

## 수수 도정부위별 메탄올 추출물의 항산화성분 및 항산화활성

- 연구노트 -

우관식<sup>1</sup> · 서명철<sup>1\*</sup> · 강종래<sup>1</sup> · 고지연<sup>1</sup> · 송석보<sup>1</sup> · 이재생<sup>1</sup> · 오병근<sup>1</sup>  
박기도<sup>1</sup> · 이용환<sup>1</sup> · 남민희<sup>1</sup> · 정현상<sup>2</sup>

<sup>1</sup>농촌진흥청 국립식량과학원

<sup>2</sup>충북대학교 식품공학과

### Antioxidant Compounds and Antioxidant Activities of the Methanolic Extracts from Milling Fractions of Sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench)

Koan Sik Woo<sup>1</sup>, Myung Chul Seo<sup>1\*</sup>, Jong Rae Kang<sup>1</sup>, Jee Yeon Ko<sup>1</sup>, Seuk Bo Song<sup>1</sup>, Jae Saeng Lee<sup>1</sup>,  
Byeong Geun Oh<sup>1</sup>, Gi Do Park<sup>1</sup>, Yong Hwan Lee<sup>1</sup>, Min Hee Nam<sup>1</sup>, and Heon Sang Jeong<sup>2</sup>

<sup>1</sup>National Institute of Crop Science, Rural Development Administration, Gyeongnam 627-803, Korea

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

#### Abstract

The purpose of this study was to evaluate the antioxidant compounds and their activities of the methanolic extracts from milling fractions of sorghum. To determine the antioxidant compounds in the methanolic extract from the milling fractions, the content of polyphenol, flavonoids, tannin, anthocyanins and proanthocyanidin were measured by spectrophotometric methods. These were evaluated for antioxidative activities by ABTS and DPPH radical scavenging assays. The extraction yield of hull, bran and grain of sorghum were 9.95, 19.05 and 2.94%, respectively. The methanolic extracts from sorghum bran showed generally higher antioxidant activities than the extracts from hull and grain of sorghum. In addition, antioxidant compounds distributed much higher contents in sorghum bran extract than in the extracts from hull and grain of sorghum. A significant correlation was also noted between free radical scavenging activity and polyphenolic compounds. The results of this study show that notable antioxidant activity in sorghum bran is considered to have significant health benefits.

**Key words:** sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench), polyphenolics, proanthocyanidin, antioxidant activity

#### 서 론

최근 산업화와 더불어 환경오염, 흡연, 음주 등은 활성산소를 발생시키고 체내에 축적된 활성산소는 세포의 구성성분이 지질, 단백질, 당 및 DNA 등을 비가역적으로 파괴하여 질병을 유발시키는 원인이 되고 있다(1-3). 활성산소를 억제시킬 수 있는 합성물질이 이용되어 왔으나 합성식품첨가제의 기피현상뿐만 아니라 과량을 섭취할 경우 신장, 폐, 간, 위장점막, 순환계 등에 심각한 독성을 일으키는 것으로 알려져 보다 안전한 대체물질에 대한 연구가 요구되고 있다(4,5). 이에 따라 최근 들어 천연식품을 통해 노화억제, 면역증강 등의 효과를 얻어 젊고 건강한 삶에 대한 관심이 증대되고 있으며, 천연식품에 대한 다양한 생리활성에 대한 연구들이 보고되면서 천연유래 생리활성물질의 효능에 대한 관심이 증대되고 있고(6) 특히, 천연물질의 항산화, 항암 등의 연구가 활발히 진행되고 있다(7).

