

## 미국 도입 수수 유전자원의 항산화활성과 항균활성

고은정<sup>1†</sup>, 유지혜<sup>†</sup>, 성은수, 이재근, 황인성, 김남준, 유창연\*강원대학교 농업생명과학대학 식물자원응용공학과, <sup>1</sup>한국원자력연구원 정읍방사선과학연구소 방사선육종연구팀Antioxidant and Antimicrobial Activities of Sorghum  
Germplasms Introduced from USAEun Jeong Goh<sup>1†</sup>, Ji Hye Yoo<sup>†</sup>, Eun Soo Seong, Jae Geun Lee, In Seong Hwang,  
Nam Jun Kim and Chang Yeon Yu\*Department of Applied Plant Sciences, College of Agriculture and Life Science,  
Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea.<sup>1</sup>Advanced Radiation Technology Institute, Korea Atomic Energy Research Institute, Jeongseup 580-185, Korea

**Abstract** - This study was carried out to evaluate the agronomic characteristics and biological activities of *Sorghum bicolor* germplasms introduced from USA. Plant height, stem diameter, tiller number, leaf length, leaf width, leaf vein color, ear type, ear length and ear width have different from the cultivated accessions. Sweet-N-Sterile (#4) showed the tallest height, widest ear-width and stem diameter. Most of *Sorghum bicolor* plants may be available to use for bio-energy from these results showing big biomass. Antioxidant activities of 11 cultivars collected from USA were examined by DPPH assay and reducing power. Among the cultivars, Premium stock (#1), Early Sumac (#7), SS Silage (#9) and WGF Grain Sorghum (#11) showed a significantly higher antioxidant activity in comparison to others. Early Sumac (#7) and SS silage (#9) showed more strong reducing power activities than *α*-tocopherol, a positive control. Premium stock (#1), Sweet-N-Sterile (#4), Early Sumac (#7) and SS Silage (#9) were also showed high antioxidant activities by DPPH assay and reducing power experiment. BMR Gold I (#3) displayed strong antimicrobial activity against *Escherichia coli* at minimum inhibitory concentrations (125 µg/ml).

**Key words** - Bio-energy, Bioactivity, DPPH, Reducing power, *Sorghum bicolor*

## 서 언

수수(*Sorghum bicolor*(L.) Moench)는 밀, 벼, 옥수수, 콩, 보리와 함께 세계 주요한 6대 곡류작물이며, 외떡잎 식물 벼목 화본과의 한해살이풀로 내건성이 강하여 척박한 토양에서도 생육이 왕성하기 때문에 우리나라 전 지역에서 재배가 가능하다(Cho *et al.*, 2004; Zhao *et al.*, 2000). 종실수수는 곡실용, 양조원료 및 감미용으로 이용하고 있으며, 종실 수확 후에는 건초로 이용되며, 가축사료와 전분용으로 재배되고 있으며, 경엽을 이용하는 사료용 수수는 생초, 건초 및 사일리지용으로 재배되고 있다(Cho *et al.*,

2004; Goh *et al.*, 2011). 수수는 우리나라에서 재배되고 있는 가장 유망한 바이오에너지 식물 중의 하나이며, 전세 계적으로 417만 ha 이상에서 재배되고 있다. 특히 단수수의 경우에는 바이오 연료 자원으로 생산성이 높다고 보고되었다(Lee *et al.*, 2008).

수수는 위장보호, 체온 유지, 소화 촉진 작용, 식욕개선작용, 해독작용, 종기치료 등에 효능이 있다고 알려져 있다(Ryu *et al.*, 2006). 수수의 주요 성분들은 tannins, phenolic acid, antocyanins, phytosterols, policosanols 등이 있으며, 특히 tannins은 항산화 활성에 영향을 미치는 것으로 보고되었다(Awika *et al.*, 2004). Kil *et al.*(2009)이 국내 수수 수집종으로 실험한 결과 까치수수(대립)를 제외한 모든 국내 수집종에서 DPPH 활성이 우수하였으며, 특히 검은찰수수와 장수수에서 활성이 가장

\*교신저자(E-mail) : cyyu@kangwon.ac.kr

<sup>†</sup>These authors equally contributed to this work.

뛰어난 것으로 알려진 바가 있으며, 미국에서는 동물의 사료 제조와 밀 글루텐에 알레르기가 있는 사람들의 대체품으로 이용되고 있다(Awika *et al.*, 2004).

