



수수 수집종의 농업적 형질 및 생리활성 분석을 통한 우수계통 선발

전미란* · 유지혜** · 김창흠* · 최재후* · 강병주* · 성은수*** · 유창연*†

*강원대학교 생물자원과학과, **강원대학교 한방바이오 연구소, ***수원여자대학교 약용식물과

Selection of Superior Sorghum Accession by Assessing Agronomic Characters and Biological Activity

Mi Ran Jeon*, Ji Hye Yoo**, Chang Heum Kim*, Jae Hoo Choi*, Byeong Ju Kang*, Eun Soo Seong*** and Chang Yeon Yu*†

*Department of Bio-Resource Sciences, Kangwon National University, Chuncheon 24341, Korea.

**Bioherb Research Institute, Kangwon National University, Chuncheon 24341, Korea.

***Department of Medicinal Plant, Suwon Women's University, Suwon 16632, Korea.

ABSTRACT

Background: Sorghum is a major cereal food crop used in many parts of the world. It has been grown on a subsistence level by farmers, under various conditions of environmental stresses in the semi-arid tropics of Africa and Asia. This plant has received significant attention because of its ability to reduce cholesterol in the blood, and its anti-dementia, antioxidant, and antimicrobial properties. It is possible to develop a functional and commercially viable sorghum variety by using superior cultivars of sorghum. The objective of this study was to build a database of superior sorghum accession.

Methods and Results: We used 250 sorghum accessions collected from different geographical bioregions in Korea. We determined various agronomic characters including germination rate and ear length of these accessions. To determine the antioxidant capacity, we measured the 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl radical scavenging activity, 2,2'-azino-bis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid)-diammonium salt radical scavenging activity, total phenolic contents, and total flavonoid contents. Accession 189 showed higher germination (> 80%) than the other accessions. Higher 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl radical scavenging activity was observed in 11-SB-078 (RC₅₀; 1.89 ± 2.88 μg/ml), and higher 2,2'-azino-bis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid)-diammonium salt radical scavenging activity was recorded in 11-SB-116 (RC₅₀; 35.48 ± 2.42 μg/ml) than in the other accessions. The ear length ranged from 15 cm to 48 cm, the total phenolic contents ranged from 3 mg · GAE/g to 77 mg · GAE/g, and total flavonoid contents ranged from 0.09 mg · QE/g to 1.07 mg · QE/g.

Conclusions: Among 250 sorghum accessions, we selected 10 with both superior agronomic characters and highly functional food quality.

Key Words: *Sorghum bicolor* M., Agronomic Character, Antioxidant, Crop, Flavonoid, Phenol

서 언

잡곡에는 콩, 조, 기장, 보리, 수수 등이 있으며 콩에는 콜레스테롤 저하 효과가 있고 (Kim *et al.*, 2012), 조에는 유용지방산이 풍부하다는 연구결과가 있다 (Kim *et al.*, 2010). 이처럼 최근 건강에 많은 관심을 보이면서 잡곡의 기능성 평가에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 수수 (*Sorghum bicolor*

(L.) Moench)는 화본과의 한해살이풀로 강한 내건성이기 때문에 척박한 땅에서도 생육할 수 있어 아프리카, 인디아, 중앙아메리카, 남아메리카, 중국 및 한국 등 여러 지역에서 재배되고 있다.

수수는 벼, 밀, 옥수수, 보리에 이어 세계 주요 작물로서 대한민국에서는 예로부터 구황작물로 수수밥, 떡 및 수수 부꾸미 등으로 이용해 왔다 (Yoon *et al.*, 2015). 수수는 생약으로

†Corresponding author: (Phone) +82-33-250-6411 (E-mail) cyyu@kangwon.ac.kr

Received 2016 september 21 / 1st Revised 2016 October 10 / 2nd Revised 2016 October 17 / 3rd Revised 2016 October 20 / Accepted 2016 October 20
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

사용할 때 고량, 축서, 축맥이라고 불리고 수수의 종자는 고량미 (高粱米)라고 하여 십장위에 효능이 있고 급성위장염에 효과가 있으며, 뿌리는 고량근 (高粱根)이라 하여 이뇨, 지혈의 효능이 있고 자궁출혈, 산후출혈에 효과가 있어 약용식물로 이용하였다. 현재에 와서는 tannins, phenolic acids, antocyanins, phytosterols, policosanols 등 많은 약리성분이 함유되어 있다는 연구결과가 보고되고 있다 (Awika and Rooney, 2004; Dykes and Rooney, 2006).

