J Korean Soc Food Sci Nutr
40(7), 1043~1047(2011)

한국식품영양과학회지
DOI: 10.3746/jkfn.2011.40.7.1043

유색보리 Methanol 추출물의 항산화 성분 및 항산화 활성

– 연구노트 –

박수민 · 최용민 · 김영화 · 함현미 · 정헌상 · 이준수†
충북대학교 식품공학과

Antioxidant Content and Activity in Methanolic Extracts from Colored Barley

Sumin Park, Youngmin Choi, Younghwa Kim, Hyeonmi Ham, Heon-Sang Jeong, and Junsoo Lee†
Dept. of Food Science and Technology, Chungbuk National University, Chungbuk 361-763, Korea

Abstract

We examined the antioxidant content and activity in methanolic extracts from split polished barley (Spb), pearled black barley (Pbb), hulled yellow barley (Hyb), hulled purple barley (Hpb), and hulled black barley (Hbb). The extraction yields of Spb, Pbb, Hyb, Hpb, and Hbb were 2.85, 3.62, 4.62, 4.41, and 6.58%, respectively. The polyphenolic and flavonoid contents were 57.93 and 24.02 for Spb, 64.01 and 27.92 for Pbb, 122.88 and 36.38 for Hyb, 134.94 and 36.51 for Hpb, and 163.43 and 39.70 mg/100 g for Hbb, respectively. The antioxidant activity of hulled barley was significantly higher than that of split or pearled barley. The results of this study show that the antioxidant activity in barley bran has significant health benefits.

Key words: colored barley, antioxidant activity, polyphenolics, flavonoids, bran

서 론

최근 생활수준의 향상으로 인해 식품의 영양학적 측면에서 생체방어, 질병의 방지 및 회복, 노화억제 등의 건강 기능성에 대한 관심이 증가되고 있다. 체내 신진대사와 산화된 식품의 섭취로 인해 기인되는 ROS(reactive oxygen species) 및 RNS(reactive nitrogen species)는 지질, 단백질 그리고 핵산과 같은 체내 주요 물질의 비가역적 손상을 야기하며 인간의 노화 및 만성질환을 유발한다. 따라서 체내에서는 유해한 ROS 및 RNS를 제거하기 위해 여러 효소적, 비효소적 반응이 진행된다(1-4). 여러 연구결과에 의하면 곡류 및 과채류 등과 같은 식물성 식품을 충분히 섭취하는 것이 노화지연 및 심혈관질환, 동맥경화, 암, 당뇨 등과 같은 만성질환의 예방과 치료에 도움이 되는 것으로 밝혀지고 있다(5,6).

잡곡은 쌀과 비교하여 열등작물로 여겨져 왔으나 비타민, 무기질 및 식이섬유가 다량 함유되어 있어 최근 그 역할이 중요시되고 있다. 잡곡에 대한 연구로는 옥수수의 생리활성, 조의 정장작용 및 불면증 치료에 관한 연구 및 한국산 잡곡류의 항산화 활성 등이 보고되어 있다(7). 보리(barley, *Hordeum vulgare* L.)는 우리 식생활에서 쌀 다음으로 중요한 기본 식량으로써 보리쌀, 압맥, 할맥의 형태로 주로 혼반용으로 이용되고 있으며 다른 맥류보다 주식으로 이용하기에 적당하고 영양 및 기능성면에서도 단백질, 칼슘, 식이섬유 등이 풍부하게 함유되어 있다(8). 보리에는 식이섬유인 β-glucan의 함량이 높아 체내 혈중 콜레스테롤 수치를 저하시킴으로써 심장질환을 예방하고 체지방의 축적을 억제하여 비만에 수반되는 증상을 완화하는 등 성인병 예방에 효과가 있는 것으로 알려져 있다(9). 또한, 보리 추출물을 이용하여 알코올 유도 P450 계열 효소 활성을 조절함으로써 라디칼 및 중간체의 발생 감소와 항산화 효소의 활성증강에 의한 보호효과를 제시하고 있다(10). 천연식품에 존재하는 색소성분은 인체 내에서 다양한 생리활성효과를 나타내는 것이 과학적으로 증명됨에 따라 유색작물의 육종에 관한 연구가 증가하고 있다. 대표적인 유색작물인 흑미와 검정콩에는 anthocyanin이 풍부하여 그에 따른 항산화, 항돌연변이, 항암 및 항염증 효과를 가지는 것으로 밝혀졌다(11,12). 또한, 국내에서 다양한 품종으로 개발된 유색보리 계통이 전자 공여능, SOD-유사활성, lecithin 산화 저해활성 및 라디칼 소거능이 높은 것으로 보고되었다(13). 흑색보리의 안토시아닌 색소의 함량은 자색이나 청색보리보다 높은 것으로 보고되고 있으며 유색보리의 경우 일반 보리보다 항산화 성분이 높은 것으로 조사되면서 유색보리를 통한 기능성식품의 개발 가능성이 제기되고 있다(14). 따라서 본 연구에서는 유색보리의 항산화 성분과 항산화 활성을 측정하여 보고하고자 한다.