수수(Sorghum, *Sorghum bicolor* L. Moench)는 외떡잎

식물 벼목 화본과의 한해살이풀(8)로 쌀, 보리, 밀, 옥수수에 이어 중요한 잡곡의 하나이며, 주로 식용으로 소비되고 있다(9). 열대아프리카가 원산지인 건조지대에서 가장 많이 재배되고 용도에 따라서 곡용수수(grain sorghum), 단수수(sorgo), 소경수수(장목수수; broom-corn)가 재배되고 있으며, 아시아, 아프리카 및 중미 지역에서 재배되고 있는 주요 식량자원이다(10). 수수에는 식이섬유, phenolic compounds 등의 유효성분이 다량 함유되어 있다(11). Phenolic compounds의 플라보노이드, 탄닌, 페놀산 등으로 구성되어 있고 대부분 플라보노이드로 알려져 있으며(8), 최근 수수의 생리적 기능성에 관한 연구들이 보고되고 있다. 수수에 함유되어 있는 페놀화합물은 강한 항돌연변이원성의 활성(12)이 있는 것으로 보고되고 있으며, 수수 추출물은 강력한 항산화활성을 나타내는 것으로 알려져 있다(13). 그 외에 수수의 기능성에 대한 연구로는 25종의 수수를 메탄올 추출하여 순차적 용매 분획한 후 항산화 및 항균활성을 검정한 연구(14), 수수 안토시아닌의 항산화활성을 측정하는 연구(15), 수수에 함유되어

\*Corresponding author. E-mail: mcseo@korea.kr  
Phone: 82-55-350-1265, Fax: 82-55-352-3059

있는 페놀산, 플라보노이드, 탄닌 등의 페놀성분에 대한 연구보고(16)가 있다. 수수의 항산화성분, 색소 등의 다양한 활성성분들은 수수의 외피를 구성하는 미강에 집중되어 존재하는 것으로 알려져 있으나 이에 대한 연구보고는 미흡한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 수수의 껍질, 미강 및 알곡을 분리하여 각각에 포함되어 있는 대표적인 항산화성분과 항산화활성을 측정하였다.

## 재료 및 방법

### 시료 및 메탄올 추출물 제조

본 연구에 사용된 수수는 국립식량과학원 기능성작물부에서 2009년 생산된 황금찰수수를 grain을 감싸고 있는 hull과 도정하여 얻어지는 bran 및 도정 후 식용하게 되는 grain의 부위로 분리한 후 시료로 사용하였다. 시료를 Vibrating sample mill(CMT Co. Ltd., Tokyo, Japan)로 분쇄하여 일정량의 시료를 취하여 80% 메탄올로 2시간 동안 3회 진탕추출(SK-71 Shaker, JEIO Tech, Kimpo, Korea)한 다음 여과하여 감압농축(Eyela N-1000, Tokyo, Japan) 및 동결건조(FDT-8612, OPERON, Kimpo, Korea)하여 추출수율을 측정하였으며, 추출용매로 재용해한 후 -20°C 냉동고에 보관하면서 시료로 사용하였다.

### 총 polyphenol, flavonoid, tannin, anthocyanin 및 proanthocyanidin 함량 분석

추출물에 대한 총 polyphenol 함량은 Folin-Ciocalteu phenol reagent가 추출물의 폴리페놀성 화합물에 의해 환원된 결과 몰리브덴 청색으로 발색하는 것을 원리로 분석하였다(17). 각 추출물 50  $\mu$ L에 2%  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  용액 1 mL를 가한 후 3분간 방치하여 50% Folin-Ciocalteu reagent(Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA) 50  $\mu$ L를 가하였다. 30분 후 반응액의 흡광도 값을 750 nm에서 측정하였고 표준물질인 gallic acid(Sigma-Aldrich)를 사용하여 검량선을 작성하였고 회귀식은  $y=0.003x$ ( $R^2=0.9894$ )로 나타났으며, g 중의 mg gallic acid(dry basis)로 나타내었다. 총 flavonoid 함량은 Dewanto 등(17)의 방법에 따라 추출물 250  $\mu$ L에 증류수 1 mL와 5%  $\text{NaNO}_2$  75  $\mu$ L를 가한 다음, 5분 후 10%  $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  150  $\mu$ L를 가하여 6분 방치하고 1 N NaOH 500  $\mu$ L를 가하였다. 11분 후, 반응액의 흡광도 값을 510 nm에서 측정하였다. 표준물질인 (+)-catechin(Sigma-Aldrich)를 사용하여 검량선을 작성하였고 회귀식은  $y=0.005x$ ( $R^2=0.9999$ )로 나타났으며, 시료 g 중의 mg catechin(dry basis)으로 나타내었다. 총 tannin 함량은 Duval과 Shetty(18)의 방법에 따라 측정하였다. 즉, 시료 용액 1 mL에 95% ethanol 1 mL와 증류수 1 mL를 가하여 잘 흔들어 주고 5%  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  용액 1 mL와 1 N Folin-Ciocalteu reagent(Sigma-Aldrich) 0.5 mL를 가한 후 실온에서 60분간 발색시킨 다음 725 nm에서 흡광도를 측정하였으며, tannic acid(Sigma-Aldrich)로 표

