

## 국내산 수수(*Sorghum bicolor*) 품종에 따른 전자공여능, 환원력, 항균활성 및 $\alpha$ -glucosidase 저해활성의 비교

사여진<sup>1</sup> · 김주성<sup>2</sup> · 김명옥<sup>1</sup> · 정현주<sup>1</sup> · 유창연<sup>1</sup> · 박동식<sup>3</sup> · 김명조<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup>강원대학교 식물자원응용공학과, <sup>2</sup>강원대학교 한방바이오연구소,

<sup>3</sup>농촌진흥청 국립농업과학원 한식세계화연구단 기능성식품과

### Comparative Study of Electron Donating Ability, Reducing Power, Antimicrobial Activity and Inhibition of $\alpha$ -glucosidase by *Sorghum bicolor* Extracts

Yeo-Jin Sa<sup>1</sup>, Ju-sung Kim<sup>2</sup>, Myeong-Ok Kim<sup>1</sup>, Hyun-Ju Jeong<sup>1</sup>, Chang-Yeon Yu<sup>1</sup>, Dong-Sik Park<sup>3</sup>, and Myong-Jo Kim<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Applied Plant Sciences, Kangwon National University

<sup>2</sup>Oriental Bio-herb Research Institute, Kangwon National University

<sup>3</sup>Functional Food & Nutrition Division, Rural Development Administration

**Abstract** Electron donating ability (EDA), reducing power, total phenolic contents, total flavonoid contents, antimicrobial activity, and  $\alpha$ -glucosidase inhibitory effects of twenty-two sorghum varieties were examined using ethanol extracts (70%, v/v). The electron donating abilities (EDA) of Mesusu and Bulgeunjangmoksusu (94% at 10  $\mu$ g/mL) indicated higher antioxidant activity compared to those of other varieties and standard antioxidants such as BHT (13%) and BHA (74%). The reducing power of Mesusu ( $OD_{700}=0.71$ ) suggested higher antioxidant activity, which was dependent on sample concentration. Bitjarususu showed the highest content of total phenolics (22.9 mg GAE/g); however, extracts from Heuinsusu exhibited the lowest content of total phenolics (16.4 mg GAE/g). Jangmoksusu showed the highest total flavonolic contents (3.5 mg QE/g), and Sigyeongsusu and Chal (GS) susu displayed the most antibacterial activity (MIC=8  $\mu$ g/mL) against *Escherichia coli*. Extracts of Bulgeunjangmoksusu, Moksususu, and Ginjangmoksusu showed the highest  $\alpha$ -glucosidase inhibitory effect (98%) at the concentration of 5  $\mu$ g/mL.

**Key words:**  $\alpha$ -glucosidase inhibitory effect, antimicrobial activity, electron donating ability, reducing power, total phenolic contents

## 서 론

수수(*Sorghum bicolor*)는 외떡잎식물로 벼목 화본과에 속하는 한해살이풀로 북아프리카와 아시아에 걸쳐서 식용으로 재배되고 있다. 예로부터 수수는 가뭄 방지 작물이라고 불릴 정도로 불리한 환경에서 잘 자라는 특징을 가지고 있으며, 세계에서 밀, 벼, 보리, 옥수수 다음으로 수확량이 많은 작물로 알려져 있다.

민간요법에 따르면 수수의 주성분은 식욕개선, 소화촉진, 체온 유지, 위장보호, 해독 등 여러 가지 작용을 한다고 알려져 있다 (1). 이와 같이 여러 가지 기능을 가지고 있는 수수는 고부가가치를 높일 수 있는 중요한 곡류임에도 불구하고 조, 보리에 비해 품질(찰기, 식미)이 떨어지기 때문에 다른 곡류들에 비해서 이용이 적은 실정이며 이를 보완하기 위해 수수에 대한 연구가 활발

히 진행되고 있다. 수수의 주요 성분들은 tannins, phenolic acids, antocyanins, phytosterols, policosanols 등으로(2-4), 특히 수수에 많이 함유되어 있다고 알려져 있는 tannins은 항산화 활성에 영향을 미치는 것으로 보고되어진 바 있다(5). 또한 수수는 항암(6), 항돌연변이(7), 발암 promotion 억제효과(8)가 보고되었으며, 다른 곡류에서 발견되지 않은 3-deoxyflavonoids는 강한 항산화 활성을 나타내었다(9). 그리고 지장세포 증식능과 cytokine 생성량을 증가시켜 면역기능을 강화하며(1), 콜레스테롤을 저하하여 심장질환 예방에 효과가 있다고 보고되었다(10). 이러한 이유로 최근에는 사람들이 다양한 목적으로 수수를 이용하고 있다(11). 미국에서는 동물의 사료 제조와 밀 글루텐에 알레르기가 있는 사람들의 대체품으로 이용되며, 아프리카에서는 소화기관 질병치료를 위한 죽으로 만들어 섭취하고 있다. 또한, 우리나라 뿐만 아니라, 일본, 중국, 인도, 중남미에서는 술, 과자, 떡, 엿 등의 다양한 형태로 수수를 섭취하고 있으며, 웰빙과 기능성 식품에 대한 관심이 증대되면서 간편한 식사대용으로 선식과 생식으로도 이용하고 있다(12,13).

본 연구에서는 수수 22 품종의 생리활성을 알아보고자 항산화 활성, 총 페놀, 총 플라보노이드 함량, 항미생물 활성 및 항당뇨 활성 등의 생리활성을 검정하여 새로운 기능성 소재로서의 가치를 평가하는데 기초자료를 얻고자 한다.

\*Corresponding author: Myong-Jo Kim, Department of Applied Plant Sciences, Kangwon National University, Chuncheon, Gangwon 200-701, Korea  
Tel 82-33-250-6413  
Fax: 82-33-244-6410  
E-mail: kimmjo@kangwon.ac.kr  
Received April 26, 2010; revised June 17, 2010;  
accepted June 28, 2010

재료 및 방법

실험재료

강원도 원주시 신림농협으로부터 2009년 2월경에 토종수수 22 개 품종을 제공받아 본 실험에 사용하였다.

