

벼 품종별 현미와 백미 70% 에탄올 추출물의 항산화 성분 및 항산화 효과 - 연구노트 -

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

¹농촌진흥청 국립식량과학원 답작과

²충북대학교 식품공학과

Antioxidant Compounds and Antioxidant Activities of the 70% Ethanol Extracts from Brown and Milled Rice by Cultivar

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

The objectives of this study were to determine various bio-active components from some brown rice and milled rice of some cultivars, as well as to assess their contribution to the radical scavenging linked-antioxidant activity. DPPH or ABTS radical scavenging activities, and reducing power have been used to investigate the relative antioxidant activities of 70% ethanol extracts. The contents of total polyphenol, total flavonoid, γ -oryzanol, and vitamin E in the extracts were also measured by spectrophotometric methods or HPLC. The antioxidant components and antioxidant activities of 70% ethanol extracts from brown rice were higher than those from milled rice. In addition, our results showed that the high level of antioxidant compounds was found in brown rice of Hongjinju, and the antioxidant activities of the 70% ethanol extracts from pigmented brown rices, such as Hongjinju and Heugkwang, were comparably higher than the others.

Key words: rice, antioxidant compound, antioxidant activity, vitamin E, γ -oryzanol

서 론

쌀은 세계적으로 주요한 당질 급원으로 다양한 영양분의 공급원은 아니지만 특히 아시아와 같이 쌀을 주식으로 하는 나라에서 쌀에 의존하는 영양분 비중 측면에서 중요한 주곡 작물이다(1). 최근 들어 쌀의 1차 기능인 에너지 공급원으로서는 뿐만 아니라 특유의 색과 향을 갖는 흑미, 적미, 녹미, 고아미 및 거대배아미 등 다양한 특수미가 개발되고 이에 대한 생리적 기능에 대한 연구가 진행되고 있다(2,3).

우리나라 식문화에서 없어서는 안 될 주곡인 쌀은 최근 서구화된 식문화로 인하여 1979년 1인당 135.6 kg/년 소모되어지던 양이 점점 감소하여 2002년 87.0 kg/년이었으며 2008년 우리나라 국민 한 사람당 쌀 소비량은 75.8 kg으로 감소하였다(4,5). 이는 맛벌이 부부 증가 및 핵가족화로 인하여 우리의 식문화가 밥과 반찬 위주인 한식문화에서 패스트푸드나 육류가 주된 요리인 서구화된 식단으로의 변화되기 때문으로 생각되어진다. 그러나 사회전반에 걸쳐 일어나고 있는 웰빙 붐을 타고 천연 유래의 건강기능성 식품에 대한 소비자

의 선호도 증대로 보다 영양성과 기능성이 강화된 새로운 쌀 품종의 개발이 요구되어지고 있다(6,7).

쌀에는 phytic acid, polyphenols, flavonoids, vitamins, γ -oryzanol, ferulic acid 및 식이섬유 등의 다양한 기능성 성분들이 함유되어 있으며, 이러한 성분들은 생체 내 우수한 기능을 나타낸다고 알려져 있다(8). 쌀의 항산화 활성 및 생리활성에 대한 연구로는 여러 가지 특수미, 유색미, 및 일반미 품종 추출물에 대한 우수한 항산화 활성(2,7,8), 자광도와 흑향미 같은 적미의 메탄올과 물 추출물에 대한 암세포 성장 억제 효과 및 항산화 활성(9), 시판 쌀에 대한 메탄올 추출물의 항혈전 및 항산화 활성(10), 거대배아미 및 유색미 추출물의 항산화 및 항변이원성(11,12), 유색미 쌀겨 추출물이 염증 반응에 미치는 효과를 백혈구가 분비하는 염증관련 산물인 histamine과 MMP(matrix metalloproteinase)의 분비를 저해하는 능력이 일반미보다 우수(13)하였으며, 미강 추출물의 항염증 활성과 항산화 활성(14), 미강 추출물의 항암효과 (*in vitro*) 및 항알레르기 효과(15) 등의 생리활성에 관한 보고가 주로 되고 있다. 이러한 생리활성 성분에 의한 기능성

*Corresponding author. E-mail: ohskwan@korea.kr
Phone: 82-31-290-6722, Fax: 82-31-290-6730