†Corresponding author. E-mail: junsoo@chungbuk.ac.kr
Phone: 82-43-261-2566, Fax: 82-43-271-4412

재료 및 방법

재료 및 시약

본 실험에서 사용된 보리는 할맥(split polished barley; Spb), 정맥상태의 흑맥(pearled black barley; Pbb), 현맥상태의 황맥(hulled yellow barley; Hyb), 자맥(hulled purple barley; Hpb), 흑맥(hulled black barley; Hbb)으로 할맥은 국내청주지역 대형할인마트에서 구입하였으며, 할맥 이외의 모든 유색보리는 (주)청맥(전북 고창)에서 2010년에 제공받아 시료로 사용하였다. 본 연구에 사용된 gallic acid, (±)-catechin, sodium nitrite, aluminum chloride hexahydrate, Folin-Ciocalteu reagent, ferric chloride, ferrozine, ABTS (2,2-azino-bis-(3-ethylbenzothiazoline-6-sulphonic acid)), potassium ferricyanide, DPPH(1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl), ferrous chloride 등은 Sigma-Aldrich Co.(St. Louis, MO, USA)에서 구입하여 사용하였다. 그 밖에 사용된 추출용매 및 시약은 analytical 및 HPLC 등급을 사용하였다.

Methanol 추출물의 제조

본 실험에서 사용된 유색보리는 분쇄기를 이용하여 분쇄하였으며, 분쇄된 시료 30 g에 시료 무게 10배의 methanol을 가한 후, 상온에서 24시간 교반 추출하였다. 추출 후 고형분은 filter paper(Toyo Roshi Kaisha, Ltd., Tokyo, Japan)를 이용하여 분리하였으며 상등액은 감압 농축기(EYELA, Tokyo, Japan)를 이용하여 농축하였다. 추출물은 methanol을 이용하여 재용해 하였으며, 모든 추출물의 농도를 10 mg/mL로 조정하여 -20°C에서 보관하면서 실험에 사용하였다.

총 polyphenolic 함량 측정

총 polyphenolic 함량은 Folin-Ciocalteu 방법을 이용하여 측정하였다. 각 추출액 100 μL에 2% Na_2CO_3 용액 2 mL를 가하고 3분 방치한 후 50% Folin-Ciocalteu's reagent 100 μL를 가하였다. 3분 반응 후 750 nm에서 흡광도를 측정하였고 표준물질로 gallic acid를 사용하였다(15).

총 flavonoid 함량 측정

추출액 250 μL에 증류수 1.25 mL, 5%(w/v) $NaNO_2$ 75 μL를 가한 후 6분 방치하고 10% $AlCl_3 \cdot 6H_2O$ 150 μL를 가하였다. 5분 반응 후 1 M NaOH 500 μL를 가하고 510 nm에서 흡광도를 측정하였으며 표준물질로는 catechin을 사용하였다(16).

