

품종별 현미 발아 전후의 생리활성물질 변화

김대중¹ · 오세관^{1*} · 윤미라¹ · 천아름¹ · 최임수¹ · 이동현² · 이준수³ · 유광원⁴ · 김연규¹

¹농촌진흥청 국립식량과학원, ²(주)미실란
³충북대학교 식품공학과, ⁴충주대학교 식품영양학과

The Change in Biological Activities of Brown Rice and Germinated Brown Rice

Dae-Jung Kim¹, Sea-Kwan Oh^{1*}, Mi-Ra Yoon¹, AReum Chun¹, Im-Soo Choi¹,
Dong-Hyun Lee², Jun-Soo Lee³, Kwang-Won Yu⁴, and Yeon-Kyu Kim¹

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

²Misillan Company, Jeonnam 516-803, Korea

³Dept. of Food Science and Technology, Chungbuk National University, Chungbuk 361-763, Korea

⁴Division of Food and Biotechnology, Chungju National University, Chungbuk 368-701, Korea

Abstract

We studied the biological activities, including antioxidant compounds, antioxidant activities, anti-proliferative activities, and immunological activities of brown rice and germinated brown rice. We examined the DPPH, ABTS radical scavenging activity, and reducing power of 70% ethanol extracts from some cultivars of brown rice and germinated brown rice. The total polyphenol, total flavonoid, and γ -oryzanol contents of the extracts were measured with spectrophotometric methods. The *Hongjinjubeyo* brown rice and germinated brown rice extracts showed markedly higher antioxidative activity than those of 70% ethanol extracts from other cultivars. The 70% ethanol extracts from brown rice and germinated brown rice had the most effective anti-proliferative activity (cytotoxicity) against breast cancer cells (MCF-7) compared to colorectal cancer cells (HCT-116). A 500 $\mu\text{g/mL}$ concentration of 70% *Hongjinjubeyo* ethanol extract had higher macrophage and mitogenic activities of immunological activity than other cultivars.

Key words: brown rice, germinated brown rice, antioxidant, mitogenic activity, anti-proliferative activity

서 론

세계적으로 쌀은 주요한 당질 급원으로 쌀을 주식으로 하는 나라에서는 영양분 비중 측면에서 중요한 주곡 작물이다. 특히, 우리나라 식문화에서 없어서는 안 될 주곡인 쌀은 최근 서구화된 식문화로 인하여 1979년 1인당 135.6 kg 소모되어 있던 양이 점점 감소하여 2009년에는 1인당 74.0 kg으로 감소하였다. 하지만 사회전반에 걸쳐 일어나고 있는 웰-빙 붐을 타고 천연 유래의 건강기능성식품에 대한 소비자의 선호도 증대로 보다 영양성과 기능성이 강화된 형태인 현미 섭취가 크게 증가하고 있는 추세이다(1).

현미는 배(embryo), 배젓(albumen) 및 쌀겨층(과피(pericarp), 종피(testa), 호분층(aleurone layer))으로 이루어진 벼 열매로서 정조의 길쭉진 왕겨층만 한번 벗겨낸 쌀로서 백미에 비하여 영양분의 손실이 적으며 지방, 단백질, 비타민, 식이섬유 및 각종 무기질 등이 풍부하여 영양성과 기능성이 뛰어나다(2). 또한 이러한 성분들로 인하여 인체의 성장과

유지에 도움을 준다는 사실은 각종 언론매체나 자료들을 통하여 널리 알려진 사실이다. 하지만 현미가 갖는 뛰어난 영양성과 기능성에도 불구하고 현미에 비하여 백미를 주식으로 하는 이유는 현미의 단단한 껍질과 피틴산 등으로 인하여 소화 흡수성이 떨어지고 조리가 어려우며 부드럽게 씹히지 않고 끼칠하여 식미가 떨어지기 때문이다. 하지만 최근에는 이러한 현미의 단점을 극복하기 위해서 발아시킨 현미를 이용하고자 하는 노력이 이루어지고 있다. 현미 발아 시 기존 현미에 비해 조직을 연화시켜 질감을 개선시키고 관능성 향상은 물론 각종 영양성분 및 효소들의 활성화로 인하여 건강 기능성 물질이 형성되는 것으로 알려져 있다(3,4). 발아현미란 왕겨를 벗겨낸 현미를 적정한 수분·온도·산소 조건하에서 1~5 mm 정도 짙은 것을 말하며(5) 발아과정 중 식이섬유, ferulic acid, tocotrienols, 마그네슘, 아연, γ -oryzanol, γ -aminobutyric acid(GABA) 및 β -sitosterol 등 각종 기능성 성분들이 활성화되고 증가된다(6). 현미와 발아현미에 대한 보고는 항산화 활성 및 항산화 성분(7,8), to-

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

copherol, tocotrienol류, squalene, phytosterol류, GABA 등 기능성 물질의 함량(9,10), 발아조건, 건조방법(3,4) 및 가공 원료로서의 이용(11,12) 등 다양한 분야에서 보고되어지고 있다. 이렇게 발아 전후의 현미 생리활성 성분과 기능성 및 가공특성은 품종, 재배환경, 재배기술, 수확시기뿐만 아니라 수확 후 관리기술 등에 의해서 품질이 좌우되는 것으로 사료된다. 최근 들어 쌀의 1차 기능인 에너지 공급원으로 뿐만 아니라 고아미, 백진주벼 등 전분특성이 다양한 기능성 쌀은 물론 특유의 색과 향을 갖는 흑미, 적미 및 녹미 등 다양한 특수미가 개발되고 이에 대한 생리적 기능에 대한 연구가 진행되고 있다. 따라서 본 연구에서는 큰눈벼 (*Keunnunbyeo*), 홍진주벼 (*Hongjinjubyeo*), 흑광벼 (*Heugkwangbyeo*), 일품벼 (*Ipumbyeo*), 하이아미 (*Haiami*), 고아미 4호 (*Goami 4*) 및 화성벼 (*Hwaseongbyeo*)와 같이 새롭게 육성되어진 품종들의 발아 전후 현미를 이용하여 70% 에탄올 추출물을 제조하고 그에 대한 기능성을 평가함으로써 이들의 상관성을 비교·분석하여 식생활 개선, 품종 농가보급 및 건강증진을 위한 건강식품 개발 등 효율적인 이용 증진을 위한 기초 자료를 제공하고자 하였다.