준물질로 검량선( $y=0.0097x$ ,  $R^2=0.9769$ )을 작성하여 시료 g 중의 mg tannic acid(dry basis)로 나타내었다. 메탄올 추출물의 총 anthocyanin 함량은 Türker와 Erdoğan(19)의 방법에 따라 pH differential method를 이용하여 측정하였다. 각 methanol 추출물 일정량에 0.025 M potassium chloride buffer(pH 1.0)와 0.4 M sodium acetate buffer(pH 4.5)를 각각 혼합하여 반응액의 흡광도 값을 510 nm와 700 nm에서 측정하여 cyanidin-3-glucoside의 몰흡광계수를 이용하여 함량을 산출하였다. Proanthocyanidin의 함량은 vanillin-sulfuric acid법(20)을 변형하여 측정하였다. 분쇄된 시료 100 mg에 메탄올 1 mL를 가하여 교반한 후 1%(w/v) 바닐린/메탄올을 2 mL 첨가하여 교반하였다. 여기에 25%(v/v) 황산/메탄올을 2 mL 첨가하고 교반하여 30°C에서 15분간 진탕하고 메탄올 1 mL를 첨가하여 교반하였다. 4,000 rpm으로 10분간 원심분리하고 상등액을 취하여 500 nm에서 흡광도를 측정하였으며, (+)-catechin(Sigma-Aldrich)로 표준물질로 검량선( $y=0.0004x$ ,  $R^2=0.9987$ )을 작성하여 시료 g 중의 mg catechin(dry basis)로 나타내었다.

### ABTS 및 DPPH 라디칼 소거활성 측정

추출물에 대한 항산화활성은 ABTS(2,2'-azino-bis-3-ethylbenzo-thiazoline-6-sulfonic acid, Sigma-Aldrich) 및 DPPH(1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl, Sigma-Aldrich) radical의 소거활성을 측정하였다(21). ABTS radical의 소거활성은 ABTS 7.4 mM과 potassium persulphate 2.6 mM을 하루 동안 암소에 방치하여 ABTS 양이온을 형성시킨 후 이용액을 735 nm에서 흡광도 값이 1.4~1.5가 되도록 몰 흡광계수( $\epsilon=3.6 \times 10^4 \text{ M}^{-1}\text{cm}^{-1}$ )를 이용하여 메탄올로 희석하였다. 희석된 ABTS용액 1 mL에 추출액 50  $\mu$ L를 가하여 흡광도의 변화를 정확히 30분 후에 측정하였으며, 표준물질로서 Trolox(Sigma-Aldrich)를 동량 첨가하였고 mg TE (Trolox equivalent antioxidant capacity)/g sample로 표현하였다. DPPH radical의 소거활성은 0.2 mM DPPH용액(99.9% methanol에 용해) 0.8 mL에 시료 0.2 mL를 첨가한 후 520 nm에서 정확히 30분 후에 흡광도 감소치를 측정하였으며, 표준물질로서 Trolox(Sigma-Aldrich)를 동량 첨가하였고 mg TE/g sample로 표현하였다.

