

## 황금찰수수 도정부산물의 항산화 및 항염증 활성

나지은\*\*\* · 박지영\* · 서우덕\* · 심은영\* · 고지연\* · 남민희\* · 정일민\*\* · 한상익†

\*농촌진흥청 국립식량과학원 기능성작물부, \*\*건국대학교 응용생물학과

### Antioxidative and Anti-inflammatory Activity of Extract from Milling By-products of Sorghum Cultivar, 'Hwanggeumchal'

Ji-Eun Ra\*\*\*, Ji-Young Park\*, Woo Duck Seo\*, Eun-Yeong Sim\*, Jee Yeon Ko\*, Min-Hee Nam\*,  
Ill-Min Chung\*\*, and Sang-Ik Han\*†

\*Department of Functional Crop, NICS, RDA, Miryang 627-803, Korea

\*\*Department of Applied Life Science, College of Life and Environmental Sciences,  
Konkuk University, Seoul 143-701, Korea

**ABSTRACT** Sorghum has been consumed as one of the important staple food in the semiarid tropics of Africa and Asia. Sorghum is rich in starch, protein, essential vitamins and minerals and grows relatively well in dry climate regions when it compared with other staple food crops. Sorghum has taken an increased interest due to several studies that report about the beneficial effects of sorghum on human health. In the present study, we investigated the antioxidative and activity of extract of milling by-products (hull and bran) of Korean sorghum cultivar, 'Hwanggeumchal' as well as its grain. Hull extract showed the highest total polyphenol contents (29.7±0.2 mg GAE/100 g) and major four pigments content (322.6±14.5 mg/100 g). From results of 2,2'-azino-bis-(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonate (ABTS) radical scavenging activity, hull extract (IC<sub>50</sub>, 6.3±0.1 µg/mL) was also showed the strongest antioxidative effects. Bran and grain showed similar polyphenol, pigments contents and antioxidative effects. We determined cell viability by MTT assay and evaluated the anti-inflammatory activity by measuring nitric oxide (NO) of hull, bran and grain methanol extract (0.5% HCl v/v) on RAW 264.7 cells. Hull extract treatment was significantly decreased NO production with dose-dependant manner. Apigeninidin as one of the major pigment of hull was showed inhibitory activity against NO production without cytotoxicity. Therefore, sorghum milling by-products can be used as a good source of antioxidative and anti-inflammatory agents.

**Keywords** : antioxidative activity, anti-inflammatory activity, sorghum, hwanggeumchal, milling by-product

**수수**(*Sorghum bicolor* L. Moench)는 아프리카와 아시아의 반건조 지역에서 주식으로 이용되는 식량작물로서 전세계적으로 주식보다는 동물 사료로 많이 이용된다. 하지만 수수는 에너지 공급원으로서 탄수화물, 단백질, 무기성분, 비타민 등의 영양학적 측면이 우수하고 건조한 기후에서 다른 식량 작물들보다 안정적인 생육이 가능하여 미래의 주요 식량으로 이용할 수 있는 가치가 높다(Wang *et al.*, 2011; Yaylor *et al.*, 2006). 또한 미래 에너지인 바이오 에탄올을 만드는 재료로 사용할 수 있고 바이오 플라스틱의 재료로서도 가능성이 있어 매우 유용한 작물이다(Wang *et al.*, 2008). 이때 까지 수수 grain에 함유된 폴리페놀 화합물은 항산화, 항비만, 항당뇨, 항염증 활성과 혈액응고저해 및 혈전용해 효과 등의 건강에 유용한 작용을 나타내는 것으로 알려져 있다(Awika & Rooney, 2004; Chung *et al.*, 2011; Kim *et al.*, 2013; Park *et al.*, 2012). 하지만 수수를 도정할 때 발생하는 부산물인 수수 hull과 bran에 대해서는 대표적인 항산화성분인 폴리페놀계 화합물, 항산화 활성 등의 기본적인 연구와 식용 색소로 사용하기 위한 기본적인 독성 연구는 수행되었으나(Olifson *et al.*, 1978; Woo *et al.*, 2010) 수수 부산물이 함유하는 천연색소 함량에 대한 정보나 항산화 활성 외의 다른 활성에 대한 연구는 미흡한 실정이다.