재료 및 방법

실험재료 및 시약

본 연구에 사용된 시료는 2009년에 농촌진흥청 국립식량과학원에서 재배, 수확된 큰눈벼, 홍진주벼, 흑광벼, 일품벼, 하이아미, 고아미 4호 및 화성벼를 사용하였으며 발아현미 품종은 현미와 동일한 품종을 (주)미실란(Gokseong, Korea)에서 가공하여 사용하였다. 본 연구에 사용된 시약들 중 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), LPS(lipopolysaccharide), Triton X-100 등은 Sigma-Aldrich(St. Louis, MO, USA) 제품을 구입하였고 γ -oryzanol은 Wako사 제품(Wako Pure Chemical Industries Ltd., Osaka, Japan)을 사용하였으며 fetal bovine serum(FBS), trypsin 및 RPMI 1640 배지는 Gibco BL(Grand Island, NY, USA) 제품을 사용하였다. 그 밖에 사용된 추출용매 및 모든 시약은 특급 시약을 사용하였다.

일반성분 분석

시료의 일반성분은 AOAC법에 준하여 수분은 105°C 상압가열건조법으로 측정하였으며, 회분은 550°C 직접 회화법으로, 단백질은 Kjeldahl 질소 정량법을 이용하였으며 식이 섬유는 total fiber dietary kit(Megazyme International Ireland Limited, Wicklow, Ireland)을 이용하여 정량하였다. 품종별 발아 전후의 무기성분 함량은 ICP spectrometer(iCAP 6000 Series, Thermo Electron Corporation, Cambridge, UK)를 이용하여 측정하였다. 즉, 시료 0.3~0.5 g를 micro-

wave용 tube에 평량한 후 1 N nitric acid 10 mL를 이용하여 분해하고 메스플라스크에 옮겨 증류수로 정용한 후에 ICP로 측정하였다. 측정 항목으로는 Ca, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, P 그리고 Zn의 원소이었으며 각각의 원소에 대하여 표준 곡선을 작성하고 시료내 포함되어 있는 원소를 정량하여 시료별 전체 무기질 함량으로 표시하였다. 분석조건은 auxiliary gas flow: high(1.5 L/min), nebulizer pressure: 30.1 psi, approximate RF power: 950 W, frequency: 27.12 MHz, type: simultaneous, analysis pump rate: 130 rpm, pump tubing type: EP-19와 같다.

70% 에탄올 추출물 제조

7 품종의 정조를 동일한 조건으로 제현기(Model SY88-TH, Ssangyong Ltd., Incheon, Korea)를 이용하여 현미를 만들었으며 이중 일부는 (주)미실란을 통하여 발아현미로 가공하였다. 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% 에탄올을 가한 뒤 상온에서 24시간 교반하면서 추출하였다. 추출 후 고형분은 Whatman No.2 여과지(Whatman Co. Ltd., Maidstone, UK)를 이용하여 잔사물을 분리하였고 상징액은 회전진공농축기(Model N-1000, EYELA, Tokyo, Japan)를 사용하여 40°C에서 감압 농축한 후 동결건조(Modulyod-115, Thermo Electron Co., Waltham, MA, USA)하였다. 건조된 추출물은 수율 측정 후 -20°C 냉동고에 보관하면서 실험에 사용하였다.

항산화 성분 함량 측정

각 추출액의 total polyphenol 함량은 Velioglu 등(13)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 첨가하였다. 30분 동안 방치 후 750 nm에서 흡광도 값을 측정하였고, gallic acid를 표준물질로 사용하여 표준 검량선을 작성한 후 μ g gallic acid equivalent per 1 g sample로서 추출물의 total polyphenol 함량을 나타내었다.

총 플라보노이드 함량은 Jia 등(14)의 방법을 약간 변형하였다. 즉, 각 추출액 250 μ L에 1.25 mL 증류수를 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 500 μ L 1 M NaOH와 275 μ L 증류수를 가한 후 510 nm에서 흡광도를 측정하였다. 표준물질은 (+)-catechin hydrate를 사용하여 표준 검량선을 작성 후 추출물의 total flavonoid 함량은 μ g (+)-catechin hydrate equivalent per 1 g sample로서 나타내었다.

시료의 γ -oryzanol 함량은 Lilitchan 등(15)의 방법에 따라 측정하였다. 표준물질로는 Wako Pure Chemical Industries의 γ -oryzanol을 사용하였으며 표준 검량선은 3~

20 µg/mL 사이의 값을 사용하였다.

총 항산화력 측정

총 항산화력 측정은 Re 등(16)의 방법에 따라 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 몰 흡광계수($\epsilon=3.6 \times 10^4 \text{ M}^{-1}\text{cm}^{-1}$)를 이용하여 증류수로 희석하였다. 희석된 ABTS·⁺ 용액 1 mL에 추출액 50 µL를 가하여 흡광도의 변화를 정확히 30분 후에 측정하였으며, 표준물질로서 L-ascorbic acid를 이용하여 표준곡선을 작성한 후 mg ascorbic acid equivalent antioxidant capacity(AEAC)로 표시하여 시료의 항산화력을 나타내었다.

환원력은 Mau 등(17)의 방법에 따라 측정하였다. 즉, 250 µL 추출물, 250 µL 0.2 M sodium phosphate buffer(pH 6.6), 250 µL 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 원심분리하여 상등액 500 µL와 증류수 500 µL, 0.1% ferric chloride 용액 100 µL을 넣고 잘 혼합하여 700 nm에서 흡광도를 측정하였다.

DPPH 라디칼 소거능은 Kim 등(18)의 방법을 변형하여 측정하였다. 즉, 시료 200 µL에 0.2 mM DPPH 용액 800 µL를 가한 후, 520 nm에서 정확히 30분 후에 분광광도계(UV-1650PC, Shimadzu, Kyoto, Japan)를 이용하여 흡광도의 변화를 측정하였다. 이때 전자공여능(EDA, Electron Donating activity)은 시료 첨가구와 비첨가구의 흡광도 차이를 백분율(%)로 구하였다.

유방암과 폐암 세포주에 대한 암세포 증식억제 활성 측정
 암세포주(HCT-116: 대장암, MCF7: 유방암)에 대한 추출물의 증식억제 효과는 colorimetric assay인 3-(4,5-dimethylthiazol-2-yl)-2,5-diphenyltetrazolium bromide(MTT) 방법을 이용하였다(19). 각각의 암세포는 한국 세포주 은행에서 구입하여 암세포의 농도를 1.5×10^4 cell/mL(HCT-116), 2.0×10^4 cell/mL(MCF7)의 농도로 RPMI-1640 배지를 이용하여 96-well plate에 멸균된 0.22 µm membrane filter로 여과한 추출물과 함께 넣은 후 37°C, 5% CO₂ incubator에 넣은 후 48시간 동안 배양한다. 48시간 후 5 mg/mL의 농도로 제조한 MTT 시약 20 µL을 첨가한 후 4시간 동안 배양한다. 배양 후 상등액은 버리고 150 µL의 DMSO를 첨가하여 침전물을 녹인 후 550 nm에서 측정하였다. Positive control로 cisplatin(100 µg/mL)을 사용하였다.