수수는 다른 곡류와 비교했을 때 기억력 증진과 관련 있는 것으로 알려진 tyrosine의 함량이 높고 (Ha and Lee, 2001) 다른 곡류의 용매추출물에 비해 수수추출물의 acetylcholinesterase 저해활성이 높다는 연구 결과 (Song *et al.*, 2010)가 있다. 또한 수수종자 추출물은 LDL 콜레스테롤 저해효과 (Kim, 2014), 항산화 및 항균 효과 (Goh *et al.*, 2012), α -glucosidase 저해활성 (Sa *et al.*, 2010) 등 여러 약리작용이 있는 것으로 밝혀졌고 지상부는 피, 바랭이, 어저귀, 털비름에 대한 제초활성을 지니고 있는 것으로 확인되었다 (Park *et al.*, 2015; Won *et al.*, 2011).

국립종자원에 따르면, 수수는 농촌진흥청 국립식량과학원에서 육종한 항혈전 활성이 높고 다수성인 중모 4002, 도복에 강한 소담찰수수, 항산화활성이 높은 동안메수수, 다수성 품종인 남풍찰수수와 강원도농업기술원에서 육종한 알찬수수 등 5종이 품종으로 등록되어 있으며, 이는 다른 잡곡작물인 옥수수 (100종), 콩 (163종), 보리 (116종) 등 보다 현저히 낮은 수치이다.

비록 수수가 많은 약리작용을 지니고 있는 작물로 알려져 있지만, 수수 품종의 육성에 대한 연구가 다른 작물에 비하여 현저히 미비한 실정이다. 그러므로 기능성 식품 및 화장품 등으로 이용할 수 있는 안정적이고 생리활성이 뛰어난 수수 우수품종의 육성이 필요하다.

따라서 본 연구는 전국에서 수집한 수수 수집종의 생육특성과 생리활성 검정을 통하여 생육특성이 뛰어나고 항산화 활성 및 항산화 물질이 풍부한 수수 수집종을 선발했으며, 본 연구의 결과는 추후 품종 육종에 기초 자료로 사용할 수 있을 것으로 사료된다.

재료 및 방법

1. 공시재료

본 연구의 공시재료인 수수 (*Sorghum bicolor* M.)는 경상도 (안동, 구미, 영주, 봉화), 강원도 (인제, 속초, 춘천, 원주, 횡성, 평창), 충청도 (제천, 단양, 충주, 당산), 경기도 (연천, 포천, 남양주) 및 전라도 (익산, 완주, 군산, 진안, 무주)에서 2011년, 2012년, 2013년에 수집한 수수 250점을 강원대학교 부속농장에서 증식하여 이용하였다 (Table 1). 또한 Kil 등

Table 1. The number of sorghum accessions by region in Korea.

| Accession region | The number of accessions |
|------------------|--------------------------|
| Chungcheong-do | 27 |
| Gangwon-do | 124 |
| Gyeonggi-do | 14 |
| Gyeongsang-do | 48 |
| Jeolla-do | 37 |
| Total | 250 |

(2009)의 연구에서 수행한 수수품종의 생리활성 분석에서 높은 생리활성을 보여 우수품종으로 선발된 검은찰수수, 붉은찰수수, 늘수수, 장수수를 대조구로 설정하여 증식하고 분석하여 비교하였다.

2. 농업적 형질 조사

수량성이 높고 생육상태가 양호한 수수를 선발하기 위해 다양한 농업적 형질 중 발아율과 수장을 조사하여 각 수수 수집종을 비교하여 우수 수집종을 확인하였다. 발아율은 petri-dish에 filter paper (90 mm, Advantec Co., Ltd., Saijo, Japan) 2장씩 깔고 종자를 100립씩 치상 후 5일에 발아한 종자를 조사하여 발아율을 계산하였고 수장은 이삭 목부터 이삭의 끝부분까지의 길이를 측정하였다.

3. 생리활성 분석

1) 추출물의 제조

수수 종자 20 g을 100% methanol 200 mL에 72시간 동안 침지시켜 추출한 추출물을 filter paper (No. 20, HYUDAI Micro Co., Seoul, Korea)을 이용하여 여과하였다. 여과된 추출물은 감압농축기 (SB-1200, N-1110, EYELA, Tokyo, Japan)를 이용해 농축하였고 농축액을 농도별로 희석하여 실험에 이용하였다.