ABTS radical을 이용한 항산화력의 측정

ABTS radical 제거능은 Re 등(17)의 방법에 의하여 측정하였다. ABTS 7.4 mM과 potassium persulphate 2.6 mM을 하루 동안 암소에 방치하여 ABTS radical cation을 형성시킨 후 이 용액을 734 nm에서 흡광도 값이 1.0이 되도록 몰흡광계수($\varepsilon = 3.6 \times 10^4\ mol^{-1}cm^{-1}$)를 이용하여 증류수에 희석하였다. 희석된 ABTS radical 용액 1 mL에 methanol 추출물 30 μL를 가하여 60분간 반응시킨 후 734 nm에서 흡광도를 측정하였다. 표준물질로는 Trolox를 이용하였으며 시료의 항산화력(Trolox equivalent antioxidant capacity, TEAC)은 아래의 식으로 계산하였다.

$$TEAC = \frac{\Delta A_{sample}}{\Delta A_{Trolox}} \times C_{Trolox} \times V \times \frac{100}{W} \times DF$$

ΔA_{sample}: 추출물을 넣었을 때의 흡광도 값의 변화
ΔA_{Trolox}: 추출물 대신 Trolox가 동량 들어갔을 때의 흡광도 값의 변화
C_{Trolox}: Trolox 표준용액의 농도(mg/mL)
V: 추출물 제조 시 정용 부피(mL)
W: 추출에 사용된 시료의 무게(g)
DF: 추출물의 희석배수

DPPH radical을 이용한 항산화력의 측정

DPPH radical 제거능은 Kim 등(18)의 방법을 응용하여 측정하였다. DPPH 용액 0.2 mM, 1 mL에 methanol 추출물 50 μL를 가하고 10분 반응시킨 후 흡광도의 변화를 520 nm에서 측정하였다. Trolox를 이용하여 표준곡선을 작성한 후 시료의 항산화력(TEAC)을 계산하였다.

환원력 측정

유색보리 methanol 추출물의 환원력은 Mau 등(19)의 방법을 변형하여 측정하였다. Methanol 추출물 200 μL에 증류수 250 μL, 1% potassium ferricyanide 250 μL를 혼합하여 50°C에서 20분간 반응시킨 후 1% trichloroacetic acid를 가하였다. 위 반응액을 10,000 rpm에서 1분간 원심분리 하여 상등액 500 μL에 증류수 500 μL를 혼합하고, 0.1% ferric chloride 100 μL를 가하여 700 nm에서 반응액의 흡광도를 측정하였다.

금속이온 제거능 측정

금속이온 제거력은 Dinis 등(20)의 방법을 변형하여 사용하였다. Methanol 추출물 1 mL, 1 mM ferrous chloride 100 μL, 5 mM ferrozine 100 μL, methanol 3 mL을 혼합하여 10분간 상온에서 반응시킨 후 562 nm에서 반응액의 흡광도를 측정하였다.

통계처리

유색보리의 항산화 활성 및 성분의 통계처리는 SAS version 9.1(SAS institute Inc., Cary, NC, USA)을 통하여 분석하였다. 시료 항산화 활성의 유의성 분석을 위해 ANOVA 검정을 실시하였으며 Duncan의 다중범위검정법(Duncan's multiple range test)으로 유의성을 검정하였다.

결과 및 고찰

유색보리 methanol 추출물의 항산화 성분

페놀성 화합물은 식물계에 널리 분포하며 2차 대사산물로

Table 1. Polyphenolics and flavonoids contents of the methanolic extracts obtained from colored barley and extraction yields

Source	Polyphenolics[1)] (mg gallic acid eq/100 g)	Flavonoids[1)] (mg catechin eq/100 g)	Yield (%)
Split polished barley (Spb)	57.93±1.74[d2)]	24.02±1.78[c]	2.85
Pearled black barley (Pbb)	64.01±1.93[d]	27.92±2.43[b]	3.62
Hulled yellow barley (Hyb)	122.88±6.64[c]	36.38±1.40[a]	4.62
Hulled purple barley (Hpb)	134.94±5.54[b]	36.51±1.62[a]	4.41
Hulled black barley (Hbb)	163.43±6.48[a]	39.70±1.59[a]	6.58

[1)]Mean of triplicate determinations±standard deviation.
[2)]Values in a column followed by the different superscript letters are significantly different ($p<0.01$).