은 품종, 재배환경, 재배기술, 수확시기뿐만 아니라 수확 후 관리기술 등에 의해서 품질이 좌우된다(10). 또한 본 연구에서 사용되어진 삼광벼는 국내육성 최고품질 벼 품종으로서 수원 361호와 밀양 101호의 교배로 육성되었으며, 일품벼와 함께 밥맛이 우수한 품종이다. 설광벼는 1991년 일품벼 돌연변이 유기 계통 중 선발된 품종으로서 주로 양조용으로 사용되며 홍국균살 및 황국균살 제조용으로 많이 이용되고 있다. 또한, 2005년 개발된 큰눈벼는 눈이 일반벼보다 3배 이상 커서 glutamic acid로부터 합성되어지는 아미노산인 동시에 뇌세포 간에 신경전달 물질(neurotransmitter)로 알려진 GABA(γ -amino butyric acid)를 3~5배정도 다량 포함하는 품종이고 화선찰벼는 밀양 64호와 이리 355호(SR12192)의 교배에 의해서 육성되어진 품종으로서 양질의 찰벼 품종이다. 홍진주벼는 적갈색미이면서 폴리페놀과 같은 기능성 물질을 다량 함유하고 있는 품종이고, 흑광벼는 흑자색 유색미로서 안토시아닌 함량(C3G)이 강화된 품종으로 유색미인 두 품종은 제과용이나 혼반용 등 가공용으로 사용된다. 2009년 새롭게 육성된 품종인 하이아미는 진미벼와 계화벼의 교잡으로 필수아미노산 함량이 기존 품종에 비하여 30%정도 높으며 녹미는 우리 고유의 토종 찰쌀인 청랑미로 낱알의 색이 녹색인 품종이다. 따라서 본 연구에서는 새롭게 육성되어진 벼 품종들의 현미와 백미 70% 에탄올 추출물의 항산화 성분 함량과 항산화 활성을 측정하고 이들의 상관성을 비교·분석함으로써 식생활 개선, 품종 농가보급 및 항산화 관련 건강식품 개발 등 효율적인 이용 증진을 위한 기초 자료를 제공하고자 하였다.

재료 및 방법

실험재료 및 시약

본 연구에 사용된 시료는 2008년에 농촌진흥청 국립식량과학원에서 재배, 수확된 삼광벼(Samkwangbyeo), 설광벼(Seolgaengbyeo), 화선찰벼(Hwaseonchalbyeo), 큰눈벼(Keunnunbyeo), 홍진주벼(Hongjinjubyeo), 흑광벼(Heugkwangbyeo), 일품벼(Ilpumbyeo), 하이아미(Haiami), 녹미(Nokmi)를 사용하였다. 본 연구의 항산화 성분 분석과 항산화 활성 측정에 사용된 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(St. Louis, MO, USA) 제품을, tocopherol과 tocotrienol 분석을 위한 methanol, isopropanol, D.W., *n*-hexane 등은 J. T. Baker(Phillipsburg, NJ, USA) 제품을 사용하였다. 그 밖에 사용된 추출용매 및 모든 시약은 특급 시약을 사용하였다.

70% ethanol 추출물 제조

9 품종의 정조를 동일한 조건으로 체현기(model SY88-TH, Ssangyong Ltd., Incheon, Korea)를 이용하여 brown

rice(현미)를 만들고 이중 일부를 다시 도정기(model MC-90A, Toyo Co., Wakayama, Japan)로 도정하여 milled rice(백미)로 제조하였다. 시료는 분쇄기(Micro hammer-cutter mill, Type-3, MHK Trading Co., Bucheon, Korea)로 분쇄하여 80 mesh 체에 통과시키고 걸리는 것은 다시 분쇄하여 체에 완전히 통과시킨 후 시료로 사용하였다. 준비된 시료는 70% ethanol을 가한 뒤 상온에서 24시간 교반하면서 추출하였다. 추출 후 고형분은 Whatman No.2 여과지를 이용하여 잔사물을 분리하였고 상정액은 회전진공농축기(EYELA N-1000, Tokyo, Japan)를 사용하여 40°C에서 감압농축 후 냉동건조(Modulyod-115, Thermo Electron Co., Waltham, MA, USA)하였다. 건조된 추출물은 수율 측정 후 -20°C 냉동고에 보관하면서 실험에 사용하였다.

70% ethanol 추출물의 항산화 성분 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 흡광도를 측정하였고 표준물질로 0.1% gallic acid를 사용하여 표준 검량선을 작성하였다. 추출물의 total polyphenol 함량은 mg gallic acid equivalent per 1 g sample로 나타내었다.