면역활성 측정

마кро파지 활성화는 6~8주령의 ICR 마우스의 복강에 5% thioglycollate medium을 2~2.5 mL 주사한 후 72시간 내에 유도된 복강 마크로파지를 회수하였다. 세포수를 1×10^6 cell/mL로 조정하여 96 well plate에 200 µL씩 분주 후, 37°C,

5% CO₂ 배양기에서 2시간 배양 후 세척하여 각 well에 macrophage monolayer를 형성시켰다. 각 well에 180 µL RPMI 1640 배지와 20 µL 시료를 첨가하여 24시간 배양하였다. 활성화된 macrophage monolayer는 RPMI 1640 배지로 세척한 후, Triton X-100을 가하여 세포막을 용해하였다. 유리된 lysosomal phosphatase를 기질인 p-NPP(p-nitro-phenyl phosphate)와 반응시킨 후 0.2 M borate buffer를 사용하여 반응을 중지시킨 후 405 nm에서 흡광도를 측정하였다(20).

마이토제닉 활성화는 Kim 등(20)의 방법에 따라 측정하였다. 즉, 마이토제닉 활성화는 ICR 마우스로부터 비장을 적취한 후 금속체와 주사기 고무마개를 이용하여 비장으로부터 세포를 방출시킨다. 이 액은 더 작은 크기의 금속체를 사용하여 불순물을 여과하고 원심분리하여 상등액을 제거하였다. 적혈구를 제거할 목적으로 살균된 0.2% NaCl 용액 2 mL를 가하여 30초 이내에 처리한 후 20 mL의 RPMI 1640 배지를 가하였다. 이들은 원심분리하여 세포를 회수한 후 세포 농도를 5×10^6 cells/mL로 조정하였다. 상기의 세포 농도로 조정된 액 90 µL씩을 96 well plate에 분주한 다음 시료 10 µL를 가하고 46시간 동안 배양하였다. 그 후 1 mg/mL의 농도인 MTT 용액을 가하고 37°C, 5% CO₂ 배양기에서 5시간 반응시켜 MTT formazan 침전물을 얻은 후 상등액을 제거하였다. 이때 얻어진 formazan은 100 µL 0.04 N HCl/isopropanol을 가하고 5분간 용해시킨 뒤 동량의 물을 가한 후 570 nm에서 흡광도를 측정하고 대조구와 비교하여 시료의 lymphocyte 증식도를 비교하였다.

통계분석

발아 전후의 생리활성 변화 등 각 항목의 측정값은 SPSS 통계 package program(Statistical Package Social Science, Version 12.0)를 이용하여 분산분석(ANOVA)을 실시하였고, 시험군 간의 유의성은 Duncan의 다중범위시험법(Duncan's multiple range test)로 p<0.05 수준에서 유의성을 검증하였다.

결과 및 고찰

품종별 현미와 발아현미의 일반성분

품종별 발아 전후의 수분, 회분, 단백질 및 식이섬유 함량 결과는 Table 1에 나타내었다. 품종별 현미의 수분, 회분, 단백질 및 식이섬유 함량은 각각 14.14%(화성벼)~16.14%(고아미 4호), 1.18%(화성벼)~1.65%(홍진주벼), 6.56%(하이아미)~8.09%(홍진주벼) 및 5.92%(일품벼)~10.34%(큰눈벼)의 범위이었으며 발아현미는 각각 8.22%(화성벼)~12.22%(고아미 4호), 1.36%(일품벼)~1.73%(흑광벼), 6.41%(하이아미)~8.46%(화성벼) 및 6.01%(일품벼)~10.80%(큰눈벼)로 나타내었으며 발아 후 수분은 건조로 인한 수분 조절로 낮아지는 경향을 보였으나 회분, 단백질은 비슷한

Table 1. Proximate compositions and extraction yields of brown rice and germinated brown rice

Cultivars		Content (%)				
		Yield	Moisture	Ash	Protein	Dietary fiber
Goami 4	BR ¹⁾	3.81	16.14±0.187 ^{k3)}	1.55±0.006 ^{de}	7.68±0.153 ^g	9.20±0.09 ^f
	GBR ²⁾	2.59	12.22±0.198 ^f	1.48±0.040 ^{bcd}	7.68±0.153 ^g	9.94±0.30 ^{fg}
Ilpumbyeo	BR	1.91	15.11±0.018 ⁱ	1.34±0.029 ^b	6.63±0.196 ^{bc}	5.92±0.19 ^a
	GBR	1.49	10.35±0.072 ^b	1.36±0.027 ^{bc}	6.81±0.125 ^{cd}	6.01±0.18 ^{ab}
Keunnunbyeo	BR	3.71	14.86±0.149 ^h	1.47±0.045 ^{bcd}	7.23±0.065 ^c	10.34±0.08 ^{gh}
	GBR	2.81	10.71±0.260 ^c	1.56±0.027 ^{de}	7.42±0.081 ^f	10.80±0.44 ^h
Haiami	BR	1.86	15.48±0.126 ^j	1.45±0.051 ^{bcd}	6.56±0.119 ^{ab}	6.76±0.13 ^{bc}
	GBR	1.66	10.97±0.109 ^d	1.48±0.050 ^{cd}	6.41±0.084 ^a	6.85±0.08 ^c
Heugkwangbyeo	BR	2.44	16.03±0.067 ^k	1.46±0.122 ^{bcd}	7.97±0.104 ^h	8.12±0.23 ^{de}
	GBR	2.18	10.67±0.055 ^c	1.73±0.098 ^f	8.04±0.064 ^h	8.44±0.30 ^e
Hwaseongbyeo	BR	1.70	14.14±0.166 ^g	1.18±0.011 ^a	6.98±0.035 ^d	7.08±0.25 ^c
	GBR	2.52	8.22±0.135 ^a	1.38±0.004 ^{bc}	8.46±0.073 ⁱ	7.55±0.30 ^{cd}
Hongjinjubyeo	BR	2.42	15.43±0.058 ^j	1.65±0.063 ^{ef}	8.09±0.019 ^h	10.26±0.10 ^{gh}
	GBR	2.43	11.32±0.039 ^e	1.67±0.084 ^{ef}	8.35±0.025 ⁱ	10.71±1.02 ^{gh}

¹⁾BR: brown rice. ²⁾GBR: germinated brown rice.

³⁾Different letters in the same column indicate significant difference (by ANOVA and Duncan's test, p<0.05).

