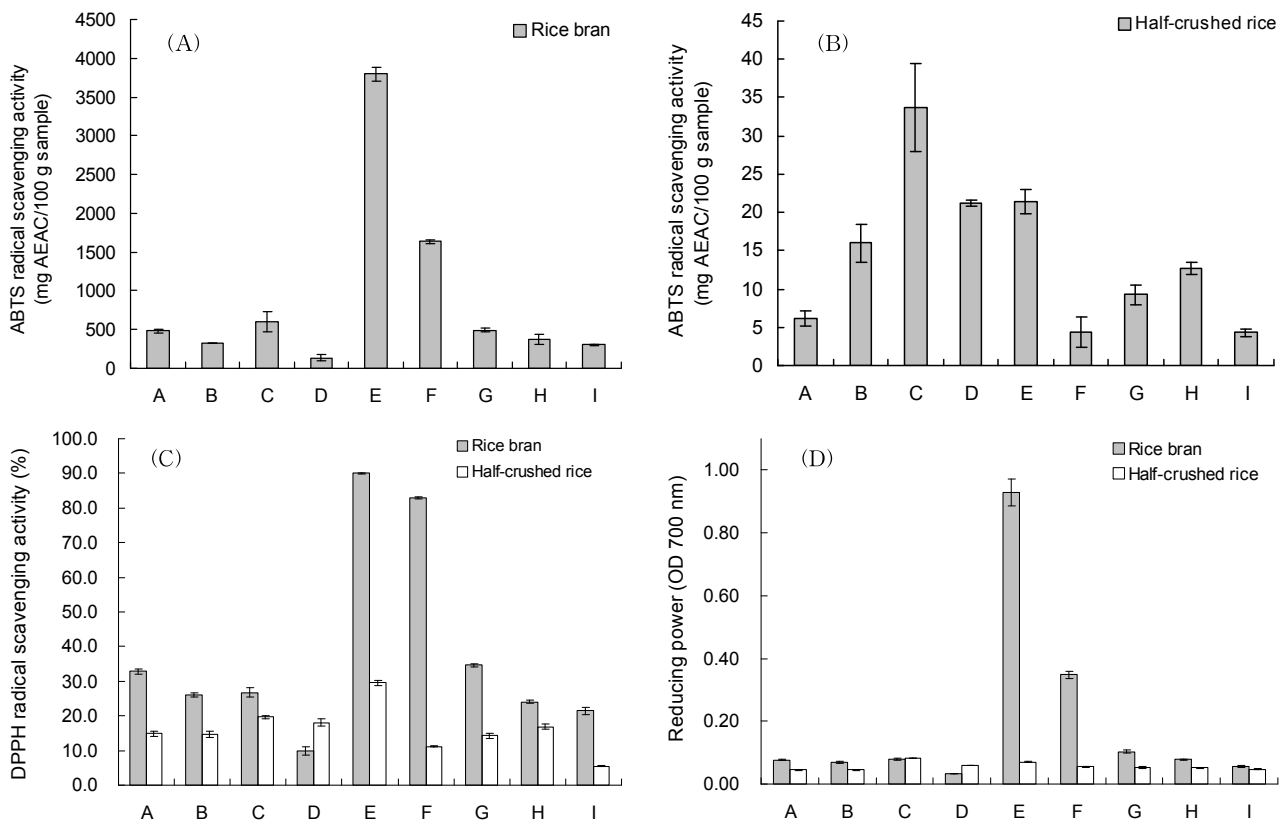


Fig. 1. ABTS (A, B), DPPH (C) radical scavenging activity and reducing power (D) of 70% ethanol extracts (1 mg/mL) from by-products of rice cultivars. Each value represents the mean of triplicate measurements of analyzed sample. A, Samkwang; B, Seolgaeng; C, Hwaseonchal; D, Keunnun; E, Hongjinju; F, Heugkwang; G, Ipum; H, Haiami; I, Nokmi.