추출물의 제조

시료 15 g에 10배의 70% ethanol을 넣고 1시간 동안, 24시간 간격으로 sonic bath(Powersnic 420, Hwashin, Seoul, Korea)을 이용해 3반복 추출하였다. 각 추출물을 여과한 후 rotary vacuum evaporator(NE-2001 & AC-1112A, Eyela Co., Tokyo, Japan)로 감압농축한 후에 동결 건조하여 -20°C에 보관하면서 실험에 사용하였다.

총 페놀 및 플라보노이드 함량 측정

수수 추출물의 총 페놀 함량은 Taga 등에 의해 보고되어진 Folin-cioalteau방법(14)을 사용하였다. 추출물 0.1 mL에 Folin-cioaltea reagent 0.05 mL, 20% sodium carbonate 0.3 mL를 가하였다. 15분 후 증류수 1 mL를 넣어 혼합한 후 UV-vis spectrophotometer(V-530, Jasco Co., Tokyo, Japan)를 이용하여 725 nm에서 흡광도를 측정하였다. 페놀화합물 함량은 표준물질 gallic acid를 이용하여 검량선을 작성한 다음 정량하여 GAE(gallic acid equivalents)로 나타내었다.

총 플라보노이드 함량은 Moreno 등(15)의 방법을 변형하여 측정하였다. 추출물 0.5 mL에 10% aluminum nitrate 0.1 mL, 1 M potassium acetate 0.1 mL 그리고 80% ethanol 4.3 mL를 차례로 가하여 혼합하고 실온에서 40분간 안정화시킨 다음 415 nm에서 흡광도를 측정하였다. Quercetin을 표준물질로 이용하여 검량선을 작성한 다음 quercetin equivalents(QE)로 나타내었다.

전자공여능(electron donating ability, EDA)

수수 추출물은 Blois의 방법(16)을 변형하여 측정하였다. 추출물 0.1 mL에 methanol 4 mL, 0.15 mM 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl(DPPH) 1 mL를 혼합하여 실온에서 30분간 안정화시킨 다음 517 nm에서 흡광도를 측정하였다. Sample 첨가구와 무 첨가구의 흡광도 차이를 백분율(%)로 표시하여 전자공여능을 측정하였으며 아래와 같이 계산하였다.

$$EDA(\%) = (1 - \text{absorbance value of sample} / \text{absorbance value of control}) \times 100$$

환원력 측정

Reducing power는 Oyaizu의 방법(17)을 변형하여 측정하였다. 70% ethanol 추출물(10 µg/mL) 30, 60, 90 µL에 0.2 M sodium phosphate buffer(pH 6.6) 500 µL, 1% potassium ferricyanide 500 µL를 각각 혼합하여 50°C에서 20분 동안 반응시킨 후 10% trichloroacetic acid 2.5 mL를 가하였다. 위 반응액을 650 rpm에서 10분간 원심분리하여 상층액 500 µL에 증류수 500 µL, 1% ferric chloride 100 µL를 가하여 혼합한 반응액의 흡광도 값을 700 nm에서 측정하였다.

항균 실험

그람양성균 *Bacillus subtilis*(KCTC 1021), *Staphylococcus aureus*(KCTC 1916), 그람음성균 *Klebsiella pneumoniae*(KCTC 2208), *Escherichia coli*(KCTC 1924), *Salmonella* Typhimurium(KCTC

Table 1. Extraction yields, total phenolic, and total flavonoid content of ethanol extracts (70%, v/v) from sorghum varieties

Cultivar	Remark	% <sup>1)</sup>	TPC <sup>2)</sup> mg GAE/g	TFC <sup>3)</sup> mg QE/g
Gumeunchalsusu	GEC	3.6 <sup>ef4)</sup>	21.2 <sup>cd</sup>	1.0 <sup>k</sup>
Ginjangmoksusu	GJM	3.5 <sup>ef</sup>	21.3 <sup>c</sup>	1.1 <sup>ijk</sup>
Kkachisusu	KKC	3.5 <sup>ef</sup>	19.6 <sup>i</sup>	0.7 <sup>l</sup>
Mesusu	MSS	3.8 <sup>def</sup>	22.7 <sup>a</sup>	2.0 <sup>ef</sup>
Moktaksusu	MT	4.5 <sup>abc</sup>	22.2 <sup>b</sup>	1.0 <sup>k</sup>
Mongdangsusu	MD	4.4 <sup>abcd</sup>	21.4 <sup>c</sup>	1.2 <sup>hi</sup>
Bulgeunsaeksusu	BES	3.9 <sup>cdef</sup>	21.4 <sup>c</sup>	2.3 <sup>d</sup>
Bulgeunjangsusu	BEJ	4.5 <sup>abc</sup>	20.4 <sup>de</sup>	1.3 <sup>h</sup>
Bulgeunjangmoksusu	BEJM	4.4 <sup>abcd</sup>	21.9 <sup>b</sup>	2.9 <sup>b</sup>
Bulgeunchalsusu	BEC	3.9 <sup>cdef</sup>	18.2 <sup>j</sup>	2.0 <sup>ef</sup>
Bitjarususu	BJR	4.2 <sup>bcde</sup>	22.9 <sup>a</sup>	2.2 <sup>de</sup>
Susongsangisusu	SSSI	3.4 <sup>f</sup>	20.5 <sup>de</sup>	2.0 <sup>f</sup>
Sigyeongsusu	SG	3.6 <sup>ef</sup>	17.4 <sup>k</sup>	2.3 <sup>d</sup>
Ilbanchalsusu	IBC	3.7 <sup>ef</sup>	20.4 <sup>ef</sup>	1.2 <sup>hi</sup>
Jangmoksusu	JM	4.8 <sup>a</sup>	22.7 <sup>a</sup>	3.5 <sup>a</sup>
Jangsususu	JS	3.6 <sup>ef</sup>	19.8 <sup>hi</sup>	1.2 <sup>hij</sup>
Jaeraechalsusu	JRC	3.9 <sup>cdef</sup>	19.9 <sup>gh</sup>	1.6 <sup>g</sup>
Chalsusu	CSS	4.4 <sup>abcd</sup>	20.5 <sup>efg</sup>	1.3 <sup>h</sup>
Chal(GS)susu	CGS	4.7 <sup>ab</sup>	18.6 <sup>j</sup>	1.0 <sup>k</sup>
Chal(JD)susu	CJD	4.5 <sup>abcd</sup>	21.7 <sup>b</sup>	1.5 <sup>g</sup>
Heuinjangmoksusu	HJM	2.7 <sup>g</sup>	20.2 <sup>gh</sup>	2.5 <sup>c</sup>
Heuinsusu	HSS	3.7 <sup>ef</sup>	16.4 <sup>l</sup>	1.0 <sup>k</sup>

<sup>1)</sup>Extraction yield (%): weight of dry soluble solid (g)/weight of sample (g)×100

<sup>2)</sup>Total phenol content analysed as gallic acid equivalent (GAE) mg/g of extract, values are the mean±standard derivation of triplicates.