### 통계분석

모든 데이터는 3회 반복 측정하였으며, mean  $\pm$  SD로 표현하였다. 또한 결과에 대한 통계분석은 SAS version 9.2 (Statistical Analysis System, SAS Institute, Cary, NC, USA)를 이용하여 성분 및 활성에 대한 유의성을 분석하였다.

## 결과 및 고찰

수수 도정부위별 메탄올 추출물의 항산화성분의 함량 수수를 hull, bran 및 grain으로 구분하여 80% 메탄올로

추출하여 용매를 완전히 제거한 후 수율을 측정한 결과 9.95, 19.05 및 2.94%로 나타났다. 항산화활성 측정에 있어 추출물의 수율은 중요한 요소로 작용하며, 항산화성분의 추출은 용매에 대한 용해도 차이로 인해 차이가 있을 수 있다(22). Zielinski와 Kozłowska(23)는 메탄올을 사용하였을 경우 그 추출물의 높은 항산화활성과 항산화성분 함량을 보고하여 본 연구에서 메탄올을 추출용매로 사용하였다.

페놀성 화합물은 식물계에 널리 분포되어 있는 물질로 다양한 구조와 분자량을 가지며 페놀성 화합물의 phenolic hydroxyl기가 단백질과 같은 거대분자와의 결합을 통해 항산화, 항암 및 항균 등의 생리기능을 가지는 것으로 알려져 있다(24). 곡류에 함유되어 있는 항산화 물질 중 polyphenolic 화합물들은 우수한 항산화력을 가지는 것으로 알려져 있으며, 이는 free radical을 안정화시킬 수 있는 phenolic ring의 존재 때문인 것으로 보고되어져 있다(25). 수수의 도정부위별 메탄올 추출물의 총 polyphenol 함량을 측정한 결과 Table 1과 같이 hull, bran 및 grain에서 각각 30.57±0.40, 61.47±0.45 및 3.40±0.27 mg/g의 함량을 보여 bran과 hull에 폴리페놀이 다량 함유되어 있는 것으로 조사되었다. Flavonoid는 주로 anthocyanidins, flavonols, flavones, catechins 및 flavanones 등으로 구성되어 있으며, 그 구조에 따라 특정 flavonoid는 항산화 및 항균성 등 다양한 생리활성을 갖고 있는 것으로 보고되고 있다(25). 도정부위별 총 flavonoid 함량을 측정한 결과 Table 1과 같이 hull, bran 및 grain에서 각각 14.47±0.55, 15.71±0.52 및 4.61±0.47 mg/g의 함량을 보여 bran과 hull에 flavonoid가 다량 함유되어 있는 것으로 조사되었다. Tannin은 차의 가장 중요한 성분의 하나로 차의 맛, 향기 및 색에 깊이 관여하며, 여러 가지 생리작용을 가지는 성분으로 알려져 있다(26). 도정부위별 총 tannin 함량을 측정한 결과 Table 1과 같이 hull, bran 및 grain에서 각각 13.37±1.03, 47.25±0.66 및 2.22±0.33 mg/g의 함량을 보여 bran과 hull에 탄닌이 다량 함유되어 있는 것으로 조사되었다. Woo 등(9)은 수수 알곡 에탄올 추출물의 총 polyphenol, flavonoid 및 tannin 함량은 각각 6.23~7.51, 1.76~2.25 및 3.71~4.34 mg/g(dry basis)으로 보고하였는데, 이러한 차이를 보이는 이유는 추출용매, 생산연도, 도정정도 등의 차이로 인한 것으로 생각된다.