29.54%)보다 월등히 높은 소거능을 나타내었다. 이는 본 실험에서 측정되지는 않았지만 유색미로서 미강층에 anthocyanin을 포함하여 다량의 항산화 활성 물질이 함유되어 있는 것과 상관이 있는 것으로 생각된다. 또한 쌀의 미강층에는 γ -oryzanol, phytic acid, carotenoid, polyphenol 등과 같은 항산화 활성을 나타내는 성분이 존재(30)하거나 유색미에 다량 함유되어 있는 것으로 보고되어져 있다(31). 품종별 부산물의 70% 에탄올 추출물(1 mg/mL)의 환원력을 측정된 결과 Fig. 1(D)에 나타내었으며 미강에서는 홍진주벼 ($A_{700}=0.93$), 싸라기에서는 화선찰벼($A_{700}=0.08$)가 나머지 품종(미강: $A_{700}=0.03\sim 0.35$, 싸라기: $A_{700}=0.05\sim 0.07$)에 비해 높은 환원력을 나타내었다. 이는 총 항산화력과 마찬가지로 polyphenolic 화합물로 인하여 높은 활성을 나타내는 것으로 생각되어진다.

요 약

본 연구에서는 여러 품종(삼광벼, 설갱벼, 큰눈벼, 화선찰벼, 홍진주벼, 흑광벼, 일품벼, 하이아미 및 녹미벼)의 도정부산물인 미강(쌀겨)과 식미에 나쁜 영향을 주어 이용되지 않는 싸라기에 대한 70% 에탄올 추출물의 항산화 성분(polyphenol, flavonoid, vitamin E, γ -oryzanol)과 항산화 활성(ABTS 라디칼 소거능, DPPH 라디칼 소거능, 환원력)을 비교·분석하여 기능적 가치를 평가함으로써 이용 가능성을 살펴보고자 하였다. 품종별 미강과 싸라기의 항산화 성분을 측정된 결과 유색미인 홍진주벼에서 vitamin E(일품벼)를 제외하고는 항산화 성분이 가장 높게 측정되었으며, 더불어 흑광벼에서도 상당한 항산화 성분이 함유되어 있음을 알 수 있었다. 또한 싸라기 추출물보다는 미강 추출물에서 높은 함량의 항산화 성분이 분포함을 알 수 있었다. 항산화 활성 측정 결과 항산화 성분이 다량 포함되어 있는 미강 추출물에서 높았으며, 그중 홍진주벼 추출물에서 가장 높은 활성을 나타내었다. 본 연구결과 유색미인 홍진주를 비롯하여 흑광벼의 미강은 기능성식품의 성분으로 활용 가능할 것이며 이를 통한 품종별 쌀의 기초 자료를 제공할 수 있을 것이라 생각된다.

문 헌

1. Bae SM, Kim JH, Cho CW, Jeong TJ, Ha JU, Lee SC. 2001. Effect of microwave treatment on the antioxidant activity of rice processed by-products. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 30: 1026-1032.
2. Halliwell B. 1996. Antioxidants in human health and disease. *Annu Rev Nutr* 16: 33-49.
3. Morrissey PA, O'Brien NM. 1998. Dietary antioxidants in health and disease. *Int Dairy J* 8: 463-472.
4. Lee YH, Moon TW. 1994. Composition, water-holding capacity and effect on starch retrogradation of rice bran dietary fiber. *Korean J Food Sci Technol* 26: 288-294.