식물 내에 축척된다고 알려져 있다. 특히 페놀성 화합물들은 생체 내에서 다양한 생리활성을 나타내는 것으로 알려지면서 천연소재로부터 항산화 물질을 추출하려는 연구가 다각도에서 이루어지고 있다. 유색보리 추출물의 수율은 Table 1에 나타낸 것과 같이 할맥과 정맥상태의 흑맥은 2.85, 3.62 %로 나타났으며, 현맥상태의 황맥, 자맥, 흑맥의 경우 4.62, 4.41, 6.58%로 각각 나타났다. Oki 등(21)의 연구에 의하면, methanol을 추출용매로 사용할 경우 높은 항산화 활성물질과 성분이 함유되어 있다고 보고된바 있다. 곡류에 함유되어 있는 항산화 물질 중 하나인 polyphenol 화합물은 우수한 항산화력을 가지고 있는 것으로 이미 알려져 있다(22). Polyphenol 함량은 샘플 100 g에 함유하고 있는 항산화 성분을 mg 수준으로 나타내었으며, 표준물질로 gallic acid를 사용하였다. 유색보리의 polyphenol 함량은 할맥과 정맥상태의 흑맥은 57.93과 64.01 mg/100 g으로 나타났으며, 현맥상태의 황맥, 자맥 및 흑맥은 각각 122.88, 134.94, 163.43 mg/100 g으로 분석되었다. Choi 등(5)과 Siebenhandl 등(23)의 연구에 따르면 보리의 polyphenol 함량은 약 50 mg/100 g으로 보고된바 있으며, 흑맥의 경우 약 169 mg/100 g을 함유한다고 보고된바 있다. 본 연구결과 polyphenol 함량은 할맥과 비교했을 때 정맥, 현맥 상태의 유색보리에서 더 높은 것으로 나타났으며, 정맥상태의 흑맥보다 현맥상태의 흑맥에서 높게 나타났다. Flavonoid는 노란색 또는 적자색을 띄는 색소 화합물로서 식물 중에는 대부분 당과 결합된 배당체(glycoside) 형태로 존재하며 polyphenol에 속하는 것으로 알려져 있다. 본 실험에서는 catechin을 표준물질로 사용하였으며 실험결과 flavonoid의 함량은 할맥, 정맥상태의 흑맥에서 24.02와 27.92 mg/100 g으로 나타났으며, 현맥상태의 황맥, 자맥 및 흑맥은 36.38, 36.51, 39.70 mg/100 g으로 각각 분석되었다. 전반적으로 현맥상태의 유색보리가 더 높은 polyphenol 및 flavonoid 함량을 보였다. 쌀의 항산화 성분에 관련된 연구에 의하면 whole grain보다 도정 후 rice bran층에 7~8배 높은 항산화 성분이 함유되었다고 보고된 바 있다(24). 이 결과를 통하여 보리 또한 겨(bran) 층에 높은 항산화 성분을 함유하고 있는 것으로 생각된다.

유색보리 methanol 추출물의 항산화 활성

ABTS radical을 이용한 총 항산화력은 Fig. 1에 나타내었다. 항산화력은 현맥상태의 흑맥>자맥>황맥>정맥상태의 흑맥>할맥 순으로 측정되었으며, 현맥상태의 흑맥이 가장 높은 항산화력을 보였다. Polyphenolic 화합물과 ABTS radical 제거활성과의 높은 연관성을 보고한 연구(5)와 같이 본 실험에서도 polyphenol 함량이 높을수록 ABTS radical 제거능도 높아지는 것으로 나타났다. DPPH radical을 이용한 항산화력 측정은 Fig. 2에 나타내었다. 할맥 198.69, 정맥상태의 흑맥 219.54, 황맥 515.71, 자맥 564.25 및 현맥상태의 흑맥 679.55 mg TEAC/100 g으로 각각 측정되었으며, 가장

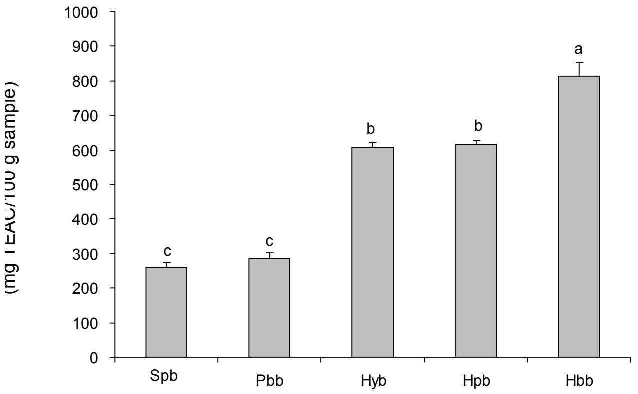

Fig. 1. ABTS radical scavenging activities of methanolic extracts from colored barley (Spb: split polished barley, Pbb: pearled black barley, Hyb: hulled yellow barley, Hpb: hulled purple barley, Hbb: hulled black barley). Different letters above the bars indicate statistically significant differences at $p<0.01$.