<sup>3)</sup>Total flavonoid content analysed as quercetin equivalent (QE) mg/g of extract, values are the mean±standard derivation of triplicates

<sup>4)</sup>Each value is mean±SD of triplicate determinations. Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

1925) 그리고 효모 *Candida albicans*(KCTC 7965), *Pichia jadinii*(KCTC 7293)은 Korean Collection for Type Cultures(KCTC)에서 분양 받아 이용하였다. 피검균을 액체배지(micrococcus, nutrient, YM media)에서 배양하였으며, 항미생물 활성은 Kobayashi 등의 two-fold dilution법(18)을 사용하여 측정하였다. 미생물의 증식을 육안으로 관찰하여 세균의 생육을 억제하는 가장 낮은 농도를 나타내는 최저억제농도(MIC: minimum inhibitory concentration)로 나타내었다. Sample 무첨가구는 negative control로 tetracycline과 ketoconazole은 positive control로 사용하였다.

α-Glucosidase 저해활성

각 수수 추출물 50 µL를 0.2 U/mL α-glucosidase 효소액 50 µL, 200 mM potassium phosphate buffer(pH 6.8) 50 µL와 혼합하여 37°C에서 15분간 배양한 후 3 mM pNPG(p-nitrophenyl-α-D-glucopyranoside) 100 µL를 가하여 37°C에서 10분간 반응시켰다. 0.1 M sodium carbonate 750 µL로 반응을 정지시키고 405 nm에서 흡광도를 측정하였다. Sample 무첨가구는 negative control로 사용하였으며, 기질 무첨가구는 blank로 사용하였다. Acarbose를 positive control로 사용하였으며, α-glucosidase 저해활성은 아래와 같이 계산하였다.

$$\text{Inhibition rate (\%)} = \{1 - (\text{ABS}_{\text{sample}} - \text{ABS}_{\text{blank}}) / \text{ABS}_{\text{control}}\} \times 100$$

**Table 2. Electron donating ability of ethanol extracts (70%, v/v) from sorghum varieties**

Cultivar <sup>2)</sup>	EDA(% <sup>1)</sup> )		
	2 µg/mL	6 µg/mL	10 µg/mL
GEC	15 <sup>fg<sup>3)</sup></sup>	38 <sup>g</sup>	68 <sup>hi</sup>
GJM	17 <sup>defg</sup>	50 <sup>e</sup>	79 <sup>e</sup>
KKC	6 <sup>lm</sup>	18 <sup>i</sup>	29 <sup>m</sup>
MSS	31 <sup>a</sup>	82 <sup>a</sup>	94 <sup>ab</sup>
MT	18 <sup>cdef</sup>	65 <sup>c</sup>	91 <sup>bc</sup>
MD	15 <sup>fgh</sup>	44 <sup>f</sup>	68 <sup>hi</sup>
BES	19 <sup>bcde</sup>	58 <sup>d</sup>	86 <sup>d</sup>
BEJ	22 <sup>bc</sup>	62 <sup>c</sup>	92 <sup>b</sup>
BEJM	22 <sup>bc</sup>	69 <sup>b</sup>	94 <sup>ab</sup>
BEC	11 <sup>hij</sup>	29 <sup>i</sup>	48 <sup>l</sup>
BJR	20 <sup>bcd</sup>	57 <sup>d</sup>	87 <sup>d</sup>
SSSI	13 <sup>ghij</sup>	32 <sup>hi</sup>	51 <sup>kl</sup>
SG	9 <sup>kl</sup>	20 <sup>i</sup>	32 <sup>m</sup>
IBC	15 <sup>efgh</sup>	45 <sup>f</sup>	72 <sup>fg</sup>
JM	19 <sup>cdef</sup>	50 <sup>e</sup>	75 <sup>f</sup>
JS	7 <sup>klm</sup>	20 <sup>i</sup>	29 <sup>m</sup>
JRC	10 <sup>ijk</sup>	31 <sup>hi</sup>	52 <sup>k</sup>
CSS	12 <sup>ghij</sup>	35 <sup>h</sup>	57 <sup>j</sup>
CGS	13 <sup>ghi</sup>	40 <sup>g</sup>	66 <sup>i</sup>
CJD	19 <sup>cdef</sup>	63 <sup>c</sup>	89 <sup>cd</sup>
HJM	13 <sup>ghi</sup>	46 <sup>f</sup>	71 <sup>gh</sup>
HSS	4 <sup>m</sup>	8 <sup>k</sup>	14 <sup>n</sup>
BHT	4 <sup>m</sup>	8 <sup>k</sup>	13 <sup>n</sup>
BHA	23 <sup>b</sup>	55 <sup>d</sup>	74 <sup>fg</sup>
α-tocopherol	30 <sup>a</sup>	73 <sup>b</sup>	97 <sup>a</sup>

<sup>1)</sup>EDA(%): (1-absorbance value of sample/absorbance value of control)×100

<sup>2)</sup>For abbreviations see Table 1.

<sup>3)</sup>Each value is mean±SD of triplicate determinations. Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

ABS<sub>sample</sub>: Absorbance of the experimental sample

ABS<sub>blank</sub>: Absorbance of the blank

ABS<sub>control</sub>: Absorbance of the control

### 통계분석

모든 실험은 3회 반복실험 한 후 평균값과 표준편차로 표시하고, 각 실험 결과로부터 SPSS 11.5를 이용하여 유의성을 검정하였다.