†Corresponding author: (Phone) +82-55-350-1217 (E-mail) han0si@korea.kr

<Received 11 September 2014; Revised 20 October 2014; Accepted 30 October 2014>

염증반응이란 체내에 바이러스나 박테리아, 오염물질 등의 외부물질이 들어오거나 비정상적인 세포 분열 등의 발생을 방어하기 위한 반응이다. 이때 기관지 상피세포나 평활근세포 등의 각종 방어 세포에서는 염증반응을 일으키는 매개체인 히스타민이나 ROS, nitric oxide (NO), TNF- $\alpha$ , proinflammatory cytokine, prostaglandin (PG) 등의 물질을 분비한다(Barnes *et al.*, 1998; Kim *et al.*, 2012). 이러한 물질 중 NO는 PG와 함께 염증 반응을 일으키는 중요 인자로 박테리아, 기생충, 암 발생 등이 원인으로 발생하는 것으로 알려져 있었으나 이러한 원인 외에도 대식세포의 비정상적인 활성화로 인해 NO 발생이 촉진되어 류머티즘성 관절염이나 패혈증쇼크 등의 염증반응으로 인한 각종 질병을 유발할 수 있음이 알려졌다(Chung *et al.*, 2007). 따라서 염증반응으로 인한 질병 치료에 비정상적인 대식세포 활동을 조절하는 것이 주요한 치료 방법으로 여겨지고 있다. 이에 본 연구에서는 수수 grain과 도정시 발생하는 도정부산물의 용매별 추출물의 항산화 활성과 함께 대표적인 천연색소 함량과 염증 세포를 이용한 항염증 활성을 평가하였다.

## 재료 및 방법

### 시료 및 추출물 제조

본 연구에 사용된 수수는 2013년 국립식량과학원 기능성 작물부 시험포장에서 생산된 황금찰수수를 탈곡하여 도정했을 때 얻어지는 부산물로서 hull과 bran을 grain과 분리하여 따로 모아 100메쉬로 분쇄하여 -20°C에서 보관하면서 시료로 사용하였다. 추출물은 시료 1 g을 칭량하여 각각 100% 메탄올, 0.5% (v/v) HCl을 함유한 100% 메탄올, 100% 에탄올, 70% 에탄올 용액 20 mL로 10분간 초음파 추출 후 24시간 교반 추출한 다음 감압농축하여 제조하였다.

### 총 폴리페놀 함량 분석

수수 grain과 도정부산물 추출물의 폴리페놀 함량 측정에는 Folin-Ciocalteu colorimetric method (Seo *et al.*, 2011)를 사용하여 분석하였다. 100메쉬로 분쇄한 시료 1g을 100% 메탄올, 0.5% (v/v) HCl을 함유한 100% 메탄올, 100% 에탄올, 70% 에탄올 용액 20 mL로 37°C에서 24시간 동안 교반 추출하여 추출물 0.1 mL와 0.2 mL의 Folin-Ciocalteu's phenol (Sigma, St. Louis, MO, USA) 용액과 혼합한 후, 3 mL의 5% Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 용액과 혼합하였다. 이 혼합용액은 30°C에서 2시간 동안 반응시킨 후, spectrophotometer (Versa max, Molecular Devices Co., Sunnyvale, CA, USA)를 이용하여 765 nm에서의 흡광도를 측정하였고 총 폴리페놀 함량은 galic

acid (mg CGA/100 g extract)의 함량과 비교하여 계산하였다.

### 천연색소 함량 측정

천연색소는 표품으로서 apigenin, apigeninidin, luteolin, luteolinidin (Extrasynthese, Genay, France)을 0.5% HCl을 함유한 메탄올로 희석하여 검량선을 작성하였다. 수수 grain과 도정부산물 추출물의 색소는 Ultra-high performance liquid chromatography (UPLC, ACQUITY, Waters, Milford, MA, USA)로 분석하였다. 시료는 100메쉬로 분쇄한 뒤 1 g을 20 mL의 100% 메탄올, 0.5% (v/v) HCl을 함유한 100% 메탄올, 100% 에탄올, 70% 에탄올의 용매로 30°C에서 24시간 동안 교반 추출하였다. 추출물은 3,000 rpm에서 10분간 원심분리하여 상등액을 취해 0.2  $\mu$ m 필터(Advantec MFS Inc., Dublin, CA, USA)로 여과하여 UPLC로 분석하였다. UPLC 분석에 사용된 컬럼은 Waters ACQUITY BEH C18 (particle size 1.7  $\mu$ m, 2.1 x 100 mm)을 30°C로 유지하여 사용하였고, 이동상은 0.1% trifluoroacetic acid (TFA, Sigma)를 함유한 초순수 증류수(A)와 아세포나이트릴(Merck, Darmstadt, Germany) (B)를 사용하였다. 이동상 용액 A에 대한 용액 B의 비율은 초기 용매 조건 3%, 10분에 20%, 13분에 30%, 15분에 50%, 16분에 90%까지 점차 혼합하였고 20분에는 3%를 유지하여 1분간 초기 용매 조건 상태를 유지하였다. 이동상의 유속은 0.4 mL/min, PDA 검출 파장은 254 nm이었다.