Total flavonoid 함량은 Jia 등(17)의 방법을 약간 변형하였다. 즉, 각 추출액 250 μ L에 증류수 1.25 μ L를 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 작성하였으며, 추출물의 total flavonoid 함량은 시료 1 g 중의 μ g (+)-catechin hydrate로 나타내었다.

Tocopherol과 tocotrienol 함량 분석

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 균질화 시킨다. 이 시료를 여과시킨 후 0.01% BHT와 15% ethyl acetate가 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 μ m 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 \times 4 mm. i.d. 5 μ m, Hibar Fertigsaupe RT, Darmstadt, Germany)을 사용하였고 검출기는 형광검출기(Linear instruments, Thermo Separation Products Inc., San Jose, CA, USA)로 파장은 excitation wavelength는 290 nm, emission wave-

length는 330 nm에서 검출하였으며, 이동상은 n-hexane과 isopropanol을 99:1(v/v)로 혼합하였고 1 mL/min의 속도로 하고 추출물 20 µL를 주입하여 분석하였다. 각각의 유도체를 분리·정량하여 mg/100 g sample로 나타내었다.

γ-Oryzanol 함량 측정

시료의 γ-oryzanol 함량은 Lilitchan 등(19)의 방법에 따라 측정하였다. 표준물질로는 Wako Pure Chemical Ind. (Osaka, Japan)의 γ-oryzanol을 사용하였으며 표준 검량선은 3~20 µg/mL 사이의 값을 사용하였다.

70% ethanol 추출물의 항산화 활성 측정

총 항산화력 측정은 Re 등(20)의 방법에 따라서 측정하였다. 즉, 7.4 mM ABTS와 2.6 mM potassium persulfate 용액을 혼합하여 하루 동안 암소에 방치하여 ABTS·⁺를 형성시킨 후 이 용액을 734 nm에서 흡광도 값이 1.4-1.5가 되도록 흡광계수(ε=3.6×10⁴ M⁻¹cm⁻¹)를 이용하여 증류수로 희석하였다. 희석된 ABTS·⁺ 용액 1 mL에 희석된 추출액 50 µL를 가하여 흡광도의 변화를 정확히 30분 후에 측정하였으며, 표준물질로서 L-ascorbic acid를 이용하여 표준곡선을 작성한 후 시료의 항산화력(AEAC, µg ascorbic acid equivalent antioxidant capacity)으로 나타내었다.

환원력은 Mau 등(21)의 방법에 따라 측정하였다. 250 µL 시료에 동량의 0.2 M sodium phosphate buffer(pH 6.6), 1% potassium ferricyanide를 각각 가하고 이 혼합물을 50°C에서 20분간 반응시킨 후 1% trichloroacetic acid(TCA, w/v)

용액 250 µL를 넣어 반응을 종결시켰다. 위 반응액을 1,000 rpm에서 10분간 원심분리 하여 상정액 500 µL와 증류수 500 µL, 0.1% ferric chloride 용액 100 µL 넣고 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

품종별 현·백미 추출물의 항산화 성분

각 품종별 현미와 백미의 추출 수율을 측정한 결과는 Table 1에 나타내었다. 각 시료의 추출 수율은 기존에 알려진 바와 같이 현미가 백미보다 높았으며, 각 품종(삼광벼, 설강벼, 화선찰벼, 큰눈벼, 흥진주벼, 흑광벼, 일품벼, 하이아미 및 녹미) 중 현미에서는 큰눈벼가 3.80%로 가장 높았으며, 백미에서는 녹미가 1.28%로 추출 수율이 높았다. Woo 등(7)의 보고에 의하면 하이아미와 일품벼 백미의 70% 에탄올 추출 수율은 각각 1.16과 1.02%로 보고하였으며 이는 본 연구의 하이아미 0.60과 일품 0.45%와는 약 2배정도의 차이를 보였다. 이는 재배 시기 중 같은 품종이라 할지라도 비료나 농약 사용, 생육하는 동안의 기후 변화에 따른 재배 기간

Table 1. Polyphenol, flavonoids, γ-oryzanol contents and extraction yields of the 70% ethanol extracts from brown and milled rice by cultivar