경향을 보여주었다. 또한 발아 전후의 식이섬유 함량에서는 약간 증가하는 경향을 관찰할 수 있었다. 또한 Fig. 1에서는 벼 품종별 발아 전후의 전체 무기성분 함량을 나타내었으며 현미의 경우 K, Mg 그리고 P의 함량은 각각 4,530~6,011 µg/g, 2,240~2,878 µg/g, 그리고 5,454~6,891 µg/g이었으며 나머지 무기질들은 Ca 425.6~590.8 µg/g, Fe 31.84~50.9 µg/g, Mn 35.29~88.36 µg/g, Zn 44.07~63.38 µg/g으로 측정되었던 반면 발아현미의 경우 K, P 그리고 Mg 함량은 각각 3,604~4,910 µg/g, 5,500~6,958 µg/g 그리고 2,347~3,049 µg/g이었으며 나머지 무기질들은 Ca 581.7~820.8 µg/g, Mn 35.03~76.56 µg/g, Zn 44.11~68.06 µg/g으로서 발아 현미보다 현미에서 총 무기성분 함량이 약간 높았다(data not shown).

추출수율

본 연구에서 사용되었던 추출용매는 다른 용매에 비하여 인체에 안정적인 용매로서 일반적으로 식품산업에서 많이

사용되어지고 있는 용매인 에탄올과 물을 사용하였다. 그 결과 발아 전후의 70% 에탄올 추출물 수율은 현미일 경우 화성비가 1.70%로서 가장 낮았으며 고아미 4호가 3.81%로서 가장 높은 수율을 얻은 반면 발아현미일 경우는 일품벼가 1.49%로서 가장 낮았으며 고아미 4호가 2.59%로서 가장 높은 수율을 보여주었다. 큰눈벼 발아 전후에 추출수율이 3.71%, 2.81%로서 고아미 4호와 함께 유효한 성분들이 다른 품종에 비하여 많이 추출되었던 것으로 보인다(Table 1). Kim 등(1)은 품종별 현미 70% 에탄올 추출물의 수율은 1.98%(일품벼)~3.80%(큰눈벼)로 나타내었는데 그중 현미의 70% 에탄올 추출물의 수율이 각각 일품벼(1.98%), 큰눈벼(3.80%), 하이아미(2.20%), 흑광벼(2.62%), 화선찰벼(2.34%), 홍진주벼(2.59%)로 나타내어 본 연구의 추출수율과 비슷한 수준을 보여주었다. 일반적으로 같은 품종이라도 그 해의 재배시기, 비료나 농약 사용, 생육하는 동안의 기후 변화에 따른 재배 기간의 벼 등숙 차이, 수확 후 관리 상태 등에 따라서 시험물 질 내 유용 성분의 추출율 차이를 보인다.

항산화 성분

이전 연구(21,22)를 통하여 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. 총 폴리페놀 함량은 µg gallic acid equivalents(GAE)/g sample으로 표시를 하였으며 Table 2에 나타내었다. 그중 현미 홍진주벼는 5,600.44 µg GAE/g sample로서 발아 전후의 품종들 중 가장 높게 측정되었으며 조사되었던 품종들보다 유의적인 차이를 나타내었다. 그 다음 품종으로는 발아현미 홍진주벼와 흑광벼로서 각각 4,599.52, 3,379.53 µg GAE/g sample 측정되었으며 두 품종 간에는 유의적 차이를 보이지 않았지만 현미 홍진주벼를 제외하고는 다른 품종들에 비하여 유의

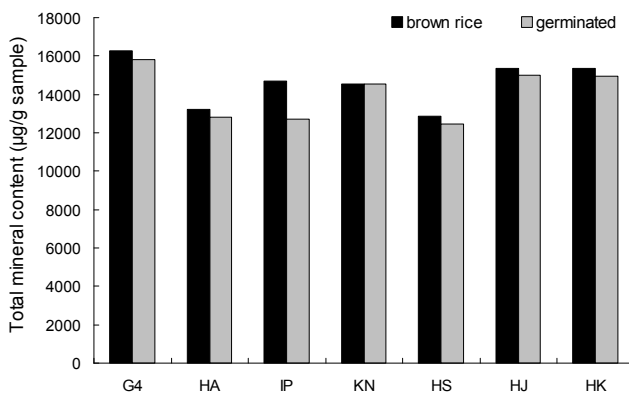


Fig. 1. Total mineral content of brown rice and germinated brown rice from various cultivars. G4: Goami 4, IP: Ilpumbyeo, KN: Keunnunbyeo, HA: Haiami, HK: Heugkwangbyeo, HS: Hwaseongbyeo, HJ: Hongjinjubyeo.

Table 2. Antioxidant compounds, antioxidant activities of 70% ethanol extracts obtained from brown rice and germinated brown rice

Cultivars	Content				
	Total flavonoid ($\mu\text{g CA/g sample}$) ⁴⁾	Total polyphenol ($\mu\text{g GAE/g sample}$) ⁵⁾	γ -Oryzanol ($\mu\text{g/g sample}$)	Reducing power (OD) ⁸⁾	
Con(+)				0.3779 \pm 0.029 ^g	
G4 ¹⁾	BR ²⁾	148.77 \pm 35.35 ^{6) b7)}	1373.18 \pm 76.78 ^{def}	519.79 \pm 11.19 ^{cd}	0.1020 \pm 0.001 ^{bc}
	GBR ³⁾	115.63 \pm 10.29 ^{ab}	1412.32 \pm 77.11 ^{ef}	629.83 \pm 7.23 ^d	0.1361 \pm 0.004 ^{de}
IP	BR	116.40 \pm 17.34 ^{ab}	1061.94 \pm 75.85 ^{ab}	240.73 \pm 32.94 ^a	0.0958 \pm 0.001 ^b
	GBR	89.84 \pm 0.66 ^a	1098.97 \pm 15.72 ^{abc}	453.78 \pm 130.68 ^{bc}	0.1532 \pm 0.007 ^e
KN	BR	159.95 \pm 26.12 ^{bc}	1360.99 \pm 226.21 ^{cdef}	445.16 \pm 33.46 ^{bc}	0.0725 \pm 0.003 ^a
	GBR	117.12 \pm 15.84 ^{ab}	1299.27 \pm 101.31 ^{bcde}	472.85 \pm 58.56 ^c	0.1046 \pm 0.005 ^{bc}
HA	BR	125.26 \pm 4.12 ^{ab}	1022.82 \pm 74.03 ^a	492.70 \pm 84.76 ^c	0.0878 \pm 0.002 ^{ab}
	GBR	114.62 \pm 6.60 ^{ab}	1040.55 \pm 64.46 ^{ab}	532.29 \pm 21.33 ^{cd}	0.1382 \pm 0.005 ^{de}
HK	BR	1273.24 \pm 30.80 ^e	4401.46 \pm 277.09 ^h	560.30 \pm 64.52 ^{cd}	0.3609 \pm 0.002 ^g
	GBR	841.55 \pm 7.72 ^d	3379.53 \pm 88.31 ^g	455.14 \pm 2.82 ^{bc}	0.2971 \pm 0.018 ^f
HS	BR	123.49 \pm 3.01 ^{ab}	1111.42 \pm 55.58 ^{abcd}	227.29 \pm 32.34 ^a	0.1101 \pm 0.004 ^{bc}
	GBR	132.21 \pm 10.32 ^{ab}	1615.93 \pm 40.04 ^f	521.67 \pm 14.91 ^{cd}	0.1225 \pm 0.011 ^{cd}
HJ	BR	1841.17 \pm 21.00 ^f	5600.44 \pm 132.23 ⁱ	643.14 \pm 27.08 ^d	0.5822 \pm 0.019 ⁱ
	GBR	1296.77 \pm 37.21 ^e	4599.52 \pm 49.94 ^h	345.53 \pm 60.85 ^{ab}	0.4483 \pm 0.009 ^h

¹⁾G4: *Goami 4*, IP: *Ipumbyeo*, KN: *Keunnunbyeo*, HA: *Haiami*, HK: *Heugkwangbyeo*, HS: *Hwaseongbyeo*, HJ: *Hongjijubyeo*.