도정부위별 총 anthocyanin 함량을 측정한 결과 Table 1과 같이 hull, bran 및 grain에서 각각 11.93±0.28, 13.60±0.98 및 6.44±0.86 mg/g의 함량을 보여 bran과 hull에 anthocyanin이 다량 함유되어 있는 것으로 나타났다. Kong 등(27)은 흑진주벼의 미강에 11.04 mg/g sample의 anthocyanin이 포함되어 있는 것으로 보고하였는데 본 연구에서 수수의 bran에 더 많은 anthocyanin이 함유되어 있는 것으로 조사되었다. Elisia 등(28)은 anthocyanin이 풍부하게 함유된 blackberry가 17.1 mg/g 함유되어 있는 것으로 보고하였는데 이와 비교해 볼 때 수수 bran은 매우 뛰어난 천연 항산화제로서 좋은 급원이 될 것으로 생각한다. 또한 anthocyanin계 색소 중 대표적인 cyanidin-3-glucoside와 peonidin-3-glucoside는 peroxy radical과 hydroxyl radical에 의해 발생하는 DNA 손상을 저해하고 low-densitylipoprotein의 산화를 억제하는 것으로 알려져 있다(29). 도정부위별 총 proanthocyanidin 함량을 측정한 결과 Table 1과 같이 hull, bran 및 grain에서 각각 0.519±0.021, 0.530±0.013 및 0.045±0.005 mg/g의 함량을 보여 bran과 hull에 proanthocyanidin이 다량 함유되어 있는 것으로 나타났다. Proanthocyanidin은 항산화, 항암, 항염증, 혈소판 응집억제 등 다양한 생리활성을 가지는 것으로 보고되었으며, 특히 항산화활성은 vitamin E의 20배, vitamin C의 50배에 달하는 것으로 보고되었다(30). 다량 함유되어 있다고 알려진 포도씨의 경우 최고 0.55 mg/g으로 알려져 있는데(31), 수수 bran과 hull이 이와 유사한 함량을 보여 매우 뛰어난 천연 항산화제로서 좋은 급원이 될 것으로 생각한다.

수수 도정부위별 메탄올 추출물의 항산화활성

천연물의 항산화활성은 활성 radical에 전자를 공여하고 식품 중의 지방질 산화를 억제하는 특성을 가지고 있고 인체 내에서는 활성 radical에 의한 노화를 억제시키는 역할을 하고 있으며, radical 소거작용은 인체의 질병과 노화를 방지하는데 대단히 중요한 역할을 한다(32). 혈장에서 ABTS radical의 흡광도가 항산화제에 의해 억제되는 것에 기초하여 개발된 ABTS radical 소거활성법(33)과 ascorbic acid, tocopherol, polyhydroxy 방향족화합물, 방향족 아민 등에 의해서 환원되어 짙은 자색이 탈색됨으로써 항산화물질의

Table 1. Extraction yields and antioxidant compounds of the methanolic extracts from the milling fractions of sorghum

| Milling fractions of sorghum | Yield (%) | Antioxidant compounds     |                         |                         |                           |                                |
|------------------------------|-----------|---------------------------|-------------------------|-------------------------|---------------------------|--------------------------------|
|                              |           | Polyphenol <sup>1)</sup>  | Flavonoid <sup>2)</sup> | Tannin <sup>3)</sup>    | Anthocyanin <sup>4)</sup> | Proanthocyanidin <sup>5)</sup> |
| Hull                         | 9.95      | 30.57±0.40 <sup>b6)</sup> | 14.47±0.55 <sup>b</sup> | 13.37±1.03 <sup>b</sup> | 11.93±0.28 <sup>b</sup>   | 0.519±0.021 <sup>a</sup>       |
| Bran                         | 19.05     | 61.47±0.45 <sup>a</sup>   | 15.71±0.52 <sup>a</sup> | 47.25±0.66 <sup>a</sup> | 13.60±1.95 <sup>a</sup>   | 0.530±0.013 <sup>a</sup>       |
| Grain                        | 2.94      | 3.40±0.27 <sup>c</sup>    | 4.61±0.47 <sup>c</sup>  | 2.22±0.33 <sup>c</sup>  | 6.44±1.72 <sup>c</sup>    | 0.045±0.005 <sup>b</sup>       |