따라서 본 연구는 미국에서 바이오에너지 자원으로 이용하고 있는 수수 11 품종의 특성을 알아보고자 작물학적 특성과 생리활성 검정을 목표로 하고 있다.

## 재료 및 방법

### 수수의 작물학적 특성

2008년도에 미국에서 수집된 수수 수집종 11종을 강원대학교 한방바이오연구소로부터 제공받은 뒤, 강원대학교 부속농장에 이식하였다(Fig. 1). 수수 수집종 유전자원의 농업 형태적 특성으로서 초장, 간경, 분얼수, 엽장, 엽폭, 엽맥색, 수형, 수장, 수폭 등을 조사하였다. 생육기간은 파종으로부터 이삭이 50% 이상 성숙한 시기로 하였으며, 그 외의 조사는 농촌진흥청 농업유전자원센터 평가기준에 준하여 실시하였다.

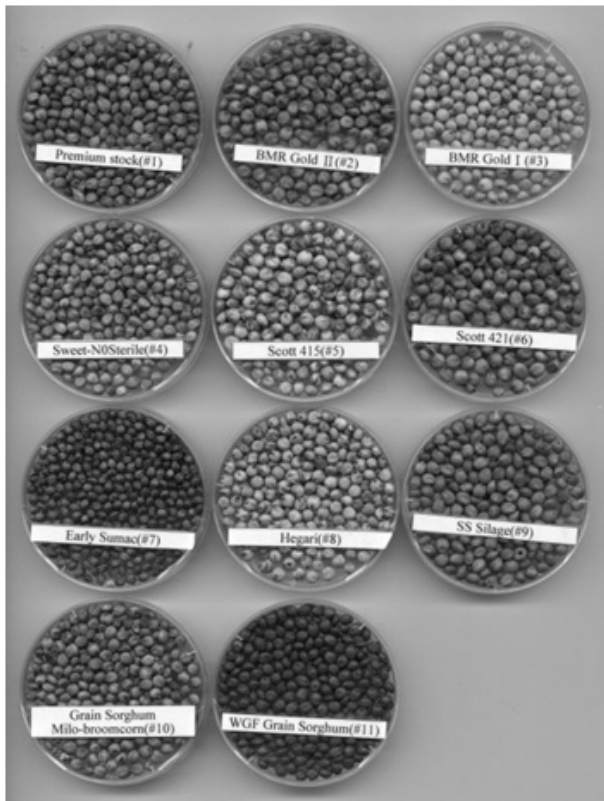


Fig. 1. Appearances of *Sorghum bicolor* seeds used in these experiments.

### 추출물의 제조

본 연구에 사용된 수수는 Premium stock(#1), BMR Gold II(#2), BMR Gold I(#3), Sweet-N-Sterile(#4), Scott 415(#5), Scott 421(#6), Early Sumac(#7), Hegari(#8), SS Silage(#9), Grain Sorghum Milo-broomcorn(#10), WGF Grain Sorghum(#11)인 외국 품종 11종의 종실 3 g을 100% 메탄올을 종실량 대비 10배로 48시간 실온에서 침지한 후, filter paper(Watman No. 42)로 여과시킨 후 회전감압농축기를 이용하여 40°C 이하의 중탕에서 감압농축하였다.

### DPPH(2,2-diphenyl-2-picryl-hydrazyl) radical 소거활성 측정

DPPH free radical 소거활성은 Xiong *et al.*(1996)의 방법에 따라 측정하였으며 0.15 M로 제조된 DPPH 용액 1 ml을 MeOH로 용해한 수수 추출물 4 ml에 혼합하였다. 전체 반응액(DPPH 1ml + 수수 추출물 4 ml = 5 ml)의 최종 농도를 10, 50, 100, 500 µg/ml로 제조될 수 있게 추출물의 양을 조절하여 혼합하여 실험을 진행하였으며 DPPH를 첨가하자마자 실온에서 30분간 반응시키고 517 nm에서 흡광도를 측정하였다. RC<sub>50</sub>(µg/ml)은 화합물을 첨가하지 않은 대조군의 값을 50% 감소시키는 화합물의 농도를 나타내며 비교항산화제로 alpha-tocopherol, BHA(Butylated Hydroxyanisole), BHT(Butylated Hydroxytoluene)를 사용하였다.