²⁾BR: brown rice. ³⁾GBR: germinated brown rice.

⁴⁾Mean of triplicate determinations expressed as μg catechin equivalents (CA) per 1 g of sample (wet weight basis).

⁵⁾Mean of triplicate determinations expressed as μg gallic acid equivalents (GAE) per 1 g of sample (wet weight basis).

⁶⁾Values are mean \pm SD.

⁷⁾Different letters in the same column indicate significant difference (by ANOVA and Duncan's test, $p < 0.05$).

⁸⁾Positive control (Con(+)) and sample concentrations of reducing power were 250 $\mu\text{g/mL}$ of ascorbic acid and 1.0 mg/mL .

적인 차이를 나타내었다. 이처럼 홍진주벼와 흑광벼와 같은 유색미는 일품벼를 비롯한 다른 품종에 비하여 높은 총 폴리페놀 함량을 나타내었으며 이는 Kong 등(23)과 Kim 등(1)이 보고한바와 같이 유색미의 총 폴리페놀 함량이 매우 우수한 것임을 확인할 수 있었다. 홍진주벼는 다른 품종에 비하여 페놀화합물 함량이 높은 품종으로 농촌진흥청 국립식량과학원에서 개발된 품종이다. 또한, 페놀계 화합물의 일종인 총 플라보노이드 함량은 $\mu\text{g (+)-catechin equivalents(CA)/g sample}$ 로서 표시하였으며 발아 전후의 총 플라보노이드 함량은 현미 홍진주벼가 1,841.17 $\mu\text{g CA/g sample}$ 로서 가장 높았으며, 그 외 유색미인 발아 전후 흑광벼와 발아현미 홍진주벼를 제외하고는 조사되어진 품종들은 약 160 $\mu\text{g CA/g sample}$ 보다 낮게 측정되었다. 화성벼를 제외하고는 조사되어진 품종들의 총 플라보노이드 함량은 발아된 후에 함량이 감소함을 관찰할 수 있었다(Table 2). 이전의 보고에서 Shen 등(24)은 적미와 흑미의 총 플라보노이드 함량을 각각 100 g의 dry weight 당 147.2 mg rutin equivalent와 240.6 mg rutin equivalent로 나타내었으며, Kong과 Lee(25)는 흑진주벼와 흑광벼의 whole grain내 총 플라보노이드 함량은 3.39 mg CA/g sample과 2.13 mg CA/g sample로 보고하였다.

현미의 항산화 성분 중 γ -oryzanol 함량은 현미 홍진주벼 643.14 $\mu\text{g/g sample}$, 발아현미 고아미 4호 629.83 $\mu\text{g/g sample}$ 과 함께 유의적으로 가장 높게 측정되었고, 그 다음으로는 현미 흑광벼에서 560.30 $\mu\text{g/g sample}$ 로서 높게 측정되었다. 이는 이전의 보고에서 Kim 등(1)이 보고한 현미 홍진

주벼 369.38 $\mu\text{g/g sample}$, 현미 흑광벼 390.55 $\mu\text{g/g sample}$, 현미 일품벼 284.79 $\mu\text{g/g sample}$ 의 수치와 Kong과 Lee(25)가 보고한 흑광벼의 whole grain 600 $\mu\text{g/g sample}$ 과는 차이를 보였는데 이는 재배 시기 중 같은 품종이라 할지라도 비료나 농약 사용, 생육하는 동안의 기후 변화에 따른 재배 기간 등 벼의 성숙도 차이, 수확 후 관리상태 등에 따라서 시험물질 내 유용 성분의 추출률 차이로 인한 것으로 사료된다. 이러한 γ -oryzanol은 콜레스테롤 흡수 감소, HDL-콜레스테롤 증가 및 linoleic acid의 산화를 저해함으로써 인체에 유익한 영향을 주는 성분으로서 적어도 10개 이상의 phytosterol ferulate의 혼합물로서 약 80% 정도가 cycloartenyl ferulate, 24-methylenecycloartenyl ferulate 및 campesterol ferulate 등이 차지하고 있다고 보고하였다(26).

항산화 활성

현미의 발아 전후 70% 에탄올 추출물에 대한 ABTS cation decolorization assay 방법을 이용한 총 항산화력의 측정 은 AEAC(ascorbic acid equivalent antioxidant capacity) 값으로 산출하였으며 Fig. 2(A)에서 보는바와 같다. ABTS 라디칼 소거능 결과, 현미 홍진주벼가 다른 품종들과 비교하여 유의적인 차이를 나타내었으며 그 값은 5.725 mg AEAA/g sample로서 가장 높게 나타내었다. 이 결과는 현미 홍진주벼 1 g당 ascorbic acid 5.725 mg과 동일한 항산화력을 지니는 것으로 해석할 수 있다. 이는 곡물에서의 항산화 성분과 항산화 활성 간의 상관관계에 대하여 보고한 Seo 등(8),