2) DPPH radical 소거능 측정

DPPH radical 소거능은 Xiong 등 (1996)의 방법을 변형하여 측정하였다. 0.15 mM DPPH (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl, Sigma-Aldrich Co., St. Louis, MO, USA) 용액과 여러 농도로 희석한 시료를 1:1로 혼합하여 암조건 실온에서 30분 동안 반응시킨 후 microplate reader (Multiskan FC Microplate Photometer, Waltham, Thermo Fisher Scientific Inc., MA, USA)를 이용하여 519 nm에서 측정하였다. DPPH radical 소거능은 DPPH radical 활성을 50% 감소시키는 농도 값인 RC_{50} ($\mu\text{g/mL}$)값으로 나타냈다.

3) ABTS radical 소거능 측정

ABTS radical 소거능은 Re 등 (1999)의 방법을 변형하여 측

정하였다. 7.4 mM ABTS {2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) diammonium salt, Sigma-Aldrich Co., St. Louis, MO, USA} 용액과 2.6 mM potassium persulfate (Daejung Chemicals and Metals Co., Ltd., Siheung, Korea) 용액을 1:1로 혼합해 12-24 h 암반응한 것을 radical stock solution으로 사용하였다. Radical stock solution은 1×PBS (phosphate buffered saline, Tech and Innovation, Chuncheon, Korea)으로 740 nm에서 absorbance값이 0.70 ± 0.03 (means \pm SE) 이 되도록 희석하여 여러 농도로 희석한 시료와 9:1로 혼합해 암조건 실온에서 10분 동안 반응시킨 후, microplate reader를 이용하여 740 nm에서 측정하였다. ABTS radical 소거능은 ABTS radical의 활성을 50% 감소시키는 농도 값인 RC_{50} ($\mu\text{g/ml}$)값으로 나타났다.

4) 총 페놀 및 총 플라보노이드 함량 측정

총 페놀 함량은 Taga 등 (1984)에서 보고된 Folin-Ciocalteu assay로 측정하였다. 시료 100 μl 에 Folin-Ciocalteu reagent (Sigma-Aldrich Co., St. Louis, MO, USA) 50 μl 을 넣어 5분간 안정화시킨 후 20% Na_2CO_3 (Junsei Chemical Co., Ltd., Tokyo, Japan)을 넣고 15분 반응시킨다. 이 시료액에 증류수 1 ml을 넣고 상온에서 13,000 rpm으로 원심분리하여 침전물을 제거한 후 microplate reader를 이용하여 725 nm에서 측정하였다. 총 페놀 함량은 gallic acid를 표준물질로 사용하여 검량선을 작성한 후 gallic acid equivalents (GAE)로 나타났다.

총 플라보노이드 함량은 Moreno 등 (2000)의 방법을 변형하여 측정하였다. 시료 500 μl 에 10% aluminum nitrate (Yakuri Pure Chemicals Co., Tokyo, Japan)와 1 M potassium acetate (Mallinckrodt Baker, Phillipsburg, NJ, USA)를 1:1로 혼합한 용액 200 μl 를 넣어 40분간 암조건 상온에서 반응시킨다. 그 후 microplate reader를 이용하여 415 nm에서 측정하고 quercetin을 표준물질로 사용하여 검량선을 작성한 후 quercetin equivalents (QE)로 나타났다.

4. 통계처리

모든 실험은 3반복하여 means \pm standard error로 나타냈으며 the statistical trending and reporting system (STARS, Integrative Solutions LLC., Towaco, NJ, USA)을 이용해 Duncan's Multiple Range Test (DMRT)로 통계처리 하였다.

결과 및 고찰

1. 농업적 형질 검정

1) 발아율 검정

발아율은 종자의 활력을 검정하기 위해 측정하였고 발아율은 petri dish에 100립씩 치상한 후 유근과 유초가 생긴 수수

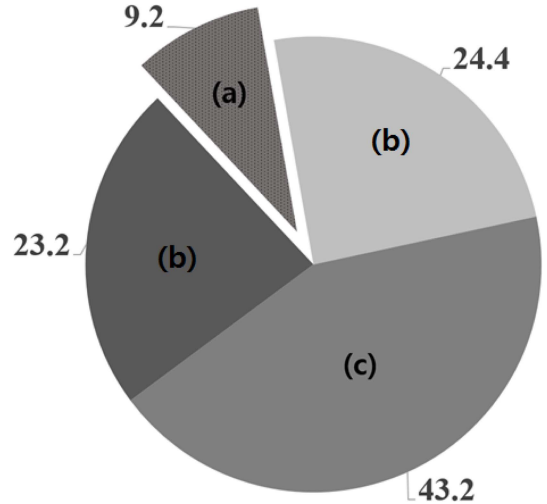


Fig. 1. Frequency of germination rate in sorghum accession. Germination rate range is (a); 100%, (b); from 90% to 100%, (c); from 80% to 90%, (d); below 80%.