### ABTS 라디칼 소거능 측정

ABTS (2,2'-azinobis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonate), Sigma) 라디칼 소거능 측정은 Trolox equivalent antioxidant capacity (TEAC) 분석법을 변형하여 수행하였다(Khan *et al.*, 2012). ABTS 용액은 7 mM ABTS 용액에 potassium persulfate를 2.4 mM이 되도록 용해시킨 다음 암실에서 4~8시간 동안 반응시켜 흡광도 값을 안정시킨 후 사용하였다. ABTS 용액 0.9 mL에 일정 농도의 시료액 0.1 mL을 가하여 잘 혼합한 다음 실온에서 1분간 반응시켜 734 nm에서 흡광도를 측정하였으며, ABTS 라디칼 소거능은 시료 무첨가구에 대한 시료 첨가구의 흡광도(A) 비(%)로 나타내었다.

$$\text{ABTS radical scavenging activity (\%)} = \frac{[(A_{\text{blank}} - A_{\text{sample}})/A_{\text{blank}}] \times 100}{}$$

### 세포 배양

RAW 264.7 세포주는 한국세포주은행에서 분양받아 사용하였다. 10% FBS와 1% penicilin-streptomycin을 포함하

는 DMEM (Dulbecco's Modified Eagle Medium, Gibco BRL, Gaithersburg, MD, USA) 배지를 사용하여 37°C, 5% CO<sub>2</sub>의 조건에서 배양하였다.

**세포 독성 측정**

수수 grain과 도정부산물 추출물의 세포에 대한 독성은 배양 세포에 각 추출물을 처리한 후, 3-(4,5-dimethylthiazol-2-yl)-2,5-diphenyltetrazolium bromide (MTT, Sigma) 측정으로 분석하였다(Moro *et al.*, 2012). 96 well plate에 5,000 cells/well 으로 세포를 분주 한 뒤, 수수 도정부산물 추출물을 농도별로 48시간 처리하였다. 처리 후 MTT 용액(0.5 mg/mL)을 처리하여 2시간 배양 후 microplate reader (Versa max, Molecular Devices Co.)를 이용하여 550 nm에서 흡광도를 측정하였고, 대조군에 대한 세포생존율을 백분율로 표시하였다.

**Nitric Oxide 생성량 측정**

생성되는 Nitric Oxide (NO) 농도는 Griess Reagent System (Promega, Madison, WI, USA)를 이용하여 측정하였다(Yang *et al.*, 2009). 96 well plate에 RAW 264.7 세포를 5,000 cells/well로 분주 한 뒤, 12시간 배양 후 농도별 수수 grain 및 도정부산물 추출물과 1 µg/mL 농도의 lipopolysaccharide (LPS, Sgima)을 처리하여 48시간 배양하였다. 배양액의 상등액을 Griess Reagent System으로 반응시킨 후 548 nm에서 흡광도를 측정하여 NO 함량을 정량하였다.

**통계분석**

각 자료의 통계분석은 SAS 9.2 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA) PC package를 이용하여 처리하였다. 결과는 3 번 반복하여 평균±표준편차로 나타내었으며 각 변수에 대해 일원배치분산분석(one-way ANOVA)을 실시하였고 유의수준 α=0.05 수준에서 Duncan's multiple range test를 적용하여 유의성을 검정하였다.

**결과 및 고찰**

**조추출물 함량**

수수를 탈곡 및 도정하였을 때 grain과 함께 발생하는 hull, bran의 용매별 추출률을 Table 1에 나타내었다. Hull과 grain에서는 0.5% 염산을 함유한 100% 메탄올 용액에서 각각 15.0%, 14.1%의 추출률로 가장 높은 추출 효율을 보였고, 100% 에탄올에서 추출 효율이 각각 4.4%, 5.6%으로 가장 낮게 추출된 반면, bran에서는 100% 에탄올 추출 시 30.9%

**Table 1.** Crude extracts contents according to different solvents from milling by-product and grain of sorghum.

Solvents	Milling by-product (%) <sup>1)</sup>		Grain (%)
	Hull	Bran	
MeOH	4.9±0.4	18.7±1.7	6.0±1.3
MeOH (0.5%(v/v)HCl)	15.0±0.9	14.2±2.1	14.1±1.9
EtOH	4.4±0.7	30.9±2.5	5.6±1.3
70% EtOH	6.9±0.1	15.1±0.9	6.6±0.4

<sup>1)</sup>All values are mean±SD (n=3).

로 가장 높게 나타났다.