### Reducing power

환원력은 Oyaizu(1986)의 방법을 변형하여 측정하였다. 1 mg/ml의 시료 200 µl에 0.2 M phosphate buffer (pH 6.6) 500 µl, 1% potassium ferricyanide 500 µl를 혼합하여 50°C에서 20분간 반응시킨 후, 반응액에 10% trichloroacetic acid(v/v)를 2.5 ml 첨가한 후 반응액의 500 µl를 취하여 증류수 500 µl, 0.1% Ferric chloride 100 µl를 첨가하여 700 nm에서 흡광도를 측정하였다. 비교항산화제로 alpha-tocopherol, BHA, BHT, ascorbic acid를 사용하였다.

### Serial 2-fold dilution법에 의한 항미생물 활성 검정

Kobayasi *et al.*(1993)이 사용한 serial 2-fold dilution법을 이용하여 항미생물 활성을 검정하였다. 피검균으로는

그람 양성균이 *Bacillus subtilis*, *Staphylococcus aureus*와 그람 음성균인 *Escherichia coli*, *Salmonella typhimurium*, *Klebsiella pneumonia*를 사용하였다(Table 1). 피검균을 micrococcus와 nutrient 배지에 배양하여 균체 현탁액을 접종하여 37°C와 30°C에서 100 rpm으로 12시간 진탕 배양한다. 그 뒤 배양액을 100배 희석하여 1~2시간 본 배양 후 96 well micro assay plate에 200 µl씩 분주하고 생육 적정 온도에서 24시간 동안 암배양한 후 미생물 생육 억제력을 육안으로 관찰하였다. 항미생물 활성은 미생물의 생육을 억제하는 최저농도(MIC: minimum inhibitory concentration)로 측정하였다. 항생제로는 tetracycline을 사용하였다.

## 결과 및 고찰

### 미국 수수 수집종의 작물학적 특성

수수 수집종의 작물학적 특성을 조사한 결과, 초장은 Sweet-N-Sterile(#4)이 평균 416.2 cm로 우량한 생육을

보여주었으며, 대부분의 수집종은 100~300 cm 사이에서 생육을 보여주었다. Scott 421(#6)의 초장이 76.7 cm로 가장 낮은 수치를 나타냈다. 외국 수집종의 간경은 모두 2 cm 이상을 보여주었으며 그 중 Sweet-N-Sterile(#4)과 SS Silage(#9)이 줄기의 직경이 가장 두꺼웠다. 대부분의 수수 수집종의 분얼수는 2~3개로 나타났다(Table 2). BMR Gold II(#2), Sweet-N-Sterile(#4), SS Silage (#9)은 수집종 중 엽면적이 가장 높았으며 엽맥색은 모두 백색을 나타내었다(Table 3). 수수의 수형은 착립 밀도에 따라 여러 가지로 구분이 되는데, 본 수집종에서는 극산추형, 산직립형, 중간직립형, 반밀수타원형, 밀수타원형이 존재하였다. 그 중 각각 33%(3자원)이 중간직립형과 밀수타원형을 나타냈다. Sweet-N-Sterile(#4)이 수장의 길이가 41.2 cm로 가장 길었으며 수폭은 21.2 cm로 Premium stock(#1)이 가장 넓었다. 이는 수장과 수폭은 상관관계가 없다는 Seong *et al.* (2011)의 연구결과와 같은 결과를 보여주었다 (Table 4).

Table 1. List of strains and media used for antimicrobial experiment

Microorganism	Media	KCTC number	Incubation temperature(°C)
<i>Bacillus subtilis</i>	Nutrient	3728	30
<i>Staphylococcus aureus</i>	Micrococcus	1916	37
<i>Salmonella typhimurium</i>	Nutrient	1925	37
<i>Escherichia coli</i>	Nutrient	1924	37
<i>Klebsiella pneumonia</i>	Nutrient	2001	37

Table 2. Plant height, stem diameter and tiller number of *Sorghum bicolor* germplasms introduced from USA