## 결과 및 고찰

### 수율과 총 페놀 및 플라보노이드 함량

수수 추출물에 대한 수율은 Table 1에 나타내었다. 70% ethanol에 추출한 수수 22개 품종의 수율은 2.7-4.8%로 나타났으며, 이와 같은 결과는 7가지 특수미의 수율 1.4-5.6%와 유사한 결과를 보였으며(19), 멕시코에서 재배된 보리의 수율(1.0-2.2%)보다 높게 나타났다(20). 수수 중에서도 장목수수, 찰(금산)수수, 목탁수수가 각각 4.8, 4.7, 4.5%로 다른 수수에 비해 높은 수율을 보였으며, 흰장목수수, 수송생이수수, 긴장목수수, 까치수수가 각각 2.7, 3.4, 3.5, 3.5%로 낮은 수율을 보였다.

수수 추출물의 총 페놀 및 플라보노이드 함량은 Table 1에 나

**Table 3. Reducing power of ethanol extracts (70%, v/v) from sorghum varieties**

Cultivar <sup>1)</sup>	Reducing power		
	30 µL	60 µL	90 µL
GEC	0.16 <sup>(2)</sup>	0.26 <sup>n</sup>	0.34 <sup>k</sup>
GJM	0.20 <sup>ghi</sup>	0.33 <sup>ijk</sup>	0.45 <sup>h</sup>
KKC	0.10 <sup>k</sup>	0.18 <sup>o</sup>	0.24 <sup>lm</sup>
MSS	0.29 <sup>e</sup>	0.50 <sup>c</sup>	0.71 <sup>c</sup>
MT	0.24 <sup>def</sup>	0.42 <sup>de</sup>	0.59 <sup>d</sup>
MD	0.17 <sup>ji</sup>	0.33 <sup>ijkl</sup>	0.40 <sup>ji</sup>
BES	0.22 <sup>efg</sup>	0.36 <sup>ghi</sup>	0.49 <sup>fg</sup>
BEJ	0.21 <sup>fgh</sup>	0.38 <sup>efg</sup>	0.52 <sup>ef</sup>
BEJM	0.24 <sup>def</sup>	0.42 <sup>de</sup>	0.56 <sup>d</sup>
BEC	0.17 <sup>ji</sup>	0.28 <sup>mn</sup>	0.35 <sup>k</sup>
BJR	0.22 <sup>efg</sup>	0.37 <sup>fgh</sup>	0.52 <sup>e</sup>
SSSI	0.18 <sup>hij</sup>	0.29 <sup>lmn</sup>	0.39 <sup>ij</sup>
SG	0.09 <sup>k</sup>	0.17 <sup>o</sup>	0.26 <sup>l</sup>
IBC	0.16 <sup>ji</sup>	0.30 <sup>klm</sup>	0.42 <sup>i</sup>
JM	0.26 <sup>d</sup>	0.44 <sup>d</sup>	0.58 <sup>d</sup>
JS	0.09 <sup>k</sup>	0.16 <sup>o</sup>	0.22 <sup>m</sup>
JRC	0.17 <sup>ji</sup>	0.28 <sup>mn</sup>	0.37 <sup>jk</sup>
CSS	0.23 <sup>efg</sup>	0.42 <sup>de</sup>	0.58 <sup>d</sup>
CGS	0.18 <sup>ij</sup>	0.33 <sup>ijkl</sup>	0.46 <sup>gh</sup>
CJD	0.25 <sup>de</sup>	0.41 <sup>def</sup>	0.59 <sup>d</sup>
HJM	0.18 <sup>ij</sup>	0.29 <sup>klmn</sup>	0.39 <sup>ij</sup>
HSS	0.04 <sup>l</sup>	0.08 <sup>p</sup>	0.11 <sup>n</sup>
BHT	0.37 <sup>b</sup>	0.63 <sup>b</sup>	0.84 <sup>b</sup>
BHA	0.46 <sup>a</sup>	0.69 <sup>a</sup>	0.93 <sup>a</sup>
α-tocopherol	0.19 <sup>hij</sup>	0.33 <sup>hij</sup>	0.51 <sup>ef</sup>

<sup>1)</sup>For abbreviations see Table 1.

<sup>2)</sup>Each value is mean±SD of triplicate determinations. Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

타내었다. 수수 22개 품종을 비교한 결과 총 페놀 함량은 빗자루수수, 메수수, 장목수수 순으로 각각 22.9, 22.7, 22.7 mg GAE/g로 높은 함량을 나타내었으며, 흰수수가 16.4 mg GAE/g로 가장 낮은 함량을 나타내었다. Kong 등(21)의 보고에 따르면 백미, 추청현미쌀, 금중현미쌀은 각각 11.1, 49.4, 69.1 mg/100 g sample의 페놀 성분을 가지고 있으며, Qingming 등(22)은 중국에서 재배된 보리를 측정된 결과 3.11 mg GAE/g로 수수보다 낮은 함량을 보였다. 그리고 Dykes 등(23)의 보고에 따르면 페놀화합물들을 측정된 결과 gallic acid는 하얀색수수, 노랑색수수, 빨강색수수, 갈색수수에서 각각 19.7, 13.2, 46.0, 26.1 µg/g, dry wt의 함량을 보였으며, cinnamic acid는 갈색수수에만 19.7 µg/g, dry wt의 함량을 보였으며, vanillic acid는 빨간수수와 갈색수수에만 각각 19.2, 27.4 µg/g, dry wt의 함유를 나타내었다. 이와 같이 수수 품종별로 페놀 화합물들의 함량이 달라 총 페놀의 함량이 다른 것을 확인하였다.