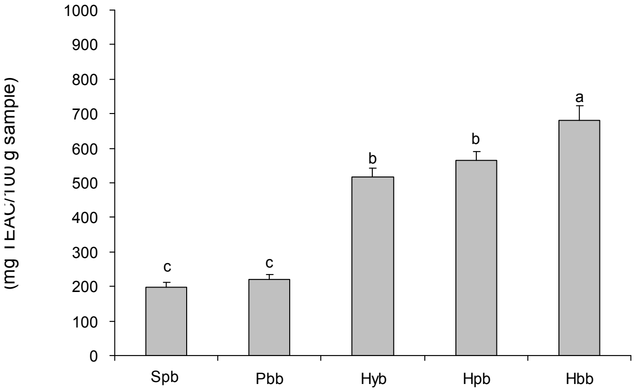

Fig. 2. DPPH radical scavenging activities of methanolic extracts from colored barley (Spb: split polished barley, Pbb: pearled black barley, Hyb: hulled yellow barley, Hpb: hulled purple barley, Hbb: hulled black barley). Different letters above the bars indicate statistically significant differences at $p<0.01$.

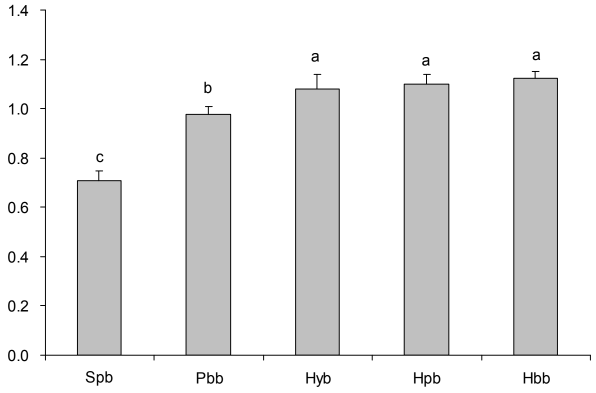

Fig. 3. Reducing power of methanolic extracts (10 mg/mL) from colored barley (Spb: split polished barley, Pbb: pearled black barley, Hyb: hulled yellow barley, Hpb: hulled purple barley, Hbb: hulled black barley). Different letters above the bars indicate statistically significant differences at $p<0.01$.

높게 나타난 현맥상태인 흑맥의 항산화력의 경우 시료 100 g이 Trolox 679.55 mg과 동일한 항산화력을 가지고 있다고 해석할 수 있다. 이전 연구에 의하면 polyphenolic 화합물중 flavonoid 계열의 화합물이 DPPH radical을 효과적으로 제거하는 것으로 보고되었다(25). 본 실험에서도 flavonoid 함량이 높을수록 DPPH radical 소거능도 높아지는 것을 확인하였다. 환원력은 항산화 능력과 관련이 있는 중요한 인자로서 항산화제와 같이 환원력을 가진 물질은 Fe^{3+}-ferricyanide 복합체를 Fe^{2+} 형태로 환원시켜 푸른색을 띄게 한다(26). 본 실험에서 유색보리 methanol 추출물은 10 mg/mL의 농도를 사용하였으며 그 결과는 총 항산화력과 마찬가지로 할맥에 비해 정맥상태의 흑맥의 환원력이 더 높게 나타났으며 정맥상태의 보리보다 현맥상태의 보리가 더 높은 환원력을 나타내었다(Fig. 3). 현맥상태의 유색보리의 환원력은 황맥<자맥<흑맥 순으로 증가하였으나 시료간의 유의적인 차이를 보이지 않았다. 유색보리 methanol 추출물의 금속이온 제거능은 할맥<정맥상태의 흑맥<현맥상태의 자맥<현맥상태의 흑맥<현맥상태의 황맥 순으로 나타났다(Fig. 4). 할맥과 정맥상태의 흑맥의 경우 유의적인 차이가 있는 것으로 나타났으나 현맥 상태의 자맥과 흑맥에서는 유의적인 차이를 보이지 않았다. Graf와 Eaton의 연구(27)에 의하면 DPPH와 ABTS 등의 실험은 유리라디칼을 제거하는 실험이며, 금속이온 제거능은 금속을 제거하는 실험으로서 두 실험은 물질간의 작용기작의 차이가 있다고 보고되어진바 있다.