개수를 센 후 백분율로 나타났다. 발아율은 23 - 100% 범위를 보였고 평균 84.1%로 나타났다. 수수 수집종에서 발아율이 80% 미만인 것은 24.4% (61점), 80% 이상 90% 미만인 것은 43.2% (108점)이며 90% 이상인 것은 32.4% (81점)으로 나타났으며, 그 중에서 발아율이 100%인 것은 9.2% (23점)으로 나타났다 (Fig. 1).

2) 수장 측정

수장은 이삭의 길이로 수장의 길이가 길수록 달릴 수 있는 이삭이 많기 때문에 수량에 관련이 있을 것으로 사료되어 측정하였다. 수수 수집종의 수장은 15 - 48 cm의 범위로 평균 24.9 cm으로 나타났다. 전체 평균보다 긴 수집종은 111점으로 12-SB-073이 47.83 cm로 가장 길었으며 40 cm 이상인 수집종은 총 7점, 30 cm 이상 40 cm 미만인 수집종은 49점이고 11-SB-099, 13-SB-077, 13-SB-114가 15 cm로 가장 짧았다 (Table 2). Yoon 등 (2015)이 시험한 수수 품종의 수장은 21.3 - 28.1 cm의 범위로 평균 23.3 cm으로 나타났고 Choi 등 (1996)의 연구에서는 수수 유전자원 35점의 수장은 20 - 38 cm의 범위로 평균 25 cm으로 나타난 것과 비교했을 때 본 시험의 수수 수집종의 수장이 더 큰 것을 알 수 있다.

2. 생리활성 분석

1) DPPH radical 소거능

DPPH radical 소거능은 항산화활성 검정을 위해 실시하였고 대조구인 검은찰수수, 붉은찰수수, 늘수수, 장수수와 비교했을 때 가장 높은 활성을 보인 검은찰수수보다 활성이 높은 수수 수집종은 79종이었으며 전체 수집종의 97.2%가 대조구보다

Table 2. Ear length of sorghum accession of top 10 percent among the whole accession used for this study.

| Accession No. | Earlength (cm) | Accession No. | Ear length (cm) |
|---------------|--------------------------|---------------|-------------------------|
| 11-SB-026 | 41.0 ± 4.3 ^{a*} | 13-SB-027 | 37.0 ± 1.0 |
| 11-SB-085 | 42.0 ± 2.6 ^a | 13-SB-029 | 38.4 ± 1.5 |
| 12-SB-001 | 36.7 ± 1.5 | 13-SB-034 | 41.2 ± 0.7 ^a |
| 12-SB-026 | 35.7 ± 1.5 | 13-SB-036 | 40.7 ± 0.4 ^a |
| 12-SB-038 | 36.4 ± 1.5 | 13-SB-039 | 36.0 ± 1.0 |
| 12-SB-067 | 36.3 ± 0.2 | 13-SB-041 | 38.0 ± 1.0 |
| 12-SB-068 | 37.6 ± 0.5 | 13-SB-043 | 36.0 ± 1.0 |
| 12-SB-070 | 42.4 ± 1.5 ^a | 13-SB-046 | 36.0 ± 1.0 |
| 12-SB-071 | 39.0 ± 2.6 | 13-SB-047 | 39.0 ± 4.3 |
| 12-SB-072 | 42.0 ± 1.0 ^a | 13-SB-111 | 35.7 ± 1.5 |
| 12-SB-073 | 47.9 ± 0.7 ^a | 13-SB-126 | 34.9 ± 0.7 |
| 12-SB-074 | 38.5 ± 0.5 | 13-SB-146 | 37.7 ± 2.5 |
| 13-SB-021 | 37.0 ± 2.0 | | |
| Means ± SE | | 24.9 ± 0.4 | |

Mean values ± standard error from triplicate separated experiments are shown. *Means within a column followed by the same letter are not significantly different based on the DMRT ($p < 0.05$).