Cultivars accession	Plant height (cm) <sup>†</sup>	Stem diameter(cm) <sup>†</sup>	Tiller number <sup>†</sup>
Premium stock(#1)	342.7 ± 2.5	2.5 ± 0.1	2
BMR Gold II(#2)	287.7 ± 5.5	2.4 ± 0.2	2
BMR Gold I (#3)	231.0 ± 1.0	2.1 ± 0.1	2
Sweet-N-Sterile(#4)	416.2 ± 3.6	2.6 ± 0.1	3
Scott 415(#5)	150.5 ± 0.5	2.4 ± 0.3	3
Scott 421(#6)	76.7 ± 1.5	2.2 ± 0.1	3
Early Sumac(#7)	225.2 ± 0.3	2.3 ± 0.2	3
Hegari(#8)	167.2 ± 1.0	2.4 ± 0.2	3
SS Silage(#9)	274.2 ± 3.3	2.6 ± 0.5	3
Grain Sorghum Milo-broomcorn(#10)	120.5 ± 2.5	2.4 ± 0.1	3
WGF Grain Sorghum(#11)	115.2 ± 5.3	2.4 ± 0.1	3

<sup>†</sup>Values are expressed as mean ± S.D. of data obtained from three independent experiments.

Table 3. Leaf length, leaf diameter and leaf vein color of *Sorghum bicolor* germplasms introduced from USA

Cultivars accession	Leaf length(cm) <sup>†</sup>	Leaf diameter(cm) <sup>†</sup>	Leaf vein color
Premium stock(#1)	105.8 ± 0.8	4.2 ± 0.3	white
BMR Gold II(#2)	81.2 ± 1.0	8.8 ± 0.8	white
BMR Gold I(#3)	78.2 ± 1.3	8.2 ± 0.3	white
Sweet-N-Sterile(#4)	74.3 ± 0.6	6.8 ± 0.8	white
Scott 415(#5)	58.0 ± 1.0	8.5 ± 0.5	white
Scott 421(#6)	47.7 ± 0.6	9.5 ± 0.5	white
Early Sumac(#7)	61.7 ± 1.2	6.2 ± 0.3	white
Hegari(#8)	66.7 ± 0.6	5.2 ± 0.3	white
SS Silage(#9)	102.5 ± 0.5	8.5 ± 0.5	white
Grain Sorghum Milo-broomcorn(#10)	57.5 ± 1.8	4.2 ± 0.3	white
WGF Grain Sorghum(#11)	76.0 ± 1.0	7.2 ± 0.3	white

<sup>†</sup>Values are expressed as mean ± S.D. of data obtained from three independent experiments.

Table 4. Ear type, ear length and ear width of *Sorghum bicolor* germplasms introduced from USA

Cultivars accession	Ear-type <sup>1)</sup>	Ear-length(cm) <sup>†</sup>	Ear-width <sup>†</sup>
Premium stock(#1)	1	32.8 ± 0.8	21.2 ± 0.8
BMR Gold II(#2)	9	24.3 ± 3.1	11.7 ± 1.5
BMR Gold I(#3)	8	19.2 ± 1.9	8.8 ± 0.8
Sweet-N-Sterile(#4)	4	41.2 ± 1.1	10.8 ± 1.0
Scott 415(#5)	4	35.7 ± 0.6	5.8 ± 0.8
Scott 421(#6)	9	15.7 ± 1.2	5.2 ± 1.3
Early Sumac(#7)	6	15.5 ± 0.5	8.7 ± 1.5
Hegari(#8)	9	23.5 ± 0.5	3.2 ± 0.3
SS Silage(#9)	8	17.0 ± 2.0	5.2 ± 0.3
Grain Sorghum Milo-broomcorn(#10)	6	21.7 ± 1.5	3.8 ± 0.8
WGF Grain Sorghum(#11)	6	26.5 ± 1.3	6.2 ± 0.3

<sup>†</sup>Values are expressed as mean ± S.D. of data obtained from three independent experiments.

<sup>1)</sup>Ear-type: 1, Very lax panicle; 2, Very loose erect primary branches; 3, Very loose erect primary branches; 4, Loose erect primary branches; 5, Loose drooping primary branches; 6, Semi-loose erect primary branches; 7, Semi-loose drooping primary branches; 8, Semi-compact elliptic; 9, Compact elliptic; 10, Compact oval; 11, Half broom; 12, Broom

### 수수의 DPPH radical 소거능

수수의 DPPH를 이용한 활성 검정 결과, Premium stock (#1), Early Sumac(#7), SS Silage(#9), WGF Grain Sorghum (#11) 4개의 수집종에서 기존의 항산화제인-tocopherol과 BHA보다 낮은 활성을 보였고 BHT보다는 높은 활성을 보였다(Table 5). 이는 Kil *et al.*(2009)가 국내 수집종으로 연구하여 선발하였던 늘수수, 검은찰수수, 붉은찰수수, 장수수수보다는 활성이 낮았다. 한국산 메밀, 수수, 기장, 울

무로부터 얻은 에탄올 추출물에 의한 DPPH 라디칼 제거효과를 비교하면, 메밀, 수수, 울무, 기장 순으로 활성이 높게 나타내는 것으로 보아 수수의 소거능이 우수한 것을 알 수 있었다(Kwak *et al.*, 2004).