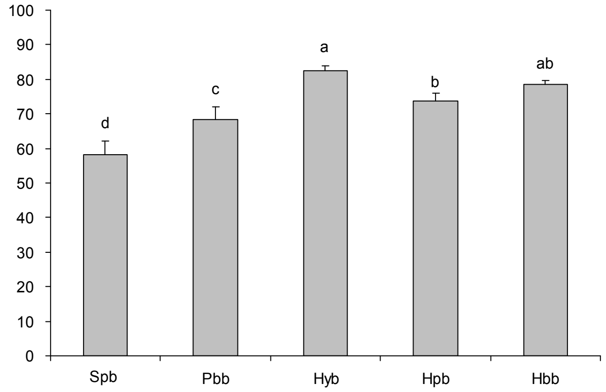

Fig. 4. Chelating effect of methanolic extracts (10 mg/mL) from colored barley on ferrous ion (Spb: split polished barley, Pbb: pearled black barley, Hyb: hulled yellow barley, Hpb: hulled purple barley, Hbb: hulled black barley). Different letters above the bars indicate statistically significant differences at $p<0.01$.

본 연구를 통해 할맥보다 유색보리의 항산화 성분과 활성이 높게 측정되었으며 도정된 상태의 정맥보다 도정되지 않은 현맥상태의 보리가 높은 항산화 성분과 활성을 나타내는 것으로 분석되었다. 이는 유색보리의 항산화 성분이 겨(bran)층에 많이 분포하는 것으로 생각된다. 본 연구 결과는 유색보리의 기능성 연구 및 이를 이용한 기능성 제품의 개발에 있어 기초자료로 이용될 것으로 기대된다.

요 약

본 연구는 할맥(Spb), 정맥상태의 흑맥(Pbb), 현맥상태의 유색보리(황맥: Hyb, 자맥: Hpb, 흑맥: Hbb) methanol 추출물의 항산화 성분과 항산화 활성을 비교하고자 하였다. 추출수율은 할맥, 정맥상태의 흑맥, 현맥상태의 유색보리(황맥, 자맥, 흑맥)에서 각각 2.85, 3.62, 4.62, 4.41과 6.58%를 나타내었다. Polyphenol과 flavonoid 함량은 시료 100 g당 Spb가 57.93과 24.02 mg, Pbb가 64.01과 27.92 mg, Hyb가 122.88과 36.38 mg, Hpb가 134.94와 36.51 mg, Hbb가 163.43 and 39.70 mg으로 분석되었다. 항산화 활성도 이와 비슷하게 현맥상태의 유색보리가 할맥과 정맥상태의 흑맥보다 높았다. 이는 유색보리의 항산화 성분이 겨(bran) 층에 많이 분포하는 것으로 생각된다. 본 연구 결과는 유색보리의 기능성 연구 및 이를 이용한 기능성 제품의 개발에 있어 기초자료로 이용될 것으로 기대된다.

감사의 글

이 논문은 2010년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비 지원에 의하여 연구되었으며 이에 감사드립니다.

문 헌

1. Auroma OI. 1998. Free radicals, oxidative stress, and antioxidants in human health. and disease. *JAOCS* 75: 199-212.
2. Halliwell BH, Gutteridge JMC. 1990. Role of free radical and catalytic metal ions in human disease: an overview. *Methods Enzymol* 186: 1-85.
3. Fang YZ, Yang S, Wu G. 2002. Free radical, antioxidant, and nutrition. *Nutrition* 18: 872-879.
4. Morrissey PA, O'Brien NM. 1998. Diet and health: what should we eat? *Science* 254: 532-537.
5. Choi Y, Jeong HS, Lee J. 2007. Antioxidant activity of methanolic extracts from some grains consumed in Korea.