Cultivar	Fraction	Polyphenol ¹⁾	Flavonoids ²⁾	γ-Oryzanol ³⁾	Yield (%)
Samkwang	Brown rice	1.30±0.01	146.46±11.55	403.50±28.98	2.05
	Milled rice	0.15±0.01	16.56±2.62	21.19±1.80	0.44
Seolgaeng	Brown rice	1.25±0.01	158.57±12.66	455.38±4.38	2.37
	Milled rice	0.26±0.01	25.85±3.90	43.14±3.03	0.61
Hwaseonchal	Brown rice	1.51±0.04	331.47±11.73	513.19±83.14	2.34
	Milled rice	0.35±0.01	31.55±4.74	58.98±21.66	0.80
Keunnun	Brown rice	1.44±0.03	166.20±22.90	672.67±22.03	3.80
	Milled rice	0.33±0.01	42.87±1.58	81.11±29.33	0.70
Hongjinju	Brown rice	5.99±0.07	1624.24±10.10	369.38±18.58	2.59
	Milled rice	0.26±0.01	32.75±1.34	30.69±0.57	0.50
Heugkwang	Brown rice	3.40±0.02	655.45±5.66	390.55±28.88	2.62
	Milled rice	0.27±0.01	32.27±0.00	15.72±2.33	0.55
Ipum	Brown rice	1.19±0.01	115.53±2.62	284.79±28.12	1.98
	Milled rice	0.17±0.01	20.81±2.71	30.36±0.80	0.45
Haiami	Brown rice	1.32±0.02	159.20±15.16	481.50±52.46	2.20
	Milled rice	0.25±0.01	27.79±3.69	41.62±1.89	0.60
Nokmi	Brown rice	1.15±0.02	109.68±0.00	390.55±27.34	2.54
	Milled rice	0.34±0.01	2.78±1.70	53.70±2.40	1.28

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 µg (+)-catechin equivalents per 1 g of sample (wet weight basis).
³⁾Mean of triplicate determinations expressed as µg per 1 g of sample (wet weight basis).

등 벼의 성숙도 차이, 수확 후 관리 상태와 현미 도정 시 걸쭉질을 까는 정도(도정도) 등에 따라서 시험물질 내 유용 성분의 추출률 차이를 보인 것으로 사료된다.

곡류에 함유되어 있는 항산화 물질 중 polyphenol 화합물 들은 free radical을 안정화시킬 수 있는 phenolic ring이 존재하기 때문에 뛰어난 항산화력을 가지는 것으로 보고되어져 있다(23). 본 실험에서는 total polyphenol 화합물의 함량은 Table 1과 같이 나타내었으며 현미에서는 녹미가 가장 낮은 함량으로 1.15 mg/g sample로 나타났고 홍진주벼가 5.99 mg/g sample으로 가장 높게 보인 반면 백미에서는 0.15 ~ 0.35 mg/g sample로 삼광벼가 가장 낮았고 화선찰벼가 가장 높은 함량으로 측정되었다. 시험품종 중 홍진주벼와 흑광벼는 삼광벼를 비롯한 다른 품종보다 높은 total polyphenol 함량을 나타냈으며 Kong 등(2)의 연구에서 보고된 흑광벼와 흑진주벼의 현·백미 total polyphenol 함량과 비교하였을 때 유색미의 total polyphenol 함량이 매우 우수한 것임을 확인할 수 있었다. 또한 total flavonoid 함량은 현미에서는 홍진주벼가 1,624.24 µg/g sample로 가장 많이 나타났으며, 그 다음으로는 흑광벼에서 655.45 µg/g sample로 나타났었다. 백미에서는 큰눈벼가 42.87 µg/g sample로 가장 많이 나타났으며, 그 다음으로 홍진주벼>흑광벼>화선찰벼>하이아미>설강벼>일품벼>삼광벼>녹미 순이었다.

이전의 연구에서 Lee 등(24)은 다양한 구조와 분자량을 가지며 거대분자와의 결합을 통하여 다양한 생리활성을 나타내는 페놀성 성분은 왕겨층과 미강층에 존재하는 것으로

알려져 있으며, 고아미 2호, 큰눈벼 및 흑광벼에서 2.6, 2.1 및 4.9 mg/g로 보고되었다(25).