### Reducing power

환원력은 ferric chloride(Fe<sup>3+</sup>)가 ferrous chloride(Fe<sup>2+</sup>)로 환원되는 활성을 이용해 이를 흡광도 값으로 평가하는

Table 5. DPPH<sup>1)</sup> free radical scavenging activity in *Sorghum bicolor*

Cultivars accession	RC <sub>50</sub> <sup>2)†</sup> ( $\mu\text{g/ml}$ )
Premium stock(#1)	15.3 $\pm$ 0.1
BMR Gold II(#2)	167.9 $\pm$ 1.7
BMR Gold I(#3)	176.6 $\pm$ 3.6
Sweet-N-Sterile(#4)	23.9 $\pm$ 0.5
Scott 415(#5)	122.8 $\pm$ 1.4
Scott 421(#6)	163.9 $\pm$ 0.4
Early Sumac(#7)	14.1 $\pm$ 0.2
Hegari(#8)	124.8 $\pm$ 1.7
SS Silage(#9)	14.7 $\pm$ 0.6
Grain Sorghum Milo-broomcorn(#10)	161.5 $\pm$ 2.7
WGF Grain Sorghum(#11)	16.0 $\pm$ 0.8
$\alpha$ -tocopherol	12.0
BHA <sup>3)</sup>	14.0
BHT <sup>4)</sup>	34.0

<sup>1)</sup>DPPH : 2,2-diphenyl-2-picryl-hydrazyl,

<sup>2)</sup>RC<sub>50</sub>( $\mu\text{g/ml}$ ) : Amount required for 50% reduction of DPPH after 30min. Each value is mean standard deviation of three replicate tests,

<sup>3)</sup>BHA : Butylated Hydroxyanisole,

<sup>4)</sup>BHT : Butylated Hydroxytoluene.

<sup>†</sup>Values are expressed as mean  $\pm$  S.D of data obtained from three independent experiments.

방법이다. 반응액은 Fe<sup>3+</sup>와 Fe<sup>2+</sup> 간의 transformation에 의하여 노란색에서 청록색을 나타내며, 흡광도 값이 클수록 높은 환원력을 나타낸다(Prasad *et al.*, 2010). 환원력 측정 결과 Early Sumac(#7)과 SS silage(#9)에서 각각 abs 값이 0.82  $\pm$  1.5와 0.74  $\pm$  1.0로 항산화제인  $\alpha$ -tocopherol와 BHA보다 높은 환원력을 나타내었고 Hegari(#8)에서 0.20  $\pm$  0.2로 가장 낮은 환원력을 보였다(Fig. 2). 이와 비슷하게 국내 수수 수집종의 BuOH fraction에서의 환원력을 측정한 결과, 장수수, 붉은찰수수, 검은찰수소에서 항산화제인 BHA보다 높았으며 붉은찰수수는 MeOH fraction에서도 높은 환원력을 나타내었다(Kil *et al.*, 2009).

### Serial 2-fold dilution법에 의한 항미생물 활성 검정

2-fold dilution assay를 이용하여 항미생물의 생육을 억제하는 최저 억제농도(MIC)를 측정한 결과, 수수의 그람 양성세균과 음성세균간의 항균활성의 차이를 거의 보이지 않았다. 외국 수집종 중 BMR Gold I(#3)이 가장 높은 활성을 나타냈으며, 특히 *Escherichia coli*에서 125  $\mu\text{g/ml}$ 으로 높은 활성수치를 나타냈다. 또한 BMR Gold II(#2)에서는 모든 세균에 대하여 1000  $\mu\text{g/ml}$ 이나 그 이상의 농도를 필요로 하며 낮은 활성 수치를 나타냈다(Table 6). 식물 폐놀 물질과 항균작용에 관한 보고를 보면, 수수에 많이 함유되어 있는 폐놀물질인 tannic acid는 *Escherichia coli*, *Salmonella enteritidis*와 *Streptococcus faecalis*에 대해 높은 항균력을 보였다는 보고가 있다(Lee and Lee, 1994).