Food Chem 103: 130-138.
6. Temple NJ. 2000. Antioxidant and disease: more question than answer. *Nutr Res* 20: 449-459.
7. Lee HK, Hwang IG, Kim HY, Woo KS, Lee SH, Woo SH, Lee J, Jeong HS. 2010. Physicochemical characteristic and antioxidant activities of cereals and legumes in Korea. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 39: 1399-1404.
8. Baik BK, Ullrich SE. 2008. Barley for food: characteristics, improvement, and renewed interest. *J Cereal Sci* 48: 233-242.
9. Kalra S, Jood S. 2000. Effect of dietary barley β-glucan on cholesterol and lipoprotein fractions in rats. *J Cereal Sci* 31: 141-145.
10. Lee YH, Lee J, Im EJ, Jun W, Cho HY. 2009. Modulation of ethanol-induced P450 enzyme activity and antioxidant in mice by *Hordeum vulgare* extract. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 38: 1347-1352.
11. Min SW, Ryu SN, Kim DH. 2010. Anti-inflammatory effects of black rice, cyanidin-3-O-β-D-glycoside, and its metabolites, cyanidin and protocatechuic acid. *Int Immunopharmacol* 10: 959-966.
12. Nizamutdinova IT, Kim YM, Chung JI, Shin SC, Jeong YK, Seo HG, Lee JH, Chang KC, Kim HJ. 2009. Anthocyanins from black soybean seed coats stimulate wound healing in fibroblasts and keratinocytes and prevent inflammation in endothelial cells. *Food Chem Toxicol* 47: 2806-2812.
13. Song ES, Park SJ, Woo NRA, Won MH, Choi JS, Kim JG, Kang MH. 2005. Antioxidant capacity of colored barley extracts by varieties. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 34: 1491-1497.
14. Kim MJ, Hyun JN, Kim JA, Park JC, Kim MY, Kim JG, Lee SJ, Chun SC, Chung IM. 2007. Relationship between phenolic compounds, anthocyanins content and antioxidant activity in colored barley germplasm. *J Agric Food Chem* 55: 4802-4809.
15. Dewanto V, Wu X, Adom KK, Liu RH. 2002. Thermal processing enhances the nutritional value of tomatoes by increasing total antioxidant activity. *J Agric Food Chem* 50: 3010-3014.
16. Jia Z, Tang M, Wu J. 1999. The determination of flavonoid contents in mulberry and they scavenging effects on superoxide radicals. *Food Chem* 64: 555-559.
17. 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 Radical Biol Med* 26: 1231-1237.
18. 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.
19. Mau JL, Lin IIC, Song SF. 2002. Antioxidant properties of several specialty mushrooms. *Food Res Int* 35: 519-526.
20. Dinis TCP, Madeira VMC, Almeida LM. 1994. Action of phenolic derivatives (acetaminophen, salicylate, and 5-aminosalicylate) as inhibitors of membrane lipid peroxidation and as peroxyl radical scavengers. *Arch Biochem Biophys* 315: 161-169.
21. Oki T, Masuda M, Kobayashi M, Nishiba Y, Furuta S, Suda I, Sato T. 2002. Polymeric procyanidins as radical-scavenging components in red-hulled rice. *J Agric Food Chem* 50: 7524-7529.
22. Rice-Evans CA, Miller NJ, Paganga G. 1997. Antioxidant properties of phenolic compounds. *Trends Plant Sci* 2: 152-159.
23. Siebenhandl S, grausgruber H, Pellegrini N, Rio DD, Fogliano V, Pernice P, Berghofer E. 2007. Phytochemical profile of main antioxidants in different fractions of purple and blue wheat, and black barley. *J Agric Food Chem* 55: 8541-8547.
24. Kong S, Lee J. 2010. Antioxidants in milling fractions of black rice cultivars. *Food Chem* 120: 278-281.
25. 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.
26. Pratt DE, Miller EE. 1984. A flavonoid antioxidant in Spanish peanuts (*Arachia hypogoea*). *JAOCS* 61: 1064-1067.
27. Graf E, Eaton JW. 1990. Anitoxidant functions of phytic acid. *Free Radic Biol Med* 8: 61-69.

(2011년 4월 19일 접수; 2011년 5월 17일 채택)