Table 3. DPPH free radical scavenging activity of sorghum extraction of top 10 percent.

| Accession No. | DPPH RC ₅₀ (μg/ml) | Accession No. | DPPH RC ₅₀ (μg/ml) |
|---------------|-------------------------------|-----------------|-------------------------------|
| 11-SB-029 | 4.59 ± 1.12 ^{a*} | 12-SB-032 | 14.37 ± 9.43 |
| 11-SB-048 | 16.97 ± 0.76 | 12-SB-033 | 15.01 ± 8.80 |
| 11-SB-052 | 14.34 ± 2.45 | 12-SB-046 | 4.07 ± 2.77 ^a |
| 11-SB-054 | 17.07 ± 20.43 | 12-SB-048 | 12.53 ± 1.26 |
| 11-SB-065 | 13.73 ± 6.02 | 13-SB-039 | 12.09 ± 3.47 |
| 11-SB-071 | 11.41 ± 2.12 | 13-SB-095 | 7.72 ± 3.83 |
| 11-SB-072 | 15.32 ± 3.37 | 13-SB-123 | 12.92 ± 3.95 |
| 11-SB-078 | 1.89 ± 2.88 ^a | 13-SB-125 | 17.02 ± 1.23 |
| 11-SB-098 | 16.78 ± 3.52 | 13-SB-126 | 16.80 ± 5.28 |
| 11-SB-100 | 8.07 ± 1.52 ^a | Gumeunchalsusu | 51.25 ± 4.12 |
| 11-SB-101 | 14.80 ± 0.50 | Bulkeunchalsusu | 54.51 ± 7.49 |
| 11-SB-123 | 7.97 ± 2.30 ^a | Neulsusu | 169.92 ± 4.96 |
| 12-SB-006 | 15.85 ± 1.94 | Jangsusu | 36.28 ± 6.32 |
| 12-SB-019 | 15.81 ± 2.21 | Ascorbic acid | 6.40 ± 4.10 ^a |
| 12-SB-027 | 3.85 ± 4.22 ^a | BHT | 225.60 ± 3.50 |
| 12-SB-031 | 14.91 ± 3.06 | | |
| Means ± SE | | 61.4 ± 4.7 | |

DPPH; 1,1-Diphenyl-2-picryl-hydrazyl. RC₅₀; amount required for 50%. Mean values ± standard error from triplicate separated experiments are shown. *Means within a column followed by the same letter are not significantly different based on the DMRT ($p < 0.05$).

활성이 높았다. 가장 높은 활성을 나타낸 수집종은 11-SB-078로 RC₅₀값이 1.88 ± 2.88 μg/ml로 나타났고 이는 ascorbic acid의 RC₅₀값 (6.40 ± 4.10 μg/ml) 보다도 높은 활성을 보였다

Table 4. ABTS free radical scavenging activity of sorghum extraction of top 10 percent among the whole accession used for this study.

| Accession No. | ABTS RC ₅₀ (μg/ml) | Accession No. | ABTS RC ₅₀ (μg/ml) |
|---------------|-------------------------------|-----------------|-------------------------------|
| 11-SB-016 | 66.68 ± 7.16 | 11-SB-123 | 68.57 ± 9.27 |
| 11-SB-029 | 44.43 ± 3.08 ^{a*} | 13-SB-018 | 40.72 ± 6.08 ^a |
| 11-SB-048 | 63.92 ± 7.48 | 13-SB-039 | 53.13 ± 0.69 |
| 11-SB-057 | 58.19 ± 2.56 | 13-SB-041 | 51.85 ± 25.39 |
| 11-SB-065 | 64.05 ± 5.05 | 13-SB-050 | 56.40 ± 7.04 |
| 11-SB-067 | 51.87 ± 4.97 | 13-SB-096 | 60.87 ± 7.83 |
| 11-SB-072 | 66.27 ± 2.24 | 13-SB-123 | 52.38 ± 3.21 |
| 11-SB-091 | 65.32 ± 3.19 | 13-SB-126 | 58.94 ± 2.34 |
| 11-SB-098 | 49.43 ± 2.36 | 13-SB-128 | 56.67 ± 4.51 |
| 11-SB-100 | 65.65 ± 1.73 | Gumeunchalsusu | 178.54 ± 4.37 |
| 11-SB-109 | 59.23 ± 5.95 | Bulkeunchalsusu | 158.00 ± 6.72 |
| 11-SB-110 | 46.78 ± 5.70 | Neulsusu | 320.70 ± 22.81 |
| 11-SB-116 | 35.48 ± 2.42 ^a | Jangsusu | 87.91 ± 4.36 |
| 12-SB-031 | 68.55 ± 4.77 | Ascorbic acid | 32.40 ± 3.30 ^a |
| 12-SB-045 | 46.87 ± 5.51 | BHT | 51.60 ± 8.50 |
| 12-SB-046 | 56.50 ± 8.09 | | |
| Means ± SE | | 140.4 ± 7.6 | |

ABTS; 2,2'-Azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) diammonium salt. RC₅₀; amount required for 50%. Mean values ± standard error from triplicate separated experiments are shown. *Means within a column followed by the same letter are not significantly different based on the DMRT ($p < 0.05$).