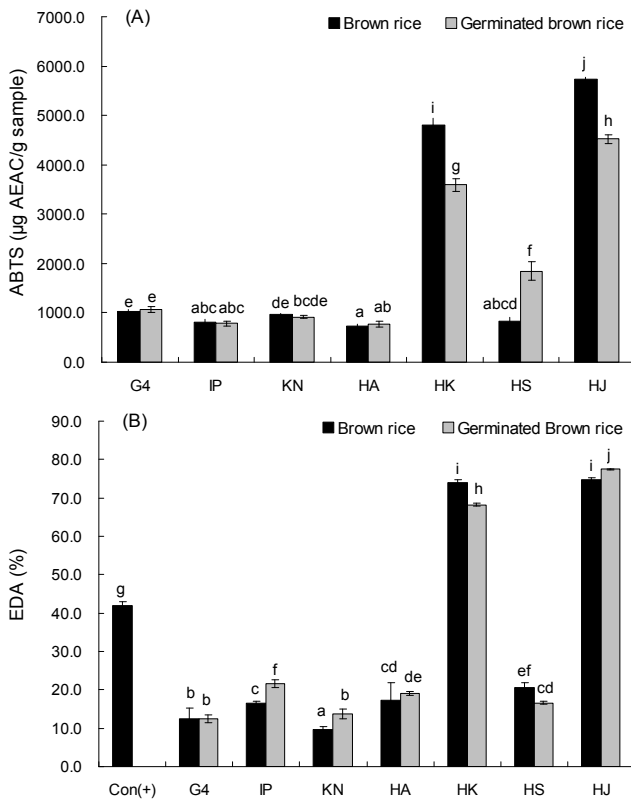


Fig. 2. ABTS radical activity (A) and DPPH (B) of brown rice and germinated brown rice from various cultivars. G4: *Goami 4*, IP: *Ipumbyeo*, KN: *Keunnunbyeo*, HA: *Haiami*, HK: *Heugkwangbyeo*, HS: *Hwaseongbyeo*, HJ: *Hongjijubyeo*. Different letters on bars indicate significant difference (by ANOVA and Duncan's test, $p < 0.05$). Positive control (Con(+)) and sample concentrations of EDA (electron donating activity) were 31.25 µg/mL of ascorbic acid and 1.0 mg/mL. AEAC of ABTS radical scavenging activity expressed ascorbic acid equivalent antioxidant activity.

Choi 등(27)의 연구에서와 같이 본 연구의 곡물에 다량 포함되어 있는 polyphenolic 화합물로 인하여 높은 활성을 나타내는 것으로 사료된다. 유색미인 홍진주벼와 흑광벼의 현미와 발아현미가 다른 품종에 비하여 ABTS 라디칼 소거능이 우수하였고 화성벼를 제외하고는 조사되어진 품종에서 발아 전후의 차이는 없었다(Fig. 2). DPPH 라디칼 소거능 측정 결과는 Fig. 2(B)에서 보는바와 같이 나타내었다. 발아 전후의 70% 에탄올 추출물 1 mg/mL 농도에서 항산화 활성으로 DPPH 라디칼 소거능을 측정한 결과 현미 홍진주벼가 74.73%, 현미 흑광벼가 74.04%로서 다른 품종들보다 자유라디칼

소거능이 높아 유의적인 차이를 보였으며 발아현미에서는 홍진주벼가 77.49%로서 다른 품종들에 비하여 자유라디칼 소거능이 가장 높았다. 본 연구에서의 positive control로서 ascorbic acid 31.25 µg/mL의 농도를 사용하였으며 그 결과 42.04%의 저해활성을 나타내었다. 결국 이를 통하여 발아 전후 상관없이 유색미인 홍진주벼와 흑광벼 두 품종의 항산화력이 높음을 알 수 있었다. 70% 에탄올 추출물의 환원력을 측정 한 결과 Table 2에 나타내었으며 품종별 발아 전후의 환원력은 항산화 성분의 수소공여능에 의한 것으로서 잠재적인 항산화 활성의 척도가 될 수가 있으며 현미와 발아현미 홍진주벼의 환원력은 1 mg/mL의 농도에서 각각 0.5822 (A_{700}), 0.4483(A_{700})으로 유의적인 차이를 보여주었으며 유색미를 제외한 나머지 품종들에서는 현미보다는 발아현미에서 환원력이 더 우수하였다. Positive control로 사용한 ascorbic acid 250 µg/mL의 농도에서 환원력은 0.3779(A_{700}) 값을 나타내었다. 이는 총 항산화력과 마찬가지로 polyphenolic 화합물이 높은 홍진주벼로 인하여 높은 활성을 나타내는 것으로 생각되어진다.

항산화 성분과 항산화력 간의 상관관계

벼 품종별 발아 전후의 항산화 성분과 활성과의 상관관계를 SPSS program으로 분석한 결과 Table 3에서 보는바와 같이 유의성을 보이는 것으로 나타났다. 하지만 품종별 발아 전후의 γ -oryzanol과 항산화활성(DPPH 라디칼 소거능, ABTS 라디칼 소거능, 환원력) 간에는 어떠한 상관관계를 보이지 않았다. 총 폴리페놀과 총 플라보노이드, 환원력, DPPH 및 ABTS 라디칼 소거능 간에 " r " 값은 각각 0.992, 0.972, 0.950, 0.992로 나타났다($p < 0.01$). 또한, 총 플라보노이드와 환원력, DPPH 및 ABTS 라디칼 소거능 간에 " r " 값은 각각 0.983, 0.947, 0.985($p < 0.01$)이었으며 환원력과 DPPH 및 ABTS 라디칼 소거능 간에 " r " 값은 0.932와 0.962로 나타났다($p < 0.01$). DPPH와 ABTS 라디칼 소거능 간에 " r " 값은 0.958이었다($p < 0.01$).

70% 에탄올 추출물의 *in vitro* 항암활성

품종별 발아 전후의 70% 에탄올 추출물에 대한 항암활성을 알아보기 위하여 유방암 세포(MCF-7)와 대장암 세포(HCT-116)에 처리하여 암세포 성장억제 정도를 확인하였다. 추출물을 100 µg/mL의 농도로 세포 저해율(cell growth

Table 3. Correlation coefficients among γ -oryzanol, total polyphenol, total flavonoid, reducing power, DPPH and ABTS radical scavenging activities of ethanol extract from brown rice and germinated brown rice

	γ -Oryzanol	Polyphenol	Flavonoid	Reducing power	DPPH	ABTS
γ -Oryzanol	1	0.210	0.248	0.203	0.075	0.223
Polyphenol	—	1	0.992**	0.972**	0.950**	0.992**
Flavonoid	—	—	1	0.983**	0.947**	0.985**
Reducing power	—	—	—	1	0.932**	0.962**
DPPH	—	—	—	—	1	0.958**
ABTS	—	—	—	—	—	1