플라보노이드는 0.7-3.5 mg QE/g의 함량을 보여주었다. 22품종 중에서도 까치수수가 0.7 mg QE/g로 가장 낮은 함량을 나타낸 반면에 장목수수, 붉은장목수수, 흰장목수수가 3.5, 2.9, 2.5 mg QE/g로 높은 함량을 보여주었다. 이 결과는 Kwak 등(7)의 보고에서도 수수(1.2 mg/wt)가 다른 곡류인 메밀(1.4 mg/wt), 기장(1.0 mg/wt), 울무(0.7 mg/wt)보다 유사하거나 높은 플라보노이드 함량을 보였으며 이러한 결과는 수수에 플라보노이드 함량이 높은 것을 확인 할 수 있었다.

**Table 4. Antimicrobial activity of 70% ethanol extract from *Sorghum bicolor***

Sample <sup>2)</sup>	MIC <sup>1)</sup> (µg/mL)						
	Bacteria strain <sup>2)</sup>				Yeast strain <sup>3)</sup>		
	B.s. (+)	S.a. (+)	E.c. (-)	S.t. (-)	K.p. (-)	C.a.	P.j.
GEC <sup>3)</sup>	>1000	>1000	32	>1000	>1000	500	250
GJM	>1000	>1000	16	>1000	1000	250	250
KKC	>1000	>1000	1000	>1000	>1000	250	250
MSS	>1000	>1000	32	>1000	>1000	250	250
MT	>1000	>1000	250	>1000	>1000	500	250
MD	>1000	>1000	250	>1000	>1000	500	250
BES	250	>1000	500	>1000	>1000	>1000	>1000
BEJ	>1000	>1000	250	>1000	>1000	>1000	>1000
BEJM	250	>1000	125	>1000	>1000	250	250
BEC	1000	1000	250	>1000	>1000	250	250
BJR	250	>1000	500	>1000	>1000	>1000	>1000
SSSI	250	>1000	500	>1000	>1000	500	500
SG	250	250	8	>1000	>1000	500	500
IBC	1000	>1000	16	>1000	>1000	250	250
JM	250	500	63	>1000	1000	250	250
JS	>1000	>1000	500	>1000	>1000	500	250
JRC	1000	>1000	500	>1000	>1000	500	500
CSS	1000	>1000	500	>1000	>1000	500	500
CGS	>1000	>1000	8	>1000	>1000	250	250
CJD	1000	>1000	500	>1000	>1000	>1000	>1000
HJM	125	>1000	250	>1000	>1000	500	250
HSS	1000	>1000	250	>1000	>1000	500	500
Tetracycline	8	8	8	8	8		
Ketoconazole						250	250

<sup>1)</sup>The MIC values against bacteria and yeast were determined by the serial two-fold dilution method. The growth of the bacteria and yeast were evaluated by the degree of turbidity of the culture with the naked eye.

<sup>2)</sup>For abbreviations see Table 1.

<sup>3)</sup>S.a.: *Staphylococcus aureus* KCTC 1916, B.s.: *Bacillus subtilis* KCTC 1021, K.p.: *Klebsiella pneumonia* KCTC 2208, E.c.: *Escherichia coli* KCTC 1924, S.t.: *Salmonella* Typhimurium KCTC 1925, P.j.: *Pichia jadinii* KCTC 7293, C.a.: *Candida albicans* KCTC 7965.

**DPPH 소거활성에 대한 전자공여능(electron donating ability, EDA)**

전자공여능은 항산화 측정에 대표적으로 쓰이는 방법이다. 이 실험에서 쓰이는 DPPH는 항산화 활성을 측정하기 위한 기질로 사용하였으며, phenol, flavonoid와 같은 페놀성 물질에 대한 항산화작용의 지표라고 알려져 있다. 이와 같은 작용은 활성 라디칼에 전자를 공여하여 식품 중의 지방 산화 억제와 인체 내 노화를 억제시킨다고 보고하였다(24). 수수 추출물의 DPPH 소거 활성을 2, 6, 10 µg/mL 농도로 측정하여 비교한 결과는 Table 2와 같다. 10 µg/mL 농도에서는 메수수, 붉은장목수수가 각각 94.3, 94.0%로 높은 활성을 나타내었다. 이와 같은 결과는 페놀계 합성 항산화제로 널리 사용되고 있는 butylated hydroxyl toluene (BHT)와 비교해 보았을 때 22개 품종의 수수가 훨씬 높은 활성을 나타내었으며, 메수수와 붉은장목수수는 가장 높은 활성을 나타낸 α-tocopherol과 유사한 활성을 보이는 것을 알 수 있었다. 수수 22품종의 전자공여능 평균값은 66%로, 재배지역에 따른 검정콩의 평균 값(일품검정콩(56%), 청자콩(44%))보다 높은 활성을 보였다(25). 이 결과는 Song 등(26)이 보고한 유색보리 40 계통의 평균 값 70%와 유사한 활성을 보였으며, 그중 상위 23%를 비교하였을 때 수수(92%)가 보리(78%)보다 높은 활성을 나타내었다.

**환원력 측정**

이 실험은 700 nm에서 ferric-ferricyanide(Fe<sup>3+</sup>)혼합물이 수소를 공여하여 유리라디칼을 안정화시켜 ferrous(Fe<sup>2+</sup>)로 전환하는 환원력을 흡광도 값으로 나타낸 것이다. 70% ethanol 추출물로 실험한 결과는 Table 3에 나타내었다. 농도별로 수수 추출물의 환원력을 측정한 결과 농도가 높아짐에 따라 활성이 증가하는 경향을 보였으며, Qingming 등(22)도 농도 의존적인 경향을 나타내었다. 22개 품종을 검정한 결과 90 µL에서 메수수(OD<sub>700</sub>=0.71)가 가장 높은 활성을 나타냈으며, 다음으로 목탁수수, 찰(진도)수수, 장목수수, 찰수수, 붉은장목수수가 각각 0.59, 0.59, 0.58, 0.58, 0.56의 OD값으로 높은 활성을 나타내었다. 이 수수들은 α-tocopherol (OD<sub>700</sub>=0.51)보다 높은 활성을 나타내었다. 수수 추출물의 항산화 활성 및 총 페놀 함량을 측정한 결과, 메수수, 붉은장목수수, 목탁수수, 찰(진도)수수, 빗자루수수, 장목수수가 높은 항산화 활성을 나타냈으며, 높은 페놀 함량을 보였다. 이 결과는 총 페놀 함량과 항산화 활성의 상관관계가 있는 것을 알 수 있었으며, Pasko 등(27)과 Dlamini 등(28)도 총 페놀 함량이 많을수록 높은 항산화 활성이 나타난다고 보고하였다. 항산화 활성 실험 중에서도 DPPH radical cation(R<sup>2</sup>=0.6200), Reducing power(R<sup>2</sup>=0.9075) 그리고 ABTS radical cation(R<sup>2</sup>=0.9973)과 밀접한 관계를 가지고 있어 총 페놀의 함량이 높을수록 항산화 활성이 좋은 것을 확인하