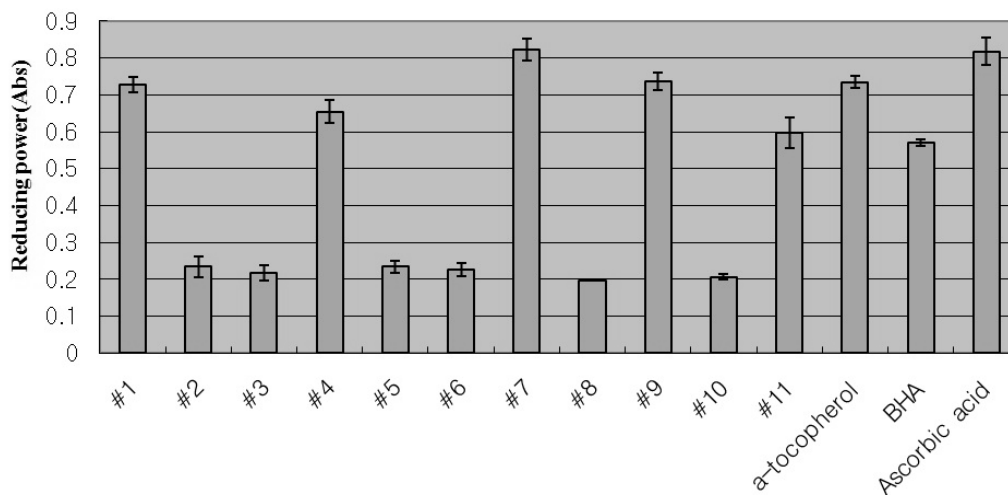


Fig. 2. Reducing power of extractant from *Sorghum bicolor* seeds. Values are expressed as mean S.D. of data obtained from three independent experiments.

Table 6. Antimicrobial activities in *Sorghum bicolor* using 2-fold dilution assay

Cultivars accession	MIC <sup>1)</sup> (µg/ml)				
	Bacteria strain (+)		Bacteria strain (-)		
	S.a <sup>2)</sup>	B.s <sup>2)</sup>	S.t <sup>2)</sup>	K.p <sup>2)</sup>	E.c <sup>2)</sup>
Premium stock(#1)	1000	250	500	250	1000
BMR Gold II(#2)	1000	1000	>1000	>1000	1000
BMR Gold I(#3)	500	250	500	250	125
Sweet-N-Sterile(#4)	1000	250	500	250	1000
Scott 415(#5)	1000	1000	1000	1000	1000
Scott 421(#6)	>1000	1000	>1000	1000	500
Early Sumac(#7)	500	500	500	250	500
Hegari(#8)	500	1000	1000	>1000	1000
SS Silage(#9)	500	1000	>1000	>1000	1000
Grain Sorghum Milo-broomcorn(#10)	>1000	1000	>1000	>1000	500
WGF Grain Sorghum(#11)	>1000	500	500	500	1000
Tetracyclin	8	8	8	8	8

<sup>1)</sup>The MIC value against bacteria were determined by the serial 2-fold dilution method.

<sup>2)</sup>S.a : *Staphylococcus aureus*, B.s : *Bacillus subtilis*, S.t : *Salmonella typhimurium*, K.p : *Klebsiella pneumonia*, E.c : *Escherichia coli*

## 적 요

본 연구는 미국 수수 수집종의 작물학적 특성 및 생리활성을 검정하기 위하여 수행되었다. 대부분의 미국 수수 수집종은 200 cm 이상의 큰 초장을 보였으며, 간경 또한 2 cm 이상의 값을 나타냈다. 수수 수집종 중에서는 Sweet-N-Sterile(#4)이 가장 우량한 수수의 생장 특성을 보였다. 수수의 DPPH를 이용한 활성 검정 결과, Premium stock (#1), Early Sumac(#7), SS Silage(#9), WGF Grain Sorghum(#11) 4개의 수집종에서 기존의 항산화제인  $\alpha$ -tocopherol과 BHA와 비슷한 활성을 보였고 BHT보다는 높은 활성을 보였다. 항미생물 실험결과 BMR Gold I(#3)이 가장 높은 활성을 나타냈으며, 특히 *Escherichia coli*에서 125 µg/ml으로 높은 활성수치를 나타냈다.