**수수 도정부산물의 폴리페놀 함량과 항산화 효과**

추출한 용매에 따른 수수 grain과 도정부산물의 항산화 성분으로서 총폴리페놀 함량과 천연물의 항산화 활성을 평가하는 기본적인 방법으로서 ABTS 라디칼 소거능을 측정하였으며(Tirzitis & Bartosz, 2010) 그 결과를 Table 2에 나타내었다. 도정부산물인 hull, bran과 grain의 용매에 따른 폴리페놀 함량을 분석한 결과, 4가지 추출 용매 모두에서 hull 추출물의 경우 26.8~29.7 mg/100 g으로 가장 많았고 bran과 grain의 총 폴리페놀 함량은 15 mg/100 g 내외로 비슷한 수준이었다. 추출용매별로 hull에서는 100% 메탄올, 70% 에탄올 추출에서 각각 29.4±0.4, 29.7±0.2 mg/100 g, bran은 에탄올 추출에서 17.4±1.0 mg/100 g, grain에서는 70% 에탄올 추출에서 14.5±0.0 mg/100 g 총 폴리페놀이 가장 많이 추출되었다. 이 결과는 Woo *et al.* (2010)이 황금찰수수 도정시 발생하는 bran의 메탄올 추출물이 가장 높은 총 폴리페놀 함량을 나타내고, 그 다음으로 hull 추출물이 많았고 grain의 폴리페놀 함량이 가장 적음을 보고한 것과 비슷한 경향을 나타내었다. 다만 본 연구에서는 hull이 bran보다 1.5~3.0배 더 많은 총 폴리페놀 함량을 나타내었다. ABTS 라디칼 소거능을 이용한 항산화 활성은 각 추출물에 의해 ABTS 라디칼이 50%가 소거되는 농도인 IC<sub>50</sub> 값으로 나타내었다(Table 2). ABTS 라디칼 소거능에서는 총 폴리페놀 함량과 같은 경향으로 hull의 100% 메탄올 추출물과 70% 에탄올 추출물에서 각각 IC<sub>50</sub> 값이 6.8±0.4, 6.3±0.1 µg/mL 으로 가장 활성이 높았고, bran과 grain에서는 이보다 낮은 19.9~29.6 µg/mL 으로 비슷한 수준이었다. 이 결과 역시 폴리페놀 함량이 높은 추출물이 항산화 활성이 높다고 보고한 Woo *et al.* (2010) 결과와 같은 경향을 나타내었다.

**추출 용매에 따른 수수 grain과 도정부산물의 천연색소 함량**  
 유색 수수 식물체에서 발견되는 플라보노이드 중 3-deox-

**Table 2.** Contents of total polyphenol and ABTS radical scavenging activity of grain and milling by-product of sorghum.

Solvents	Total polyphenol (mg GAE/100 g) <sup>1)</sup>			ABTS radical scavenging activity (IC <sub>50</sub> , µg/mL) <sup>1,2)</sup>		
	Hull	Bran	Grain	Hull	Bran	Grain
MeOH <sup>3)</sup>	29.4±0.4 <sup>a</sup>	10.2±0.4 <sup>c</sup>	12.9±0.4 <sup>b</sup>	6.8±0.4 <sup>a</sup>	19.9±0.0 <sup>b</sup>	29.6±1.8 <sup>c</sup>
MeOH (0.5%(v/v)HCl) <sup>3)</sup>	26.8±0.0 <sup>a</sup>	16.0±0.9 <sup>b</sup>	13.4±0.0 <sup>c</sup>	10.4±1.0 <sup>a</sup>	26.2±0.0 <sup>c</sup>	23.2±0.5 <sup>b</sup>
EtOH <sup>3)</sup>	27.2±0.1 <sup>a</sup>	17.4±1.0 <sup>b</sup>	11.8±0.1 <sup>c</sup>	9.2±0.4 <sup>a</sup>	27.0±0.8 <sup>b</sup>	27.7±6.2 <sup>b</sup>
70% EtOH <sup>3)</sup>	29.7±0.2 <sup>a</sup>	13.5±0.4 <sup>b</sup>	14.5±0.0 <sup>c</sup>	6.3±0.1 <sup>a</sup>	25.4±0.4 <sup>b</sup>	23.0±0.7 <sup>c</sup>

<sup>1)</sup>All values are mean±SD (n=3).

<sup>2)</sup>Concentration at which 50% inhibition is achieved.

<sup>3)</sup>Means are significantly different ( $p<0.05$ ) by Duncan's multiple range test. Mean values in same line with different letter of total polyphenol and ABTS radical scavenging activity, respectively, are significantly different.

**Table 3.** Major natural pigments content according to the extraction solvents in milling by-product and grain of sorghum.