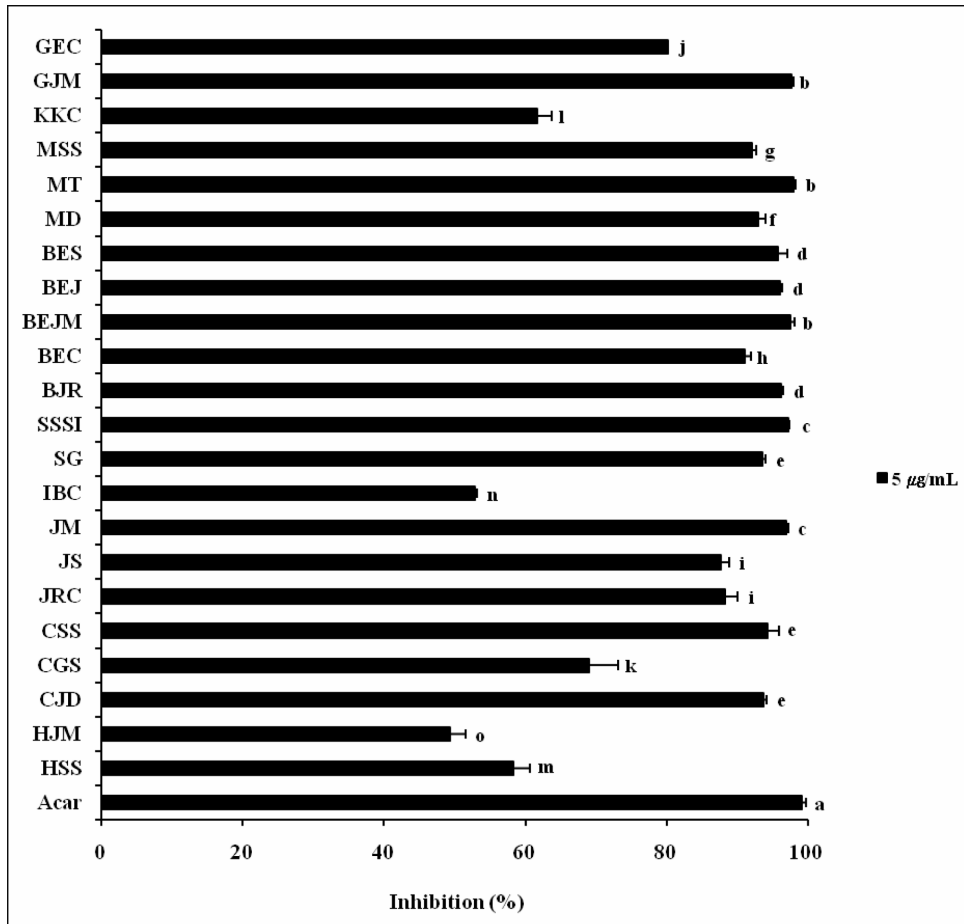


Fig. 1.  $\alpha$ -Glucosidase inhibitory effect of ethanol extracts (70%, v/v) from sorghum varieties. For abbreviations see Table 1. Acar: Acarbose.

였다(29). 그리고 Awika 등(6)의 보고에 따르면 수수 품종별로 페놀 화합물인 tannins의 함량 차이를 보였으며, 그 중에서도 tannins을 함유한 수수가 페놀 함량과 항산화 활성이 높은 것을 확인하였다. 그러나 tannins을 함유한 수수의 DPPH, ABTS, ORAC 항산화 활성을 측정 결과 각각 17.7-41.5, 61.6-125.0, 72.4-236.0  $\mu\text{mol-TE/g}$ 로 활성의 차이를 나타내었다. 이와 같이 페놀 화합물에 따라 항산화 활성의 차이가 있는 것을 확인하였다.

#### 항균 실험

식품의 부패와 변질을 방지하기 위한 목적으로 미생물을 사멸시키거나 증식을 억제시키는 합성 항생제를 사용한다. 이러한 항생제 사용이 점차 증가되면서 부작용이 일어나 안전성 문제가 대두되고 있는 실정이다. 이러한 문제점으로 인하여 요즘은 인체에 무해한 천연물을 이용하여 천연 항균성물질 개발 연구가 활발히 진행 중이다(30). 수수 추출물의 MIC를 측정된 결과 Table 4와 같다. 그람양성균인 *B. subtilis*에서 흰장목수수가 125  $\mu\text{g/mL}$ 의 MIC로 다른 수수보다 높은 활성을 나타내었다. 그람음성균인 *E. coli*에서는 모든 수수가 높은 억제 활성을 나타내었으며, 특히 그 중에서도 시경수수와 찰(금산)수수가 각각 8  $\mu\text{g/mL}$ 로 뛰어난 활성을 보여주었으며, 항생제인 tetracycline(MIC=8  $\mu\text{g/mL}$ )과 비교하였을 때 유사한 활성을 보였다. 그리고 효모 *P. jadinii*와 *C. albicans*에서는 붉은색수수, 붉은장수수, 빗자루수수, 찰(진도)수수를 제외한 대부분의 수수 추출물이 250-500  $\mu\text{g/mL}$ 의 최저억제농도를 나타내었으며, 특히 메수수, 까치수수, 긴장목수수, 붉은장

목수수, 붉은찰수수, 찰(금산)수수, 장목수수, 일반찰수수의 경우는 항생제인 ketoconazole과 유사한 활성을 나타내었다. 위와 같은 결과는 Kil 등(31)의 연구결과와 비교하였을 때 효모 *C. albicans*에서 활성을 확인 할 수 없었으며, 이는 시료 추출 용매에 의한 항균활성의 차이를 보이는 것으로 추측된다. Kim 등(32)에서는 페놀성 물질인 phenolic acid 및 coumarin류, flavonoid류가 단백질, 효소 단백질, 기타 거대한 분자들과 결합하여 항산화 및 항균효과 등의 생리활성 기능을 가진다고 보고하였다. 이러한 보고를 토대로 수수 추출물은 총 페놀, 총 플라보노이드 함량이 높아 항균활성이 좋게 나타난 것으로 예상되며, 이러한 페놀성 물질과 항균활성과의 상관관계를 살펴본 결과 함량이 높을수록 항균활성에 영향을 미치는 것을 확인 할 수 있었다. 수수 추출물을 대상으로 추가적인 항미생물 활성 물질 분리 실험이 진행되어야 할 것으로 사료된다.