γ -Oryzanol은 cycloartenyl ferulate, 24-methylenecycloartenyl ferulate 및 campesteryl ferulate 등이 약 80% 정도 차지하며 적어도 10개 이상의 phytosteryl ferulate의 혼합물로서 cholesterol 흡수 감소, HDL-cholesterol 증가 및 linoleic acid의 산화를 저해함으로써 인체에 유익한 영향을 주는 것으로 보고하였다(7,26). γ -Oryzanol 함량 측정 결과는 Table 1에 나타내었으며 현미와 백미의 순서로 큰눈벼에서 672.67, 81.11 µg/g sample이 측정되었고 화선찰벼에서 513.19, 58.98 µg/g sample으로 측정되어 현미가 백미에 비하여 γ -oryzanol 함량이 높았다. 특히, 큰눈벼의 γ -oryzanol 함량이 높은 것은 일품벼의 *N*-methyl-*N*-nitrosourea (MNU) 처리에서 육성된 거대배(giant embryo)를 가진 품종이기 때문에 다른 품종보다 높았던 것으로 판단된다. Kong 등(2)의 이전 연구에 의하면 흑광벼 현미 및 백미에 681.00 및 18.00 µg/g sample의 γ -oryzanol이 함유되어 있다고 보고하였으며 Woo 등(7)의 연구에서는 하이아미 및 일품벼 백미에서 76.58 및 7.77 µg/g sample의 γ -oryzanol 함량을 보고하였다.

품종별 현미와 백미에 대한 tocopherol과 tocotrienol 함량은 순상 HPLC를 통해 8가지 유도체를 분리·정량하여 mg/100 g으로 표시한 결과 Table 2와 같이 나타내었다. 실험 결과 vitamin E 함량은 모든 품종의 현미 추출물에서 백미 추출물보다 높은 함량을 보였으며 현미에서는 삼광벼가

Table 2. Tocopherol and tocotrienol contents of brown and milled rice by cultivar¹⁾

Cultivar	Fraction	α -T ²⁾	β -T	γ -T	δ -T	α -T3	β -T3	γ -T3	δ -T3	Total
Samkwang	Brown rice	1.44	— ³⁾	1.85	—	0.95	—	—	—	4.24
	Milled rice	0.14	—	TA ⁴⁾	—	0.13	—	0.04	—	0.31
Seolgaeng	Brown rice	1.23	—	0.75	—	0.99	—	—	—	2.97
	Milled rice	0.20	—	—	—	0.09	—	—	—	0.29
Hwaseonchal	Brown rice	1.17	—	0.48	—	0.79	—	—	—	2.44
	Milled rice	0.20	—	TA	—	0.09	—	—	—	0.29
Keunnun	Brown rice	1.17	—	TA	—	0.71	—	—	—	1.88
	Milled rice	0.13	—	0.04	—	—	—	—	—	0.17
Hongjinju	Brown rice	1.15	—	0.96	—	0.76	—	—	—	2.87
	Milled rice	TA	—	—	—	0.10	—	0.34	—	0.44
Heugkwang	Brown rice	1.06	—	1.35	—	1.09	—	—	—	3.50
	Milled rice	—	—	2.66	—	0.11	—	—	—	2.77
Iipum	Brown rice	0.88	—	1.01	—	0.76	—	—	—	2.65
	Milled rice	0.07	—	0.26	—	0.09	—	—	—	0.42
Haiami	Brown rice	0.99	—	0.69	—	0.70	—	—	—	2.38
	Milled rice	0.04	—	0.13	—	0.06	—	—	—	0.23
Nokmi	Brown rice	0.54	—	TA	—	0.36	—	—	—	0.90
	Milled rice	0.37	—	—	—	0.13	—	—	—	0.50

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.

4.24 mg/100 g sample로 다른 품종보다 높았으며 백미에서는 흑광벼가 2.77 mg/100 g sample로 높은 함량을 보였다. 모든 품종의 현미에서 α -, γ -tocopherol 및 α -tocotrienol이 검출되었으나 흑광벼 백미와 큰눈벼 백미에서는 각각 α -tocopherol과 α -tocotrienol이 검출되지 않았다. 삼광벼 백미와 흥진주벼 백미에서 γ -tocotrienol이 검출된 것을 제외하고는 모든 품종의 현미, 백미에서 β -, δ -tocopherol, β -, γ -, δ -tocotrienol은 검출되지 않았다. Woo 등(7)의 연구보고에서 하이아미의 백미 α - 및 γ -tocopherol 함량이 0.14, 1.17 mg/100 g, 일품벼 백미의 α - 및 γ -tocopherol 함량이 0.06, 0.80 mg/100 g이 포함되어 있는 것으로 보고하였으며 Kong 등(2)은 흑광벼 현미 및 백미의 총 vitamin E 함량이 5.00 및 2.32 mg/100 g이 포함되어 있는 것으로 보고하였는데, 이는 본 연구 결과(Table 2)에서 보는바와 같이 현미와 백미가 3.50 및 2.77 mg/100 g의 결과를 나타낸 것과 비교하였을 경우 유용 성분이 많이 함유되어 있는 미강층의 도정도, 생산년도와 재배장소 등의 차이에 의한 것으로 사료된다.