5. Kim YH, Kang CS, Lee YS. 2004. Quantification of tocopherol and tocotrienol content in rice bran by near infrared reflectance spectroscopy. *Korean J Crop Sci* 43: 211-215.
6. Choi HI, Ye EJ, Kim SJ, Bae MJ, Yee ST, Park EJ, Park EM. 2006. Anticancer (*in vitro*) and antiallergy effects of rice bran extracts. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 35: 1297-1303.
7. Bae SM, Kim JH, Cho CW, Jeong TJ, Yook HS, Byun MW, Lee SC. 2002. Effect of γ -irradiation on the antioxidant activity of rice hull, rice bran and barley bran. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 31: 246-250.
8. Qureshi AA, Mo H, Packer L, Peterson DM. 2000. Isolation and identification of novel tocotrienols from rice bran with hypocholesterolemic, antioxidant and antitumor properties. *J Agric Food Chem* 48: 3130-3140.
9. Nam SH, Kang MY. 1997. *In vitro* inhibitory effect of colored rice bran extracts carcinogenicity. *Agric Chem Biotechnol* 40: 307-312.
10. Kahlon TS, Chow FI, Sayre RN, Betschart AA. 1992. Related articles cholesterol-lowering in hamsters fed rice bran at various levels, defatted rice bran and rice bran oil. *J Nutr* 122: 513-519.
11. Osawa T, Narashima R, Kawakishi S, Namaki M, Tashiro T. 1985. Antioxidative defense system in rice hull against damage caused by oxygen radicals. *Agric Biol Chem* 49: 3085-3087.
12. Lai P, Li KY, Lu S, Chen HH. 2009. Phytochemicals and antioxidant properties of solvent extracts from *Japonica* rice bran. *Food Chem* 117: 538-544.
13. Muramoto G, Kawamura S. 1991. Rice protein and anti-hypertensive peptide (angiotensin converting enzyme inhibitor) from rice. *Nippon Shokuhin Kogyo* 34: 18-26.
14. Lee KY, Kim JH, Son JR, Lee JS. 2001. Detection and extraction condition of physiological functional compounds from bran of Heugjinju rice (*Oryza sativa* L.). *Korean J Postharvest Sci Technol* 8: 296-301.
15. Choi SP, Kang MY, Nam SH. 2004. Inhibitory activity of the extracts from the pigmented rice brans on inflammatory reactions. *J Korean Soc Appl Biol Chem* 47: 222-227.
16. Velioglu YS, Mazza G, Cao L, Oomah BD. 1998. Antioxidant activity and total phenolics in selected fruit, vegetables, and grain products. *J Agric Food Chem* 46: 4113-4117.
17. Jia Z, Tang M, Wu J. 1999. The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals. *Food Chem* 64: 555-559.
18. Lee SM, Lee J. 2006. Tocopherol and tocotrienol contents of vegetable oils, margarines, butters, and peanut butters consumed in Korean diet. *Food Sci Biotechnol* 15: 183-188.
19. Lilitchan S, Tangprawat C, Aryasuk K, Krisnangkura S, Chokmoh S, Krisnangkura K. 2008. Partial extraction method for the rapid analysis of total lipids and γ -oryzanol contents in rice bran. *Food Chem* 106: 752-759.
20. Re R, Pellegrini N, Proteggente A, Pannala A, Yang M, Rice-Evans C. 1999. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radic Biol Med* 26: 1231-1237.
21. Mau JL, Lin IIC, Song SF. 2002. Antioxidant properties of several specialty mushrooms. *Food Res Int* 35: 519-526.
22. Kim DO, Lee KW, Lee HJ, Lee CY. 2002. Vitamin C equivalent antioxidant capacity (VCEAC) of phenolic phytochemicals. *J Agric Food Chem* 50: 3713-3717.
23. Scalbert A, Johnson IT, Saltmarsh M. 2005. Polyphenols: antioxidants and beyond. *Am J Clin Nutr* 81: 215S-217S.
24. Sakihama Y, Cohen MF, Grace SC, Yamasaki H. 2002. Plant phenolic antioxidant and prooxidant activities: phenolics-

- induced oxidative damage mediated by metals in plants. *Toxicology* 177: 67-80.
25. Kong SH, Choi YM, Lee SM, Lee JS. 2008. Antioxidant compounds and antioxidant activities of the methanolic extracts from milling fractions of black rice. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 37: 815-819.
 26. Oki T, Masuda M, Kobayashi M, Nishiba Y. 2002. Polymeric procyanidins as radical-scavenging components in red-hulled rice. *J Agric Food Chem* 50: 7524-7529.
 27. Woo KS, Jeong EG, Suh SJ, Yang CI, Jeong HS, Kim KJ. 2008. Antioxidant components and antioxidant activities of 70% ethanol extracts on *Suweon-511* and *Ipum* rice. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 37: 1223-1230.
 28. 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.
 29. Choi Y, Jeong HS, Lee J. 2007. Antioxidant activity of methanolic extracts from some grains consumed in Korea. *Food Chem* 13: 130-138.
 30. 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.
 31. 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.

(2010년 1월 11일 접수; 2010년 2월 22일 채택)