#### $\alpha$ -Glucosidase 억제활성

$\alpha$ -Glucosidase는 소장 상피세포의 brush-border membrane에 존재하는 효소 또는 당당류로서 가수분해가 일어나 촉매역할을 하며,  $\alpha$ -glucosidase에 대한 저해능은 포도당의 흡수를 억제시켜, 식후 혈당상승을 감소시킨다(33,34). 수수 추출물을 5  $\mu\text{g/mL}$ 의 농도로 사용하여  $\alpha$ -glucosidase에 대한 저해활성을 검토한 결과를 Fig. 1에 나타내었다. 모든 수수가 활성을 보였으며, 그 중에서도 긴장목수수, 목탁수수, 붉은장목수수가 각각 98%로 가장 높은 억제효과를 보였으며, 장목수수, 수송생이수수도 각각 97%로 높은

저해활성이 보였다. 반면에 흰장목수수, 일반찰수수, 흰수수는 각각 49, 53, 58%로 상대적으로 다른 수수보다 낮은 활성을 보였으며, positive control로 사용한 acarbose는 같은 농도에서 99%로 수수와 유사하거나 높은 저해활성을 나타내었다. 또한 이 결과는 페놀함량이 높을수록 항산화 활성이 좋았던 수수와 조금 다른 경향을 보였다. 이는 페놀 함량과 항당뇨 활성에 낮은 상관관계를 보이는 것으로 추측된다. Ranilla 등(35)의 보고에 따르면 약용식물과 약초의 페놀함량과 항산화활성의 상관관계는  $R^2=0.81$ 로 높은 상관관계를 나타내었으나, 항당뇨활성과는  $R^2=0.39$ 로 낮은 상관관계를 나타내었다.

### 요 약

수수의 기능성식품으로써 이용 가능성을 조사하기 위해 수수의 70% ethanol 추출물의 전자공여능, 환원력, 총 페놀함량, 총 플라보노이드함량, 항미생물,  $\alpha$ -glucosidase 억제활성을 측정하였다. 전자공여능 측정 결과 10  $\mu\text{g/mL}$  농도에서 메수수, 붉은장목수수가 94%로 BHT(13%), BHA(74%)보다 월등히 높은 활성을 보였다. 환원력을 측정한 결과 농도가 높아짐에 따라 활성이 증가하는 경향을 보였으며, 수수 22개 품종 중에서 메수수가 0.71의 OD값으로 가장 높은 항산화 활성을 나타내었다. 추출물의 총 페놀 함량은 빗자루수수가 22.9 mg GAE/g로 높은 함량을 나타내었으며, 흰수수가 16.4 mg GAE/g로 가장 낮은 함량을 보였다. 총 플라보노이드 함량은 장목수수가 3.5 mg QE/g로 높은 함량을 보였다. 항미생물 실험 결과 *E. coli*에서 모든 수수가 활성을 나타내었으며, 특히 시경수수(MIC=8  $\mu\text{g/mL}$ )와 찰(금산)수수(MIC=8  $\mu\text{g/mL}$ )가 뛰어난 활성을 나타내었다.  $\alpha$ -Glucosidase 억제활성 측정 결과 붉은장목수수, 목탁수수, 긴장목수수가 98%로 높은 억제율을 보여주었다.

### 감사의 글

본 논문은 농촌진흥청에서 시행한 2009년 15대 어젠다 농업연구개발사업(과제번호, PJ006457)의 지원에 의한 연구결과와 일부로 이에 감사드립니다.

### 문 헌

1. Ryu HS, Kim J, Kim HS. Enhancing effect of *sorghum bicolor* L. Moench (sorghum, su-su) extracts on mouse spleen and macrophage cell activation. *J. Korean Diet. Assoc.* 19: 176-182 (2006)
2. Lee MS. Bioactive properties in whole grains. *Food Ind. Nutr.* 9: 19-25 (2004)
3. Dykes L, Rooney LW. Sorghum and millet phenols and antioxidants. *J. Cereal Sci.* 44: 236-251 (2006)
4. Awika JM, Rooney LW, Wu X, Prior RL, Cisneros-Zevallos L. Screening methods to measure antioxidant activity of sorghum (*Sorghum bicolor*) and sorghum products. *J. Agr. Food Chem.* 51: 6657-6662 (2004)
5. Dykes L, Rooney LW, Waniska RD, Rooney LW. Phenolic compounds and antioxidant activity of sorghum grains of varying genotypes. *J. Agr. Food Chem.* 53: 6813-6818 (2005)
6. Awika JM, Yang L, Browning JD, Faraj A. Comparative antioxidant, antiproliferative and phase II enzyme inducing potential of sorghum (*sorghum bicolor*) varieties. *Food Sci. Technol.* 42: 1041-1046 (2009)
7. Kwak CS, Lim SJ, Kim SA, Park SC, Lee MS. Antioxidative and antimutagenic effects of Korean buckwheat, sorghum, millet, and Job's tears. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 33: 921-929