품종별 현·백미 추출물의 항산화 활성

주요 품종별 현미와 백미의 70% 에탄올 추출물에 대한 항산화 활성으로 DPPH radical 소거능을 측정하였다. 추출물의 농도는 1 mg/mL로 하였으며 측정 결과는 Fig. 1(A)와 같이 나타났다. 품종별 DPPH radical 소거능은 현미일 경우 흥진주벼와 흑광벼가 88.79, 77.23%로 높았으며 나머지 품종에서는 7.76~38.11%로 나타내었고 모든 품종의 백미에서는 12.71~20.82%로 측정되었다. 이전의 연구에서 Kong 등(2)과 Oki 등(27)은 흑미의 메탄올 추출물이 백미의 메탄올 추출물보다 DPPH radical을 이용한 측정에서 높은 활성을 나타내었다고 보고하였으며, Villano 등(28)은 polyphenolic 화합물 중 flavonoid 계열 화합물의 DPPH radical을 이용한 측정에서 우수한 항산화력이 있음을 보고하였다. 본 실험결과 측정된 백미에 비해 현미의 우수한 DPPH radical을 이용한 전자공여능은 미강층에 다량 존재하는 항산화 물질들과 연관이 있을 것으로 생각된다.

현미와 백미의 70% 에탄올 추출물의 상대적인 총 항산화력은 ABTS cation decolorization assay 방법을 이용하였으며 총 항산화력은 AEAC(ascorbic acid equivalent anti-oxidant activity) 값으로 산출하였다. Fig. 1(B)에서 보는바와 같이 현미와 백미 순으로 유색미인 흥진주벼 70% 에탄올 추출물에서 3918.60 및 123.99 μ g AEAC eq/g sample, 흑광벼 70% 에탄올 추출물에서 2307.00 및 104.22 μ g AEAC eq/g sample으로 높은 항산화력이 측정되었으며 모든 품종에서 백미보다는 현미에서 높은 항산화력을 나타내었다. Choi 등(29)이 polyphenolic 화합물과 ABTS radical 제거 활성과의 높은 연관성을 보고한 것과 같이 본 연구에서도 많은 양의 polyphenolic 화합물이 존재하는 미강층을 포함하는 현미에서 높은 활성을 보였다. 또한 Seo 등(8), Kong 등(2)의 연구에서는 ABTS radical을 이용한 총 항산화력 측정