Extraction solvent	Natural pigment contents (mg/100 g of dry weight) <sup>1)</sup>					
	Luteolinidin	Apigeninidin	Luteolin	Apigenin	Total <sup>2)</sup>	
Hull	MeOH	16.1±0.3	42.7±0.8	20.2±0.1	204.2±7.4	283.2±7.0 <sup>b</sup>
	MeOH (0.5%(v/v)HCl)	32.5±1.5	88.1±2.3	32.0±3.3	176.6±3.5	322.6±14.5 <sup>a</sup>
	EtOH	11.8±0.1	43.3±0.5	18.5±0.7	193.4±4.5	266.9±5.5 <sup>b</sup>
	70% EtOH	8.6±0.2	18.6±0.2	22.9±1.1	193.2±3.0	243.3±3.9 <sup>c</sup>
Bran	MeOH	10.9±0.7	31.9±0.7	5.7±0.2	8.4±2.2	56.9±3.1 <sup>b</sup>
	MeOH (0.5%(v/v)HCl)	11.6±1.6	80.0±5.5	9.4±0.2	20.5±2.3	121.5±9.3 <sup>a</sup>
	EtOH	4.6±0.4	31.6±0.5	3.1±0.1	4.6±0.6	44.0±0.2 <sup>c</sup>
	70% EtOH	12.0±0.4	13.9±1.2	6.8±0.2	12.7±0.6	45.3±2.7 <sup>c</sup>
Grain	MeOH	2.5±0.3	57.3±1.3	1.1±0.2	1.8±0.3	63.0±1.2 <sup>b</sup>
	MeOH (0.5%(v/v)HCl)	1.2±0.1	123.7±1.6	2.5±0.1	4.1±0.2	131.5±1.6 <sup>a</sup>
	EtOH	1.7±0.2	26.5±4.0	1.1±0.4	2.2±0.8	31.6±3.7 <sup>c</sup>
	70% EtOH	1.1±0.1	19.7±0.8	1.2±0.2	1.9±0.4	23.9±1.0 <sup>d</sup>

<sup>1)</sup>All values are mean±SD (n=3).

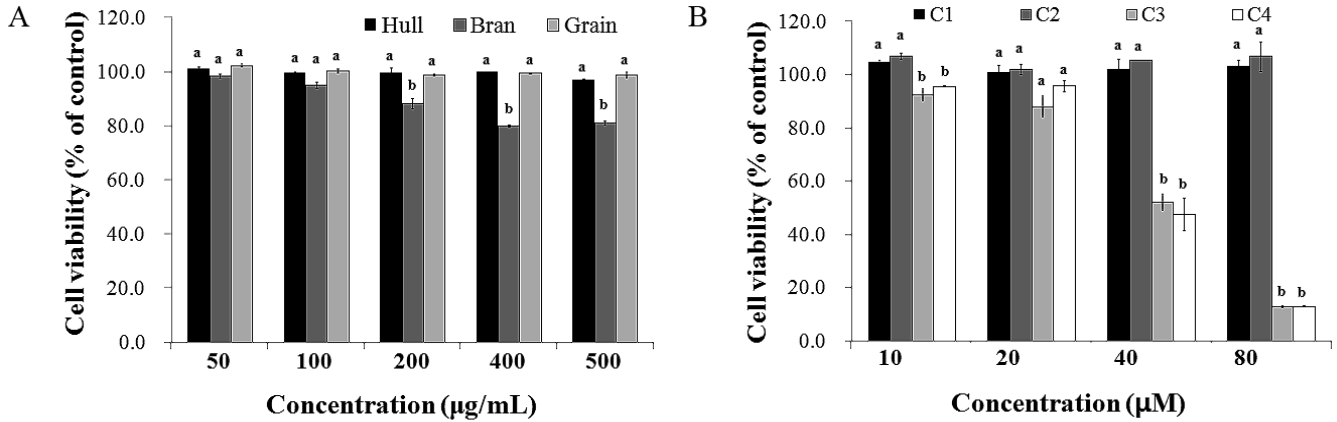
<sup>2)</sup>Means are significantly different ( $p<0.05$ ) by Duncan's multiple range test.

yanthocyanidin 계열 화합물로서 apigeninidin과 luteolinidin이 가장 많이 보고되어 있고, 다른 플라보노이드로서 apigenin, luteolin, naringenin 등이 보고되어 있다(Awika *et al.*, 2004; Dykes *et al.*, 2009; Kouada-Bonafos *et al.*, 1994). 수수 grain과 도정부산물을 4가지 추출용매를 사용하여 추출하였을 때, 대표적인 수수 함유 천연색소인 luteolinidin, apigeninidin, luteolin, apigenin의 함량을 UPLC를 이용하여 분석한 결과, Table 3와 같이 총 천연색소 함량은 수수 hull의 0.5% 염산 함유 100% 메탄올 추출물에서 322.6±14.5 mg/100 g으로 가장 많은 색소 함량을 나타내었고, 100% 메탄올 추출물에서 283.2±7.0 mg/100 g, 에탄올 추출물에서 266.9±5.5 mg/100 g, 70% 에탄올 추출물에서 243.3±3.9 mg/100 g으로 네 가지 추출 용매 모두에서 수수 hull의 색소 추출률이 가장 높았