- (2004)
8. Choi YH, Kang MY, Nam SH. Inhibition effect of various cereal and bean extracts on carcinogenicity *in vitro*. *Korean J. Food Sci. Technol.* 30: 964-969 (1998)
9. Dicko MH, Gruppen H, Traore AS, van Berkel WJ, Voragen AG. Evaluation of the effect of germination on phenolic compounds and antioxidant activities in sorghum varieties. *J. Agr. Food Chem.* 53: 2581-2588 (2005)
10. Kamath V, Niketh S, Chandrashekar A, Rajini PS. Chymotryptic hydrolysates of  $\alpha$ -kaffirin, the storage protein of sorghum (*Sorghum bicolor*) exhibited angiotensin converting enzyme inhibitory activity. *Food Chem.* 100: 306-311 (2007)
11. Dykes L, Seitz LM, Rooney WL, Rooney LW. Flavonoid composition of red sorghum genotypes. *Food Chem.* 116: 313-317 (2009)
12. Awika JM, Rooney LW. Sorghum phytochemicals and their potential impact on human health. *Pytochemistry* 65: 1199-1221 (2004)
13. Lee YT. Effect of heat treatments on *in vitro* starch hydrolysis of selected grains. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 35: 1102-1105 (2006)
14. Taga MS, Miller EE, Pratt DE. Chia seeds as a source of natural lipid antioxidants. *J. Am. Oil Chem.* 61: 928-993 (1984)
15. Moreno MI, Isla MI, Sampietro AR, Vattuone MA. Comparison of the free radical-scavenging activity of propolis from several regions of Argentina. *J. Ethnopharmacol.* 71: 109-114 (2000)
16. Blois MS. Antioxidant determination by the use of a stable free radical. *Nature* 181: 1199-1200 (1958)
17. Oyaizu M. Studies on products of browning reactions: antioxidative activities of products of browning reaction prepared from glucosamine. *Jpn. J. Nutr.* 44: 307-315 (1986)
18. Kobayashi A, Koguchi Y, Takahashi S, Kanzaki H, Kawazu K. ST-1, a novel radical scavenger from fungus F-124. *Biosci. Biotechnol. Biochem.* 57: 1034-1036 (1993)
19. Seo SJ, Choi YM, Lee SM, Kong SH, Lee JS. Antioxidant activities and antioxidant compounds of some specialty rices. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 37: 120-135 (2008)
20. Gallegos-Infante JA, Rocha-Guzman NE, Gonzalez-Laredo RF, Pulido-Alonso J. Effect of processing on the antioxidant properties of extracts from Mexican barley (*Hordeum vulgare*) cultivar. *Food Chem.* 119: 903-906 (2010)
21. Kong SH, Choi YM, Kim YW, Kim DJ, Lee JS. Antioxidant activity and antioxidant components in methanolic extract from geumjong rice. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 38: 807-811 (2009)
22. Qingming Y, Xianhui P, Weibao K, Hong Y, Yidan S, Li Z, Yanan Z, Yuling Y, Lan D, Guoan L. Antioxidant activities of malt extract from barley (*Hordeum vulgare* L.) toward various oxidative stress *in vitro* and *in vivo*. *Food Chem.* 118: 84-89 (2010)
23. Dykes L, Rooney LW. Sorghum and millet phenols and antioxidants. *J. Cereal Sci.* 44: 236-251 (2006)
24. Lee BB, Park SR, Han CS, Han DY, Park EJ, Park HR, Lee SC. Antioxidant activity and inhibition activity against  $\alpha$ -amylase and  $\alpha$ -glucosidase of *viola mandshurica* extracts. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 37: 405-409 (2008)
25. Yi ES, Yi YS, Yoon ST, Lee HG. Variation in antioxidant components of black soybean as affected by variety and cultivation region. *Korean J. Crop Sci.* 54: 80-87 (2009)
26. Song ES, Park SJ, Woo NRA, Won MH, Choi JS, Kim JG, Kang MH. Antioxidant capacity of colored barley extracts by varieties. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 34: 1491-1497 (2005)
27. Pasko P, Barton H, Zagrodzki P, Gorinstein S, Folta M, Zachwieja Z. Anthocyanins, total polyphenols and antioxidant activity in amaranth and quinoa seeds and sprouts during their growth. *Food Chem.* 115: 994-998 (2009)
28. Dlamini NR, Taylor JRN, Rooney LW. The effect of sorghum type and processing on the antioxidant properties of African sorghum-based foods. *Food Chem.* 105: 1412-1419 (2007)
29. Choi YM, Jeong HS, Lee JS. Antioxidant activity of methanolic extracts from some grains consumed in Korea. *Food Chem.* 103: 130-138 (2007)

30. Kim YD, Kang SK, Choi OJ, Lee HC, Jang MJ, Shin SC. Screening of antimicrobial activity of chopi (*zanthoxylum piperitum* A.P. DC.) extract. J. Korean Soc. Food Sci. Nutr. 29: 1116-1122 (2000)
31. Kil HY, Seong ES, Ghimire BK, Chung IM, Kwon SS, Goh EJ, Heo K, Kim MJ, Lim JD, Lee D, Yu CY. Antioxidant and antimicrobial activities of crude sorghum extract. Food Chem. 115: 1234-1239 (2009)
32. Kim JY, Lee JA, Kim KN, Yoon WJ, Lee WJ, Park SY. Antioxidative and antimicrobial activities of *Sargassum muticum*. J. Korean Soc. Food Sci. Nutr. 36: 663-669 (2007)
33. Kim SS, Ha JH, Jeong MH, Ahn JH, Yoon WB, Park SJ, Seong DH, Lee HY. Comparison of biological activities of fermented *Codonopsis lanceolata* and fresh *Codonopsis lanceolata*. Korean J. Med. Crop Sci. 17: 280-285 (2009)
34. Randhir R, Kwon YN, Shetty K. Effect of thermal processing on phenolics, antioxidant activity and health-relevant functionality of select grain sprouts and seedlings. Innovat. Food Sci. Emerg. Tech. 9: 355-364 (2008)
35. Ranilla LG, Kwon YI, Apostolidis E, Shetty K. Phenolic compounds, antioxidant activity and *in vitro* inhibitory potential against key enzymes relevant for hyperglycemia and hypertension of commonly used medicinal plants, herbs and spices in Latin America. Bioresource Technol. 101: 4676-4689 (2010)