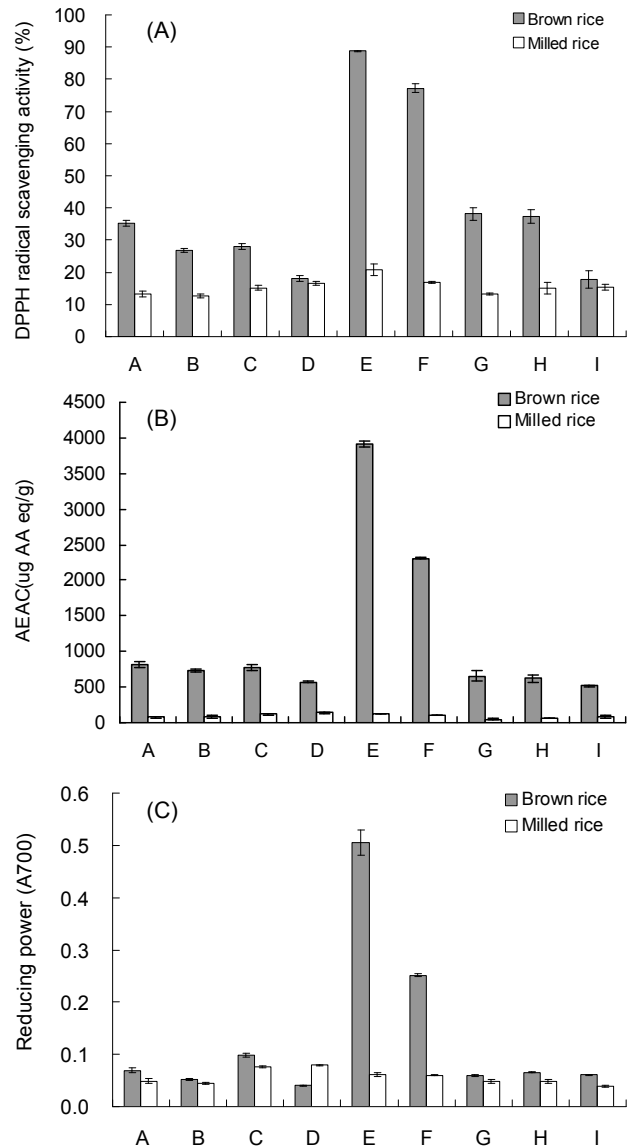


Fig. 1. DPPH radical scavenging activity (A), ABTS radical scavenging activity (B) and reducing power (C) of 70% ethanol extract from brown and milled rice. Each value represents the mean of triplicate measurements of analyzed sample. A: Samkwang, B: Seolgaeng, C: Hwaseonchal, D: Keunnun, E: Hongjinju, F: Heugkwang, G: Ilpum, H: Haiami, I: Nokmi.

에서 흑미는 697.3 AEAC(mg ascorbic acid equivalent per 100 g sample)로 특수미 중 흑미의 우수한 항산화력을 보고한 바와 같이 본 실험에서도 유색미인 흥진주벼와 흑광벼에서 총 항산화력이 높았다. 그러므로 쌀은 오래전부터 우리 민족의 주식으로서 건강적인 면에서 백미보다는 현미를 첨가함으로써 항산화력의 효과를 가져 올 것으로 생각되어진다.

벼 품종별 현미와 백미의 환원력은 항산화 성분의 수소공여능에 의한 것으로서 잠재적인 항산화 활성의 척도가 될 수가 있다. 현미의 환원력은 1 mg/mL의 농도에서 흥진주벼와 흑광벼의 70% 에탄올 추출물에서 0.51, 0.25로서 다른 품종의 현미 추출물의 환원력(A700=0.05~0.10)보다 높은

값으로 측정되었다. 또한 백미 상태의 경우에는 0.04~0.08로 측정되었으며 그 결과는 Fig. 1(C)에 나타내었다.

일반적으로 체내에서 활성산소종과 free radical은 지질, 단백질 및 핵산에 산화 손상을 초래함으로써 성인병을 포함하여 다양한 질환의 원인으로 알려져 있다. 이에 많은 항산화 물질들에 관한 연구가 진행되고 있다. 본 연구에서 다양한 품종의 현미와 백미 추출물들은 환원력을 나타내고 있으며 이는 매일 주식으로 섭취하는 쌀의 특성상 인체에 도움이 될 것으로 사료된다(7). 벼 품종별 현·백미 추출물의 항산화 성분과 항산화력 간의 상관관계 분석 결과 현미의 경우 항산화 성분인 total polyphenol 성분과 DPPH 라디칼 소거능($R^2=0.8311$), ABTS 라디칼 소거능($R^2=0.9897$) 및 환원력($R^2=0.9901$) 그리고 flavonoid 성분과 DPPH 라디칼 소거능($R^2=0.7624$), ABTS 라디칼 소거능($R^2=0.9620$) 및 환원력($R^2=0.9855$) 간에는 상당한 상관성을 나타낸 반면, γ -oryzanol과 비타민 E 등의 항산화 성분과 항산화 활성사이에서는 상관성이 존재하지 않는 것으로 나타났으며, 백미의 경우도 항산화 성분 함량과 항산화력 간에는 어떠한 상관성이 존재하지 않았다. 이는 현미의 총 항산화력에 기여하는 성분은 외피층에 존재하는 flavonoid를 포함하여 polyphenol 화합물인 것으로 사료된다.