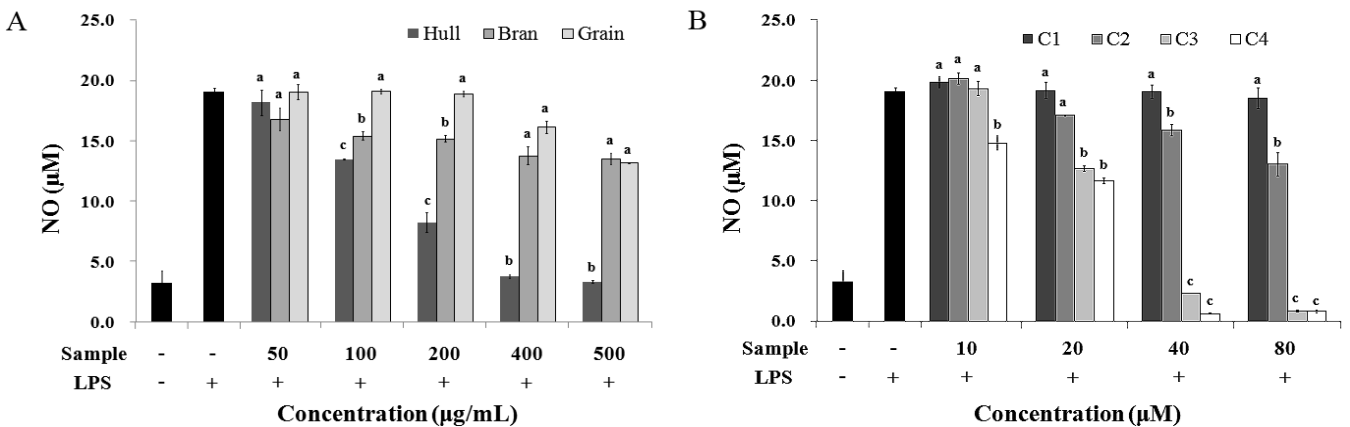
다. 또한 수수 hull, bran, grain 모두의 경우에서 0.5% 염산을 함유한 100% 메탄올을 용매로 추출한 경우, 나머지 세 가지 추출 용매보다 네 가지 색소에서 모두 높은 함량을 보였다. 이 결과는 수수를 이용하여 천연색소를 추출할 경우 산을 함유한 메탄올로 추출하였을 때 다른 용매보다 다량의 색소 추출물을 얻을 수 있음을 시사하였으며, grain보다 수수 부산물인 hull에서 더 많은 색소 추출물을 얻을 수 있음을 나타내었다. 따라서 색소 추출률이 많은 0.5% 염산을 함유한 100% 메탄올 추출물을 RAW 264.7 대식세포에 처리하여 세포독성과 염증인자인 NO 생성량을 측정하였다.

#### 세포 독성

도정부산물과 grain의 천연색소 함량이 가장 높았던 0.5%



**Fig. 1.** Effects of sorghum milling by-product methanol-extract (containing 0.5% HCl) (A) and four pigments on cytotoxicity (B) in RAW 264.7 cells. Each of samples was treated with different concentrations in RAW 264.7 cells for 48 hr. Results are expressed as mean±SD (n=3) and means are significantly different (p<0.05) by Duncan's multiple range test. Mean values in same column with different letter are significantly different. C1: luteolinidin, C2: apigeninidin, C3: luteolin, C4: apigenin.



**Fig. 2.** Effects of sorghum milling by-product methanol-extract (containing 0.5% HCl) (A) and four pigments on NO production (B) in LPS-induced RAW 264.7 cells. Each of samples was treated with different concentrations in RAW 264.7 cells. Results are expressed as mean±SD (n=3) and means are significantly different (p<0.05) by Duncan's multiple range test. Mean values in same column with different letter are significantly different. C1: luteolinidin, C2: apigeninidin, C3: luteolin, C4: apigenin.

염산을 함유한 100% 메탄올 추출물과 apigeninidin을 비롯한 주요 천연색소의 세포에 대한 독성은 MTT assay법을 이용하여 RAW 264.7 대식세포에서 확인하였다(Fig. 1). 추출물을 농도별(50, 100, 200, 400, 500 µg/mL)로 처리하였을 때 hull과 grain에서는 500 µg/mL에서도 세포 독성이 나타나지 않았으나, bran 추출물은 200 µg/mL 이하의 농도에서 90% 이상의 생존율을 보이는 것으로 나타났다. 천연색소 화합물의 경우, 농도별(10, 20, 40, 80 µM)로 처리하였을 때, luteolinidin과 apigeninidin은 80 µM까지 세포 독성이 나타나지 않았으나, apigenin은 20 µM 이하의 농도에서 90% 이상의 생존율을 보이는 것으로 나타났고, luteolin은

10 µM 이하의 농도에서 세포독성이 나타나지 않음을 확인하였다.