## 사 사

본 연구는 농촌진흥청 농림과학기술개발 공동연구사업(사업번호: PJ007199)의 연구비 지원에 의해 수행되었고, 부분적으로 강원대학교 한방바이오연구소의 지원을 받아 연구하였다.

## 인용문헌

- Awika, J.M., L.W. Rooney, X. Wu, R.L. Prior and L. Cisneros-Zevallos. 2004. Screening methods to measure antioxidant activity of sorghum (*Sorghum bicolor*) and sorghum products. *J. Agr. Food Chem.* 51:6657-6662.
- Cho, N.K., Y.K. Kang, C.K. Song, Y.C. Jeun, J.S. Oh, Y.I. Cho and S.J. Park. 2004. Effects of planting density on growth, forage yield and chemical composition of Jeju native *Sorghum* (*Sorghum bicolor* L.). *J. Korean Grassl. Sci.* 24:225-230 (in Korean).
- Goh, E.J., E.S. Seong, J.H. Yoo, H.Y. Kil, J.G. Lee, I.S. Hwang, N.J. Kim, B.K. Ghimire, M.J. Kim, J.K. Lee, J.D. Lim, N.Y. Kim and C.Y. Yu. 2011. Effect of plant growth regulators and media on regeneration of *sorghum bicolor* (L.) Moench. *J. Korean Plant Res.* 24(2):168-173 (in Korean).
- Hilal, M., M.F. Parrado, M. Rosa, M. Gallardo, L. Orce, E.M. Massa, J.A. Gonzalez and F.E. Prado. 2004. Epidermal lignin deposition in quinoa cotyledons in response to UV-B radiations. *Photochem. Photobiol.* 79(2):205-210.
- Kil, H.Y., E.S. Seong, B.K. Ghimire, I.M. Chung, S.S. Kwon, E.J. Goh, K. Heo, M.J. Kim, J.D. Lim, D. Lee and

- C.Y. Yu. 2009. Antioxidant and antimicrobial activities of crude sorghum extract. *Food Chem.* 115:1234-1239.
- Kwak, C.S., S.J. Lim, S.A. Kim, S.C. Park and M.S. Lee. 2004. Antioxidative and antimutagenic effects of Korean Buckwheat, Sorghum, Millet and Job's Tears. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 33(6):921-929.
- Lee, J.H. and S.R. Lee. 1994. Some physiological activity of phenolic substances in plant foods. *Korean J. Food Sci. Technol.* 26(3):317-323.
- Lee, K.E., J.Y. Lee and K. Kim. 2008. Effect of content of crop component on the bioethanol production. *Korean J. Crop Sci.* 53(3):339-346 (in Korean).
- Ma, Q.H. and Y. Xu. 2008. Characterization of a caffeic acid 3-O-methyltransferase from wheat and its function in lignin biosynthesis. *Biochimie* 90:515-524.
- Oyaizu M. 1986. Studies on products of browning reactions: antioxidant activities of products of browning reaction prepared from glucosamine. *Japanese J. Nutr.* 44:307-315.
- Prasad, K.N., H. Xie, J. Hao, B. Yang, S. Qiu, X. Wei, F. Chen and Y. Jiang. 2010. Antioxidant and anticancer activities of 8-hydroxyorsolene isolated from wampee [*Clausena lansium* (Lour.) Skeels] peel. *Food Chem.* 118: 62-66.
- Ryu, H.S., J. Kim and H.S. Kim. 2006. 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.
- Seong, E.S., J.H. Yoo, J.G. Lee, I.S. Hwang, N.J. Kim, M.J. Kim, J.K. Lee, B.K. Ghimire, J.D. Lim and C.Y. Yu. 2011. Agronomic characterization of *Sorghum bicolor* (L) Moench germplasm collected in Gangwon-do for bio-energy crop. *Korean J. Crop Sci.* 56(2):151-158 (in Korean).
- Xiong, Q., S. Kadota, T. Tani and T. Namba. 1996. Antioxidative effect of phenylethanoids from *Cistanche deserticola*. *Biol. Pharm. Bull.* 19(12):1580-1585.
- Zhao, Z., C. Tishu, T. Laura, M. Mike, W. Ning, P. Hong, R. Marjorie, S. Sheryl, H. Dave, S. Jon and P. Dortie. 2000. *Agrobacterium*-mediated sorghum transformation. *Plant Mol. Biol.* 44:789-798.

(접수일 2011.9.22; 수정일 2011.12.16; 채택일 2012.3.21)