<sup>1)</sup>Mean of triplicate determinations expressed as mg gallic acid equivalents per g of sample (dry weight basis).  
<sup>2)</sup>Mean of triplicate determinations expressed as mg (+)-catechin equivalents per g of sample (dry weight basis).  
<sup>3)</sup>Mean of triplicate determinations expressed as mg tannic acid equivalents per g of sample (dry weight basis).  
<sup>4)</sup>Mean of triplicate determinations expressed as mg cyanidin-3-glucoside equivalents per g of sample (dry weight basis).  
<sup>5)</sup>Mean of triplicate determinations expressed as mg (+)-catechin equivalents per g of sample (dry weight basis).  
<sup>6)</sup>Any means in the same column followed by the same letter are not significantly (p<0.05) different by Duncan's multiple range test.

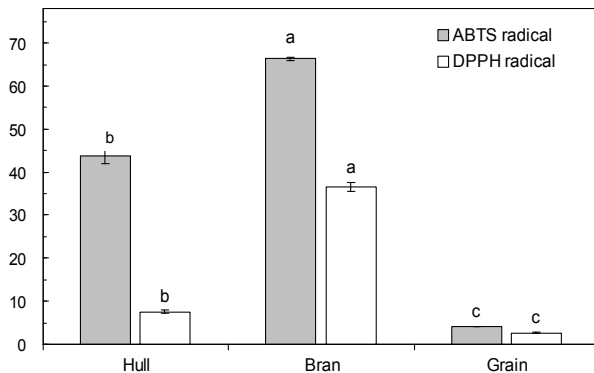


Fig. 1. ABTS and DPPH radical scavenging activities of the methanolic extracts from milling fractions of sorghum. Values with different superscripts on the same kind of bars are significantly different at  $p < 0.05$  by Duncan's multiple ranged test.

전자공여능을 측정할 때 사용되고 있는 DPPH radical 소거활성법(34)을 표준물질인 Trolox와 비교하여 mg TE(Trolox equivalent antioxidant capacity)/g sample로 나타낸 결과 Fig. 1과 같이 나타났다. ABTS radical 소거활성법은 ABTS와 potassium persulfate를 암소에 방지하여  $ABTS^+$  이 생성되면 추출물의 항산화 활성에 의해  $ABTS^+$  이 소거되어 radical 특유의 색인 청록색이 탈색되는데 이를 흡광도 값으로 나타내어 추출물의  $ABTS^+$  의 소거활성을 측정할 수 있다(33). 또한 전자공여능은 지질과산화의 연쇄반응에 관여하는 산화성 활성 free radical에 전자를 공여하여 산화를 억제시키는 척도가 되며, free radical은 인체 내에서 각종 질병과 세포의 노화를 일으키므로 식물 추출물 등에서 항산화제로 작용할 수 있는 물질을 확인할 필요성이 있다(34). Hull, bran 및 grain 등 수수 도정부위별 ABTS radical 소거활성은 각각  $43.76 \pm 1.83$ ,  $66.37 \pm 0.40$  및  $4.16 \pm 0.03$  mg TE/g sample로 나타났으며, DPPH radical 소거활성은 각각  $7.58 \pm 0.48$ ,  $36.56 \pm 1.09$  및  $2.64 \pm 0.18$  mg TE/g sample로 나타나 bran 추출물의 항산화활성이 가장 높은 것으로 나타났다. Kong 등(27)의 연구에 의하면 흑진주벼의 bran 추출물의 ABTS 및 DPPH radical 소거활성이 각각 37.34 및 35.40 mg TE/g으로 보고하였는데, 추출물의 페놀화합물과 ABTS 및 DPPH radical 소거활성과 높은 연관성을 보고한 연구에서와 같이 본 연구(35)에서 또한 많은 양의 페놀화합물이 존재하는 수수 bran층에서 높은 활성을 보였다.