** $p < 0.01$.

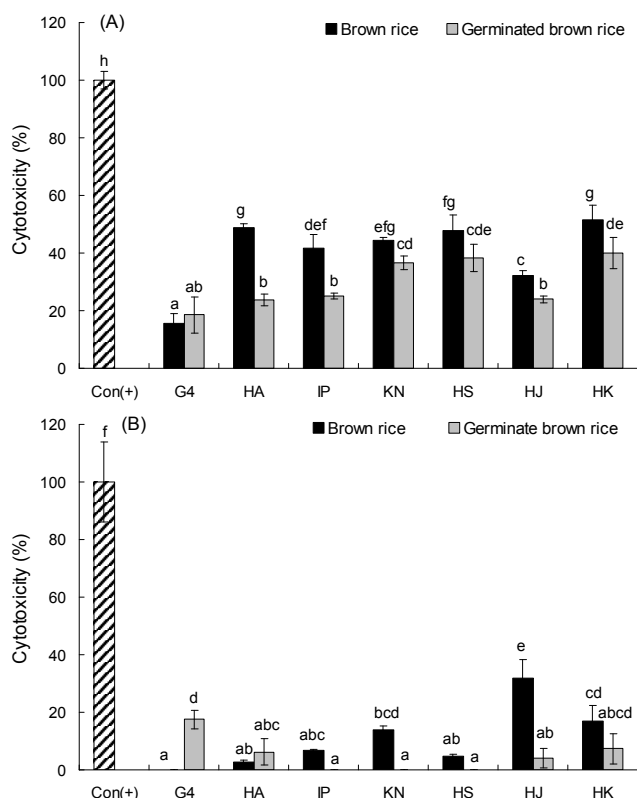


Fig. 3. Anti-proliferative activity of breast cancer (MCF7) (A) and colorectal cancer (HCT116) (B) of brown rice and germinated brown rice from various cultivars. G4: *Goami 4*, IP: *Ilpumbyeo*, KN: *Keunnunbyeo*, HA: *Haiami*, HK: *Heugkwangbyeo*, HS: *Hwaseongbyeo*, HJ: *Hongjijubyeo*. Positive control (Con(+)) and sample concentrations of anticancer activity were 100 $\mu\text{g/mL}$ of cisplatin and 100 $\mu\text{g/mL}$. Different letters on bars indicate significant difference (by ANOVA and Duncan's test, $p < 0.05$).

inhibition)을 측정된 결과 Fig. 3과 같이 나타났다. 유방암 세포(MCF-7)의 독성을 관찰한 결과 고아미 4호를 제외하고는 현미가 발아현미보다 더 좋은 효과를 나타내었으며 현미 고아미 4호의 암세포 저해율 15.61%를 제외하고는 조사되어진 현미 품종들의 암세포 저해율은 대부분 32~52%로 나타내었으며 그중 흑광벼 현미가 51.67%로서 가장 좋은 효과를 보여주었다. 또한 발아현미의 암세포 저해율은 18.58~39.93%로 나타났으며 가장 높은 저해율을 보여준 품종은 흑광벼이었지만 현미 하이아미, 현미 큰눈벼, 현미 화성벼와 함께 유의적인 차이($p < 0.05$)를 보여주었다. 이전의 연구결과에서 Woo 등(28)은 정조 하이아미 70% 에탄올 추출물을 유방암 세포에 처리하였을 경우 IC_{50} 이 330.40 $\mu\text{g/mL}$ 이었으며 정조 및 현미 추출물의 암세포에 대한 억제활성은 용량 의존적으로 증가하는 것으로 나타났으며 특히 하이아미 추출물은 위암 및 유방암세포에서 높은 활성을 나타낸다고 보고하였다. 또한 Sung과 Park(29)은 유방암 세포(MCF-7)에 현미 시료 메탄올 및 아세톤 추출물을 각각 처리하였을 경우 전반적으로 시간의 경과에 따라 농도 의존적으로 암세포 성장을 억제한다고 보고하였다. 품종별 발아 전후의 70% 에탄

올 추출물에 대한 대장암 세포(HCT-116)의 독성을 관찰한 결과, 100 $\mu\text{g/mL}$ 의 농도에서 대부분이 발아와 상관없이 효과를 나타내지 않았으며 그중 특수미인 하이아미, 홍진주벼 및 흑광벼만이 발아 전후의 대장암 세포 억제 활성을 나타내었다. 하지만 고아미 4호는 발아현미에서만 일품벼, 큰눈벼 그리고 화성벼는 현미에서만 암세포 저해 효과를 나타내었으며 총 폴리페놀 함량이 다량 포함된 현미 홍진주벼 추출물에서는 32%의 저해율을 나타내어 유의적인 차이($p < 0.05$)를 보여주었다. Woo 등(28)은 일품벼 정조 추출물에 대한 대장암 세포 억제율을 IC_{50} 이 843.29 $\mu\text{g/mL}$ 로 나타내었다.

70% 에탄올 추출물의 in vitro 면역활성

품종별 발아 전후의 70% 에탄올 추출물에 대한 면역활성을 알아보기 위하여 마크로파지 활성화와 면역체계를 자극할 수 있는 물질을 통칭하는 마이토제닉 활성 정도를 확인하였다. 품종별 발아 전후의 70% 에탄올 추출물 500 $\mu\text{g/mL}$ 의 농도로 각각 면역 세포에 처리하였을 경우 Fig. 4와 같이 나타났다. 마크로파지 활성화 결과 negative control(saline)과 비교하여 현미 고아미 4호, 현미 화성벼, 현미 홍진주, 발아현

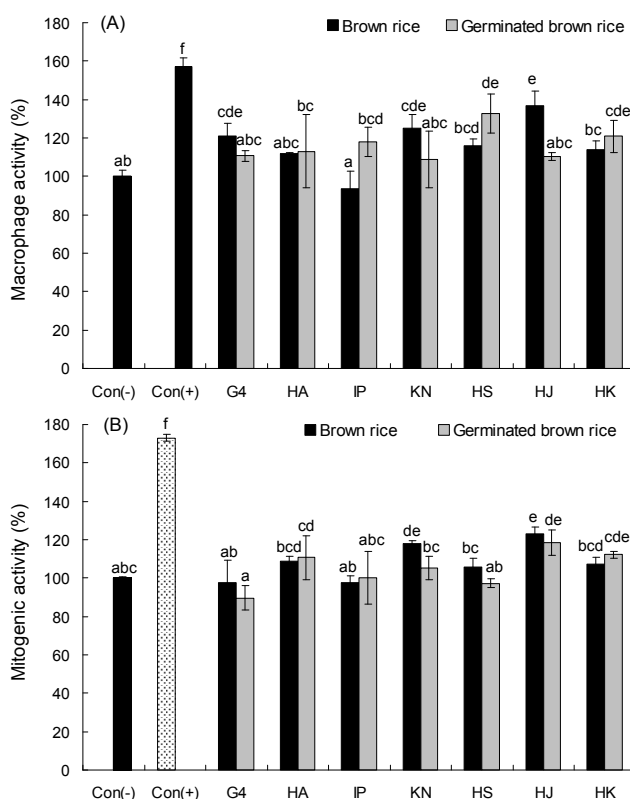


Fig. 4. Macrophage activity (A) and mitogenic activity (B) of ethanol extracts from brown rice and germinated brown rice at 500 $\mu\text{g/mL}$ concentration. G4: *Goami 4*, IP: *Ilpumbyeo*, KN: *Keunnunbyeo*, HA: *Haiami*, HK: *Heugkwangbyeo*, HS: *Hwaseongbyeo*, HJ: *Hongjijubyeo*. Positive control (Con(+)) and negative control (Con(-)) of macrophage activity were 100 $\mu\text{g/mL}$ of lipopolysaccharide (LPS) and saline. Positive control (Con(+)) and negative control (Con(-)) of mitogenic activity were 10 $\mu\text{g/mL}$ of LPS and saline. Different letters on bars indicate significant difference (by ANOVA and Duncan's test, $p < 0.05$).