요 약

본 연구에서는 여러 가지 벼 품종(삼광벼, 설강벼, 큰눈벼, 화선찰벼, 흥진주벼, 흑광벼, 일품벼, 하이아미 및 녹미)의 현미와 백미 70% 에탄올 추출물의 항산화 성분과 항산화 활성을 비교·분석하여 쌀의 기능적 가치를 평가함으로써 이용 가능성을 살펴보고자 하였다. 주요 품종별 현미와 백미의 항산화 성분으로는 polyphenol, flavonoid, tocopherol, tocotrienol 및 γ -oryzanol을 측정하였으며, 항산화력은 ABTS와 DPPH radical 제거능 및 환원력을 측정하였다. 각 품종의 현미와 백미의 70% 에탄올 추출물에서 1.98~3.80%와 0.44~1.28%의 추출 수율을 보였으며, 실험결과 현미 추출물에서 백미 추출물보다 높은 함량의 항산화 성분 및 항산화 활성을 나타내었다. 또한 각 품종의 현미와 백미 중에서 항산화 성분 및 항산화 활성이 높은 품종으로는 유색미인 흥진주벼로 나타났다. 흥진주벼와 더불어 흑광벼에서도 상당한 항산화 성분을 함유하고 있었으며, 그에 따른 우수한 항산화 활성을 나타내는 것을 알 수 있었다. 이상의 결과에서 쌀의 항산화 성분과 항산화 활성 연구에 있어 γ -oryzanol, polyphenol 등과 같이 항산화 활성을 보이는 성분들은 백미 추출물보다는 현미 추출물에서 다량 포함되어 있었으며 일반벼보다는 유색미에서 다량 함유되어 있음을 알 수 있었다. 이러한 결과는 쌀 기능성 구명연구를 위한 기초 자료를 제공하고, 금후 건강증진 식품으로서 쌀의 효능을 소비자들에게 인식시켜 나아가 쌀 소비 촉진에 기여할 것으로

기대된다.

감사의 글

본 연구는 2009년도 농촌진흥청 국립식량과학원 박사 후 연수과정 지원 사업에 의해 이루어진 것임.

문 헌

1. Lee JH, Jeong OY, Lee KS, Kim HY, Yang CI, Lee SB, Choi YH, Kim YG, Lee YT. 2008. Breeding for micronutrient-enriched japonica rice for improving human health. *Treat of Crop Res* 9: 97-108.
2. Kong SH, Choi YM, Lee S, 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.
3. Anderson JW. 2003. Whole grains protect against atherosclerotic cardiovascular disease. *Proc Nutr Soc* 62: 135-142.
4. Chae JC. 2004. Present situation, research and prospect rice quality and bioactivity in Korea. *Food Sci Indus* 37: 47-54.
5. Na GS, Lee SK, Kim SY. 2007. Antioxidative effects and quality characteristics of the rice cultivated by organic farming and ordinary farming. *J Korean Soc Appl Biol Chem* 50: 36-41.
6. 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.
7. 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 *Ilpum* rice. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 37: 1223-1230.
8. 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.
9. Park SH, Cho IJ, Kim YS, Ha TY. 2007. Effect of methanolic extracts of red colored rices on antioxidant activity and growth inhibitory activities of cancer cells. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 36: 1365-1370.
10. Sohn HY, Kwon CS, Son KH, Kwon GS, Kwon YS, Ryu HY, Kum EJ. 2005. Antithrombosis and antioxidant activity of methanol extract from different brands of rice. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 34: 593-598.
11. Kang MY, Lee YL, Go HJ, Nam SH. 2004. Antioxidative and antimutagenic activity of ethanolic extracts from giant embryonic rices. *J Korean Soc Appl Biol Chem* 47: 61-66.
12. Kang MY, Shin SY, Nam SH. 2003. Correlation of antioxidants and antimutagenic activity with content of pigments and phenolic compounds of colored rice seeds. *Korean J Food Sci Technol* 35: 968-974.
13. 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.
14. Chun HS, You JE, Kim IH, Cho JS. 1999. Comparative antimutagenic and antioxidative activity of rice with different milling fractions. *Korean J Food Sci Technol* 31: 1371-1377.
15. 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.
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, Tangprawatt C, Aryusuk 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 IC, 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. Rice-Evans CA, Miller NJ, Paganga G. 1997. Antioxidant properties of phenolic compounds. *Trends Plant Sci* 2: 152-159.
 24. 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.
 25. Choi Y, Kim MH, Shin JJ, Park JM, Lee J. 2003. The antioxidant activities of the some commercial teas. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 32: 723-727.
 26. Xu Z, Hua N, Godber JS. 2001. Antioxidant activity of tocopherols, tocotrienols, and γ -oryzanol components from rice bran against cholesterol oxidation accelerated by 2,2'-azobis (2-methylpropionamide) dihydrochloride. *J Agric Food Chem* 49: 2077-2081.
 27. 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.
 28. Villano D, Fernandez-Pachon MS, Moya ML, Troncoso AM, Garcia-Parrilla MC. 2007. Radical scavenging ability of polyphenolic compounds towards DPPH free radical. *Talanta* 71: 230-235.
 29. Choi Y, Jeong HS, Lee J. 2007. Antioxidant activity of methanolic extracts from some grains consumed in Korea. *Food Chem* 103: 130-138.

(2009년 11월 18일 접수; 2010년 1월 4일 채택)