(Table 3). 미국에서 도입한 수수 유전자원의 DPPH radical 소거능의 RC₅₀값은 14 - 177 μg/ml로 (Goh *et al.*, 2012) 본 시험에서 사용한 수수 수집종이 더 높은 DPPH radical 소거능을 보였다.

2) ABTS radical 소거능

ABTS radical 소거능 검정은 항산화 활성 검정법으로 극성과 비극성 시료의 소거활성을 모두 측정할 수 있어 적용범위가 넓다 (Re *et al.*, 1999). ABTS radical 소거능은 RC₅₀이 35.48 μg/ml에서 1,094.97 μg/ml의 범위로 나타났다. 11-SB-116이 35.48 ± 2.42 μg/ml로 가장 높은 활성을 보였고 대조구 중 가장 높은 활성을 보인 장수수 (87.91 ± 4.36 μg/ml) 보다 높은 활성을 보인 수집종은 54종으로 나타났다 (Table 4).

본 연구결과에서는 ABTS radical 소거능은 DPPH radical 소거능과 비슷한 양상을 보였으나 ABTS radical 소거능보다 DPPH radical 소거능이 더 우수하였으며, DPPH radical 소거능이 높았던 12-SB-032의 ABTS radical 소거능은 비교적 낮은 수준이었다. Kim 등 (2016a)과 Kim 등 (2016b)의 연구결과에서도 DPPH radical 소거능과 ABTS radical 소거능은 비슷한 양상을 보였으나 두 방법간의 결과에 차이를 보였으며, 이는 각 실험방법이 반응하는 radical의 종류가 다르기 때문에

Table 5. Total phenolic contents of sorghum extraction of top 10 percent among the whole accession used for this study.

| Accession No. | Total phenolic content (mg · GAE ¹⁾ /g) | Accession No. | Total phenolic content (mg · GAE/g) |
|---------------|--|-----------------|-------------------------------------|
| 11-SB-016 | 64.95 ± 0.77 | 11-SB-122 | 63.52 ± 0.72 |
| 11-SB-029 | 60.16 ± 1.11 | 11-SB-123 | 63.26 ± 0.62 |
| 11-SB-048 | 72.57 ± 1.60 ^{a*} | 12-SB-006 | 67.90 ± 0.47 |
| 11-SB-052 | 69.18 ± 0.58 ^a | 13-SB-095 | 61.77 ± 0.19 |
| 11-SB-054 | 58.84 ± 0.74 | 13-SB-096 | 61.83 ± 0.13 |
| 11-SB-071 | 63.60 ± 0.75 | 13-SB-123 | 68.06 ± 0.16 ^a |
| 11-SB-078 | 64.90 ± 0.32 | 13-SB-125 | 57.66 ± 0.20 |
| 11-SB-083 | 70.94 ± 0.37 ^a | 13-SB-126 | 69.01 ± 0.16 |
| 11-SB-089 | 55.78 ± 0.47 | 13-SB-128 | 64.27 ± 0.19 |
| 11-SB-098 | 74.31 ± 0.73 ^a | 13-SB-158 | 57.26 ± 0.05 |
| 11-SB-099 | 64.90 ± 0.07 | Gumeunchalsusu | 58.50 ± 0.96 |
| 11-SB-100 | 59.60 ± 0.85 | Bulkeunchalsusu | 71.24 ± 1.04 ^a |
| 11-SB-102 | 59.35 ± 0.54 | Neulsusu | 18.85 ± 0.04 |
| 11-SB-110 | 71.78 ± 1.09 ^a | Jangsusu | 68.61 ± 0.75 ^a |
| 11-SB-116 | 77.11 ± 0.73 ^a | | |
| Means ± SE | | 29.9 ± 0.3 | |

¹⁾GAE; Gallic acid equivalents. Mean values ± standard error from triplicate separated experiments are shown. *Means within a column followed by the same letter are not significantly different based on the DMRT ($p < 0.05$).

각 추출물마다 반응 정도가 달라 두 방법에 차이가 있는 것으로 사료된다. 따라서 항산화 활성을 비교할 때 두 방법을 종합해서 비교해야 할 것으로 생각된다.