**Nitric Oxide 생성량 측정**

세포 독성과 마찬가지로 수수 hull, bran과 grain 추출물의 LPS로 NO 생성을 유도한 RAW 264.7 세포에서의 NO 함량을 측정하였다. Fig. 2에서와 같이 처리 농도 50 ug/mL에서는 bran 추출물의 NO 함량이 가장 낮았으나 추출물 처리 간 유의한 차이는 보이지 않았고, 세 추출물 모두 세포 독성이 나타나지 않은 100 ug/mL 이하에서의 NO 생성 억제량은 hull, bran, grain의 순으로 나타났다. 세 추출물에서

모두 농도 의존적으로 NO 생성 함량이 줄었으며, hull 추출물의 경우가 농도에 따라 가장 큰 NO 생성 억제력을 보이는 것으로 나타났다(Fig. 2A) 세포 독성 결과와 비교해 볼 때, 200 µg/mL 이상의 농도에서 NO 생성량이 줄어드는 bran 추출물의 경우는 그 이상의 농도에서 보이는 세포 독성의 영향으로 생각되며, hull과 grain 추출물은 세포 독성이 없는 500 µg/mL 까지 NO 생성량이 유의적으로 감소한 것으로 확인하였다. 천연색소 화합물의 경우에서도 마찬가지로 luteolinidin을 제외한 나머지 화합물은 농도 의존적으로 NO 생성을 억제하는 것으로 나타났으나, apigenin 40 µM 과 luteolin 20 µM 이상의 농도로 RAW 264.7 세포에 처리했을 때 나타나는 NO 생성 감소율은 세포 독성에 의해 영향을 받은 결과로 해석되며, apigeninidin을 농도별로 처리하였을 때 NO 생성량이 유의하게 감소하였고 luteolinidin은 NO 생성 감소 효과가 없었다.

## 적 요

유색 수수인 황금찰수수를 도정할 때 grain과 함께 발생하는 도정부산물인 hull과 bran의 4가지 용매 추출물의 총 폴리페놀 함량, 항산화 활성, 천연색소 함량과 RAW 264.7 세포주를 이용하여 항염증 활성을 검정하였으며 결과를 요약하면 아래와 같다.

1. 도정부산물인 hull의 100% 메탄올과 70% 에탄올 추출물에서 총 폴리페놀 함량이 29.4±0.4와 29.7±0.2 mg GAE/100 g으로 가장 많았고, ABTS 라디칼 소거능(IC<sub>50</sub>)이 6.8±0.4, 6.3±0.1 µg/mL로 가장 높은 항산화 활성을 나타내었다.
2. 총 천연색소 함량에서도 수수 hull의 0.5% 염산 함유 100% 메탄올 추출물에서 322.6±14.5 mg/100g으로 가장 많은 색소 함량을 나타내었고 hull, bran, grain 모두의 경우에서 0.5% 염산을 함유한 100% 메탄올을 용매로 추출한 경우에서 가장 많아 수수를 이용하여 천연색소를 추출할 경우 수수 부산물인 hull을 산을 함유한 메탄올로 추출하였을 때 가장 많은 색소 추출물을 얻을 수 있었다.
3. 수수 도정부산물과 grain 추출물을 LPS로 NO 생성을 유도한 RAW 264.7 세포에 처리하였을 때, 세포 독성이 없는 100 µg/mL 농도 이하에서의 NO 생성 억제력은 hull, bran, grain 추출물의 순으로 나타났고 hull 추출물의 경우에 농도에 따라 가장 큰 NO 생성 억제력을 보였으며 천연색소 화합물 중에서는 apigeninidin의 NO

생성 억제 활성을 확인하였다.

4. 위 결과를 종합해 볼 때, 수수 도정부산물 중 hull은 grain에 비해 총 폴리페놀 화합물과 천연색소 함량이 높고 항산화 활성과 RAW 264.7 대식세포에서의 NO 생성량 억제 활성이 우수하여 앞으로 수수 부산물이 항산화 및 항염증 소재로 가능성이 있음을 확인하였다.

## 사 사

본 논문은 농촌진흥청 연구사업(세부과제명: 생리활성 검정을 통한 유용대사체 발굴 및 기능분석, 세부과제번호: PJ009257022014)의 지원에 의해 이루어진 것임.