## 요 약

본 연구에서는 황금찰수수의 도정분획별 메탄올 추출물의 항산화성분과 항산화활성을 비교·분석하고자 하였다. 항산화성분으로 총 polyphenol, flavonoid, tannin, anthocyanin 및 proanthocyanidin 함량을 측정하였으며, 항산화활성은 ABTS와 DPPH radical 소거활성을 측정하였다. 추출수율은 각각 수수의 hull, bran 및 grain으로 구분하여 80% 메탄올로 추출하여 용매를 완전히 제거한 후 수율을 측정된 결과

9.95, 19.05 및 2.94%로 나타났다. 메탄올 추출물의 추출수율은 hull, bran 및 grain층에서 각각 9.95, 19.05 및 2.94%의 수율을 보였다. 실험결과 bran의 추출물이 hull이나 grain 추출물보다 높은 함량의 항산화성분을 함유하고 있는 것을 확인할 수 있었다. 또한 이러한 항산화성분이 다량 분포하는 bran 추출물이 ABTS와 DPPH radical 소거활성이 각각 66.37 및 36.56 mg TE/g sample으로 나타나 hull이나 grain 추출물보다 우수한 항산화활성을 가지는 것으로 나타났다. 본 연구결과 수수의 bran은 기능성식품 제조에 있어 좋은 소재로 활용가능성이 높을 것으로 예상된다.

## 문 헌

- Reiter RJ. 1995. Oxidative process and antioxidative defense mechanism in the aging brain. *FASEB J* 9: 526-533.
- Halliwell B, Gutteridge JMC, Cross CE. 1992. Free radicals, antioxidants and human disease. *J Lab Clin Med* 119: 598-620.
- Cao LH, Lee JK, Cho KH, Kang DG, Kwon TO, Kwon JW, Kim JS, Sohn EJ, Lee HS. 2006. Mechanism for the vascular relaxation induced by butanol extract of *Agrimonia pilosa*. *Korean J Pharmacogn* 37: 67-73.
- Ode P. 1995. Herbal insights—a close look at active constituents of medicinal herbs. *SÖFW J* 121: 8-11.
- Choe SY, Yang KH. 1982. Toxicological studies of antioxidants butylated hydroxyl toluene (BHT) and butylated hydroxyanisole (BHA). *Korean J Food Sci Technol* 14: 283-288.
- Arai S. 1996. Studies on function foods in Japan—state of art. *Biosci Biotechnol Biochem* 60: 9-15.
- Ryu HS, Kim HS. 2006. Effect of *Sorghum bicolor* L. moench (sorghum, su-su) water extracts on mouse immune cell activation. *Korean J Food Nutr* 19: 176-182.
- Kim KO, Kim HS, Ryu HS. 2006. Effect of *Sorghum bicolor* L. Moench(sorghum, su-su) water extracts on mouse immune cell activation. *J Korean Diet Assoc* 12: 82-88.
- Woo KS, Ko JY, Seo MC, Song SB, Oh BG, Lee JS, Kang JR, Nam MH. 2009. Physicochemical characteristics of the tofu (soybean curd) added sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) powder. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 38: 1746-1752.
- Chang HG, Park YS. 2005. Effects of waxy and normal sorghum flours on sponge cake properties. *Food Engine Prog* 9: 199-207.
- Chae KY, Hong JS. 2006. Quality characteristics of Sulgidduk with different amounts of waxy sorghum flour. *Korean J Food Cookery Sci* 22: 363-369.
- Grimmer HR, Parbhoo V, McGrath RM. 1992. Antimutagenicity of polyphenol-rich fraction from *Sorghum bicolor* grain. *J Sci Food Agric* 59: 251-256.
- Hahn DH, Rooney LW, Earp CF. 1984. Tannin and phenols of sorghum. *Cereal Foods World* 29: 776-779.
- Kil HY, Seong ES, Ghimire BK, Chung IM, Kwon SS, Goh EJ, Heo K, Kim MJ, Lim JD, Lee D, Yu CY. 2009. Antioxidant and antimicrobial activities of crude sorghum extract. *Food Chem* 115: 1234-1239.
- Awika JM, Rooney LW, Waniska RD. 2004. Anthocyanins from black sorghum and their antioxidant properties. *Food Chem* 90: 293-301.
- Dykes L, Rooney LW. 2006. Sorghum and millet phenols