3) 총 페놀 및 총 플라보노이드 함량

총 페놀 함량은 3 - 77 mg · GAE/g 의 범위이며 11-SB-116 이 77.11 ± 0.73 mg · GAE/g으로 가장 많이 함유하고 있고 대조구인 대조구 중 총 페놀을 가장 많이 함유하고 있는 붉은 찰수수 (71.24 ± 1.04 mg · GAE/g)보다 많이 함유하고 있는 수집종은 4점 (11-SB-116, 11-SB-098, 11-SB-048, 11-SB-110)이다. 이는 Kamath 등 (2004)이 연구한 60% 메탄올 추출물의 총 페놀 함량 (0.461 ± 0.100 mg · GAE/g) 보다 높은 수치이며 Premakumara 등 (2013)이 연구한 벼 품종 추출물의 총 페놀 함량 (11.74 - 29.75 mg · GAE/g) 보다 높은 수치를 나타내는 등 다른 잡곡보다 높은 함량을 보였다 (Table 5).

총 플라보노이드 함량은 0.09 - 0.07 mg · QE/g 의 범위이며 11-SB-114이 1.07 ± 0.00 mg · QE/g으로 가장 많이 함유하고 있고 대조구 중 총 플라보노이드를 가장 많이 함유하고 있는 늘수수 (0.80 ± 0.05 mg · QE/g)보다 많이 함유하고 있는 수집종은 4점 (11-SB-114, 13-SB-013, 12-SB-017, 13-SB-116)이다 (Table 6).

본 연구에서는 수수 수집종의 총 페놀 함량이 총 플라보노

Table 6. Total flavonoid contents of sorghum extraction of top 10 percent among the whole accession used for this study.

| Accession No. | Total flavonoid content (mg · QE ¹⁾ /g) | Accession No. | Total flavonoid content (mg · QE/g) |
|---------------|--|-----------------|-------------------------------------|
| 11-SB-011 | 0.75 ± 0.06 | 13-SB-011 | 0.72 ± 0.01 |
| 11-SB-013 | 0.62 ± 0.00 | 13-SB-013 | 0.88 ± 0.04 ^a |
| 11-SB-014 | 0.66 ± 0.02 | 13-SB-029 | 0.65 ± 0.19 |
| 11-SB-062 | 0.72 ± 0.06 | 13-SB-052 | 0.64 ± 0.03 |
| 11-SB-082 | 0.73 ± 0.00 | 13-SB-059 | 0.65 ± 0.02 |
| 11-SB-085 | 0.71 ± 0.01 | 13-SB-077 | 0.62 ± 0.05 |
| 11-SB-114 | 1.07 ± 0.00 ^{a*} | 13-SB-097 | 0.61 ± 0.05 |
| 12-SB-008 | 0.70 ± 0.02 | 13-SB-114 | 0.73 ± 0.05 |
| 12-SB-016 | 0.73 ± 0.02 | 13-SB-116 | 0.81 ± 0.05 |
| 12-SB-017 | 0.87 ± 0.02 ^a | 13-SB-145 | 0.63 ± 0.03 |
| 12-SB-018 | 0.75 ± 0.03 | Gumeunchalsusu | 0.42 ± 0.03 |
| 12-SB-025 | 0.64 ± 0.02 | Bulkeunchalsusu | 0.44 ± 0.00 |
| 12-SB-027 | 0.64 ± 0.03 | Neulsusu | 0.80 ± 0.05 |
| 12-SB-038 | 0.64 ± 0.04 | Jangsusu | 0.46 ± 0.03 |
| 12-SB-052 | 0.62 ± 0.02 | | |
| Means ± SE | | 0.4 ± 0.0 | |

¹⁾QE; Quercetin equivalents. Mean values ± standard error from triplicate separated experiments are shown. *Means within a column followed by the same letter are not significantly different based on the DMRT ($p < 0.05$).

이드 함량보다 높은 것을 나타냈고, Seo 등 (2011) 의 결과보다 본 연구의 총 페놀함량은 높았지만 총 플라보노이드 함량을 비교했을 때에는 본 연구의 결과가 낮은 것을 알 수 있는데 이는 본 연구에서 사용한 수수 수집종이 함유하고 있는 페놀류 중 플라보노이드 성분은 적고 다른 페놀류 성분들이 존재할 것으로 사료된다.