미 화성비 및 발아현미 흑광벼에서 유의적인 차이($p < 0.05$)를 나타내었으며 positive control은 LPS 100 $\mu\text{g/mL}$ 의 농도로 처리하였을 경우 157.2%의 마크로파지 활성을 나타내었다. 마이토제닉 활성 측정 결과, 발아 전에는 큰눈벼, 홍진주벼가 발아 후에는 홍진주벼에서 negative control(saline)에 비하여 유의적인 차이($p < 0.05$)를 나타내었다.

요 약

벼 품종별 발아 전후의 70% 에탄올 추출물에 대한 항산화 성분(폴리페놀, 플라보노이드), 항산화 활성(ABTS 라디칼 소거능, DPPH 라디칼 소거능, 환원력), 항암활성 및 면역활성을 비교·분석하여 기능적 가치를 평가함으로써 이용 가능성을 살펴보고자 하였다. 그 결과 총 폴리페놀 함량은 발아 전후 상관없이 홍진주벼에서 각각 5,600.44 $\mu\text{g GAE/g sample}$ 과 4,599.52 $\mu\text{g GAE/g sample}$ 로 가장 높게 측정되었으며 총 플라보노이드 함량은 유색미인 홍진주벼에서 1,841.17 $\mu\text{g GAE/g sample}$ (현미), 1,296.77 $\mu\text{g CA/g sample}$ (발아현미)에서 높게 나타났다. γ -Oryzanol 함량은 홍진주벼에서 643.14 $\mu\text{g/g sample}$ 로서 가장 높게 측정되었다. 품종별 발아 전후의 70% 에탄올 추출물에 대한 ABTS 라디칼 소거능, DPPH 라디칼 소거능, 환원력은 1 mg/mL 의 농도에서 측정된 결과 유색미인 홍진주벼와 흑광벼의 현미에서 높은 활성을 나타내었다. 70% 에탄올 추출물에 대한 *in vitro* 항암활성을 측정된 결과 대장암 세포보다는 유방암 세포에서 더 강한 암세포 억제능을 관찰할 수 있었으며 발아현미보다 일반현미에서 다소 나은 결과를 나타내었다. 또한 500 $\mu\text{g/mL}$ 의 농도에서 면역활성을 측정된 결과 유색미인 홍진주벼에서 발아 전후 상관없이 조사되어진 다른 품종들보다 높은 활성을 보였다.

문 헌

- Kim DJ, Oh SK, Yoon MR, Chun AR, Hong HC, Lee JS, Kim YK. 2010. Antioxidant compounds and antioxidant activities of the 70% ethanol extracts from brown and milled rice by cultivar. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 39: 467-473.
- Mo KH, Choi, YM, Choi SG, Lee JS. 2006. The change of some compounds in brown rice germinated by filtrate of loess suspension. *J Agriculture and Life Sciences* 40: 41-48.
- Kim SL, Son YK, Son JR, Hur HS. 2001. Effect of germination condition and drying methods on physicochemical properties of sprouted brown rice. *Korean J Crop Sci* 46: 221-228.
- Kim SS, Kim YK, Lee WJ. 1998. Microwave vacuum drying of germinated brown rice as a potential raw material for enzyme food. *Korean J Food Sci Technol* 30: 1107-1113.
- Jang SS. 1998. Method of germinating with brown rice. *Korean Patent* 1998-0247686.
- Oh YS. 2002. Study on nutritional properties of sprouting brown rice. *MS Thesis*. Kongju National University, Chungnam, Korea.
- Kang BR, Park MJ, Lee HS. 2006. Germination dependency of antioxidative activities in brown rice. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 35: 389-394.
- 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.
- Choi HD, Park YK, Kim YS, Chung CH, Park YD. 2004. Effect of pretreatment conditions on γ -aminobutyric acid content of brown rice and germinated brown rice. *Korean J Food Sci Technol* 36: 761-764.
- Jung HY, Lee DH, Baek HY, Lee YS. 2008. Pre- and post germination changes in pharmaceutical compounds of germinated brown rice. *Korean J Crop Sci* 53: 37-43.
- Kang MY, Lee YR, Nam SH. 2003. Characterization of the germinated rices to examine an application potentials as functional rice processed foods. *Korean J Food Sci Technol* 35: 696-701.
- Kum JS, Choi BK, Lee HY, Park JD, Park HJ. 2004. Physicochemical properties of germinated brown rice. *Korean J Food Preserv* 11: 182-188.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- Mau JL, Lin IIC, Song SF. 2002. Antioxidant properties of several specialty mushrooms. *Food Res Int* 35: 519-526.
- 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.
- Mosmann T. 1983. Rapid colorimetric assay for cellular growth and survival: application to proliferation and cytotoxicity assays. *J Immunol Meth* 65: 55-63.
- Kim H, Park CK, Jeong JH, Jeong HS, Lee HY, Yu KW. 2009. Immune stimulation and anti-metastasis of crude polysaccharide from submerged culture of *Hericium erinaceum* in the medium supplemented with Korean ginseng extracts. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 38: 1535-1542.
- Scalbert A, Johnson IT, Saltmarsh M. 2005. Polyphenols: antioxidants and beyond. *Am J Clin Nutr* 81: 215S-217S.
- 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.
- 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.
- Shen Y, Jin L, Xiao P, Lu Y, Bao J. 2009. Total phenolics, flavonoids, antioxidant capacity in rice grain and their relations to grain color, size and weight. *J Cereal Sci* 49: 106-111.
- Kong S, Lee J. 2009. Antioxidants in milling fractions of black rice cultivars. *Food Chem* 120: 278-281.
- 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-methyl-propionamide) dihydrochloride. *J Agric Food Chem* 49: 2077-2081.
27. Choi Y, Jeong HS, Lee J. 2007. Antioxidant activity of methanolic extracts from some grains consumed in Korea. *Food Chem* 13: 130-138.
28. Woo KS, Chun A, Oh SK, Kim KJ, Kim DJ, Yang CI, Kim YG, Kim JH, Jeong HS. 2010. Antioxidant and antitumor activities of ethanol extracts from unhulled and hulled rice *Hiami* (*Oryza sativa* L. cv. *Hiami*). *J Korean Soc Food Sci Nutr* 39: 179-185.
29. Sung MK, Park MY. 2002. Cytotoxic and apoptotic effects of soybean and brown rice extracts on hormone dependent/independent breast cancer cell lines. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 31: 521-526.

(2011년 3월 10일 접수; 2011년 5월 13일 채택)