- and antioxidants. *J Cereal Sci* 44: 236-251.
17. Dewanto V, Xianzhong W, Liu RH. 2002. Processed sweet corn has higher antioxidant activity. *J Agric Food Chem* 50: 4959-4964.
  18. Duval B, Shetty K. 2001. The stimulation of phenolics and antioxidant activity in pea (*Pisum sativum*) elicited by genetically transformed anise root extract. *J Food Biochem* 25: 361-377.
  19. Türker N, Erdoğan F. 2006. Effects of pH and temperature of extraction medium on effective diffusion coefficient of anthocyanin pigments of black carrot (*Daucus carota* var. L.). *J Food Eng* 76: 579-583.
  20. Baoshan S, Jorge M, Ricardo DS, Isabel S. 1998. Critical factors of vanillin assay for catechins and proanthocyanidins. *J Agric Food Chem* 46: 4267-4274.
  21. 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.
  22. 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.
  23. Zielinski H, Kozłowska H. 2000. Antioxidant activity and total phenolics in selected grains and their different morphological fractions. *J Agric Food Chem* 48: 2008-2016.
  24. Rice-Evans CA, Miller NJ, Paganga G. 1997. Antioxidant properties of phenolic compounds. *Trends Plant Sci* 2: 152-159.
  25. Middleton E, Kandaswami C. 1994. Potential health-promoting properties of citrus flavonoids. *Food Technol* 48: 115-119.
  26. Nakagawa M, Amano I. 1974. Evaluation method of green tea grade by nitrogen analysis. *J Jpn Food Sci Technol* 21: 57-63.
  27. Kong S, Choi Y, Kim Y, Kim DJ, Lee J. 2009. Antioxidant activity and antioxidant components in methanolic extract from *Geumjong* rice. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 38: 807-811.
  28. Elisia I, Hu C, Popovich DG, Kitts DD. 2007. Antioxidant assessment of an anthocyanin-enriched blackberry extract. *Food Chem* 101: 1052-1058.
  29. Hu C, Zawistowski J, Ling W, Kitts DD. 2003. Black rice (*Oryza sativa* L. indica) pigmented fraction suppresses both reactive oxygen species and nitric oxide in chemical and biological model systems. *J Agric Food Chem* 51: 5271-5277.
  30. John S, Jianmel Y, Joseph E, Yukio K. 2003. Polyphenolics in grape seeds-biochemistry and functionality. *J Med Food* 6: 291-299.
  31. Hwang IW, Lee HR, Kim SK, Zheng H Z, Choi JU, Lee SH, Lee SH, Chung SK. 2008. Proanthocyanidin content and antioxidant characteristics of grape seeds. *Korean J Food Preserv* 15: 859-863.
  32. Kim SM, Cho YS, Sung SK. 2001. The antioxidant ability and nitrite scavenging ability of plant extracts. *Korean J Food Sci Technol* 33: 626-632.
  33. Kim JE, Joo SI, Seo JH, Lee SP. 2009. Antioxidant and  $\alpha$ -glucosidase inhibitory effect of tartary buckwheat extract obtained by the treatment of different solvents and enzymes. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 38: 989-995.
  34. Nieva MM, Sampietro AR, Vattuone MA. 2000. Comparison of the free radical-scavenging activity of propolis from several regions of Argentina. *J Ethnopharmacol* 71: 109-114.
  35. Choi Y, Jeong HS, Lee J. 2007. Antioxidant activity of methanolic extracts from some grains consumed in Korea. *Food Chem* 103: 130-138.

(2010년 7월 26일 접수; 2010년 9월 7일 채택)