## 인용문헌(REFERENCES)

- Awika, J. M., and L. W. Rooney. 2004. Sorghum phytochemicals and their potential impact on human health. *Phytochemistry*. 65 : 1199-1221.
- Awika, J. M., L. W. Rooney, and R. D. Waniska. 2004. Properties of 3-deoxyanthocyanins from sorghum. *Agri. Food Sci.* 52(14) : 4388-4394.
- Barnes, P. J., K. F. Chung, and C. P. Page. 1998. Inflammatory mediators of asthma: An update. *Pharm. Rev.* 50(4) : 515-596.
- Chung, H. S., M. K. Kang, C. W. Cho, S. Parvez, C. H. Park, D. W. Kim, J. H. Oh, H. Y. Kim, M. K. Shin, M. C. Hong, Y. S. Kim, and H. S. Bae. 2007. Inhibition of nitric oxide and tumor necrosis factor-alpha by moutan cortex in activated mouse peritoneal macrophages. *Biol. Pharm. Bull.* 30(5) : 515-916.
- Chung, I. M., E. H. Kim, M. A. Yeo, S. J. Kim, M. C. Seo, and H. I. Moon. 2011. Antidiabetic effects of three Korean sorghum phenolic extracts in normal and streptozotocin-induced diabetic rates. *Food Res. Intern.* 44 : 127-132.
- Dykes, L., L. M. Seitz, W. L. Rooney, and L. W. Rooney. 2009. Flavonoid composition of red sorghum genotypes. *Food Chem.* 116 : 313-317.
- Khan, R. A., M. R. Khan, S. Sahreen, and M. Ahmed. 2012. Evaluation of phenolic contents and antioxidant activity of various solvent extracts of *Sonchus asper* (L.) Hill. *Chem. Cent. J.* 6 : 1-7
- Kim, Y. S., S. J. Lee, J. W. Hwang, E. H. Kim, P. J. Park, and J. H. Jeong. 2012. Anti-inflammatory effects of extracts from *Ligustrum ovalifolium* H. leaves on RAW264.7 macrophages. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 41(9) : 1205-1210.
- Kim, M. S., I. T. Oh, D. Y. Jun, J. Y. Lee, H. Y. Sohn, D. Y. Kwak, M. C. Seo, K. S. Woo, J. Y. Ko, T. W. Jung, M. H. Nam, M. H. Woo, and Y. H. Kim. 2013. Anticoagulant and fibrinolytic activities of Hwanggeumchal sorghum *in vitro*. *J. Life Science.* 23(12) : 1460-1470.

- Kouda-Bonafos, M., E. Czyzewska, M. Nacro, and A. C. Oehlschlager. 1994. Isolation of apigeninidin from leaf sheaths of *Sorghum caudatum*. *J. Chem. Ecol.* 20(8) : 2123-2125.
- Moro, C., I. Palacios, M. Lozano, M. D'Arrigo, E. Guillamon, A. Villares, J. A. Martinez, and A. Garcia-Lafente. 2012. Anti-inflammatory activity of methanolic extracts from edible mushrooms in LPS activated RAW 264.7 macrophages. *Food Chem.* 130 : 350-355.
- Olifson, L. E., N. D. Osadchaia, E. V. Chaikovskaia, and IuP. Semchenko. 1978. New food dye from sorghum grain hull and its toxicological characteristics. *Vopr. Pitan.* 1 : 76-80.
- Park, J. H., S. H. Lee, I. M. Chung, and Y. Park. 2012. Sorghum extract exerts an anti-diabetic effect by improving insulin sensitivity via PPAR- $\gamma$  in mice fed a high-fat diet. *Nutr. Res. Pract.* 6(4) : 322-327.
- Seo, W. D., J. Y. Kim, S. I. Han, J. E. Ra, J. H. Lee, Y. C. Song, M. J. Park, H. W. Kang, S. K. Oh, and K. C. Jang. 2011. Relationship of radical scavenging activities and anthocyanin contents in the 12 colored rice varieties in Korea. *J. Korean Soc. Appl. Biol. Chem.* 54(5) : 693-699.
- Tirzitis, G., and G. Bartosz. 2010. Determination of antiradical and antioxidant activity: basic principles and new insights. *Acta. Biochim. Pol.* 57 : 139-142.
- Wang, D. 1., S. Bean, J. McLaren, P. Seib, R. Madl, M. Tuinstra, Y. Shi, M. Lenz, X. Wu, and R. Zhao. 2008. Grain sorghum is a viable feedstock for ethanol production. *J. Ind. Microbiol. Biotechnol.* 35 : 313-320.
- Wang, C. Y., C. C. Ng, H. T. Lin, and Y. T. Shyu. 2011. Free radical-scavenging and tyrosinase-inhibiting activities of extracts from sorghum distillery residue. *J. Biosci. Bioeng.* 111(5) : 554-556.
- Woo, K. S., M. C. Seo, J. R. Kang, J. Y. Ko, S. B. Song, J. S. Lee, B. G. Oh, G. D. Park, Y. H. Lee, M. H. Nam, and H. S. Jeong. 2010. Antioxidant compounds and antioxidant activities of the methanolic extracts from milling fractions of sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench). *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 39(11) : 1695-1699.
- Yang, E. J., H. J. Lee, G. J. Kang, S. S. Park, W. J. Yoon, H. K. Kang, S. K. Cho, and E. S. Yoo. 2009. Anti-inflammatory effect of *Dangyuja* (*Citrus grandis* Osbeck) leaves in LPS-stimulated RAW 264.7 cells. *Food Sci. Biotechnol.* 18(5) : 1063-1070.
- Yaylor, J. R. N., T. J. Schober, and S. R. Bean. 2006. Novel food and non-food uses for sorghum and millets. *J. Cereal. Sci.* 44 : 252-271.