3. 우수 수집종의 선발

각 실험의 식물학적 및 생리활성을 분석하여 상위 10%를 비교했을 때, 2개 이상의 실험에서 상위 10%인 것들 중에 발아율이 80% 이상이고 생리활성 검정 시 대조구 4종과 비교했을 때 높은 활성을 보인다고 사료되는 수집종 10점 (11-SB-029, 11-SB-079, 11-SB-098, 11-SB-123, 12-SB-068, 13-SB-039, 13-SB-096, 13-SB-123, 13-SB-125, 13-SB-126) 을 선발했다 (Fig. 2). 선발한 수수 수집종은 강원도 횡성, 강원도 인제, 경기도 연천, 경기도 가평 및 전라북도 군산 등 한국 여러 지역에서 수집되었으며 (Table 7), 선발한 수수 수집종의 농업적 형질을 다음 표에 나타냈다 (Table 8). 본 연구에서 선발한 수집종은 장려 품종으로 직접 이용할 수 있는 잠재성을 지니고 있다고 생각되며, 우수품종 육성에 중요한 기초자료로 이용될 수 있을 것으로 사료된다. 육종프로그램에 이용하기 위하여, 일반조합능력과 특수조합능력 등을 조사하기 위한 연구

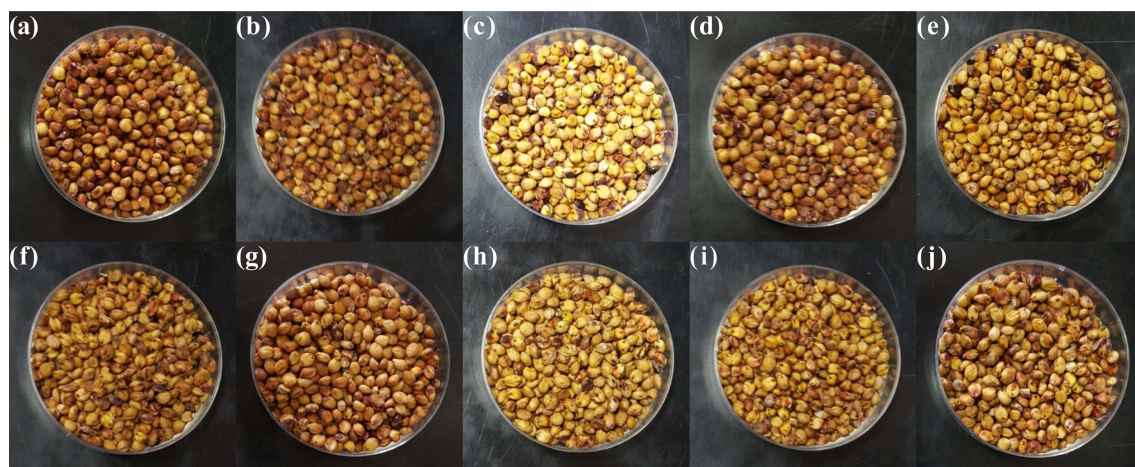


Fig. 2. Seeds of selected superior sorghum accessions. (a); 11-SB-029, (b); 11-SB-079, (c); 11-SB-098, (d); 11-SB-123, (e); 12-SB-068, (f); 13-SB-039, (g); 13-SB-096, (h); 13-SB-123, (i); 13-SB-125, (j); 13-SB-126.

Table 7. Region of collecting selected superior sorghum accession in Korea.

| Asseccion No. | Region | Latitude | Longitude | Altitude (m) |
|---------------|----------------------------|--------------|---------------|--------------|
| 11-SB-029 | Hoengseong-gun, Gangwon-do | 37°33'29.41" | 128°01'40.58" | 150 |
| 11-SB-079 | Hoengseong-gun, Gangwon-do | 37°28'59.54" | 128°10'33.68" | 493 |
| 11-SB-098 | Inje-gun, Gangwon-do | 37°45'58.62" | 128°02'45.18" | 350 |
| 11-SB-123 | Inje-gun, Gangwon-do | 37°52'26.74" | 128°15'35.76" | 380 |
| 12-SB-068 | Yeoncheon-gun, Gyeonggi-do | 38°11'35.39" | 127°06'56.71" | 109.36 |
| 13-SB-039 | Gunsan-si, Jeolla-do | 35°59'29.02" | 126°47'00.55" | 12.50 |
| 13-SB-096 | Hoengseong-gun, Gangwon-do | 37°33'30.75" | 128°13'37.80" | 552.67 |
| 13-SB-123 | Gunsan-si, Jeolla-do | 35°59'06.11" | 126°47'47.38" | 23.09 |
| 13-SB-125 | Gunsan-si, Jeolla-do | 35°58'03.64" | 126°44'11.86" | 15.33 |
| 13-SB-126 | Gapyeong-gun, Gyeonggi-do | 37°45'29.32" | 127°30'04.56" | 136.66 |

Table 8. The agronomic characters of collecting selected superior sorghum accession in Korea.

| Asseccion No. | Germination rate (%) | Culm length (cm) | Ear length (cm) | Ear width (cm) |
|---------------|----------------------|------------------|-----------------|----------------|
| 11-SB-029 | 79 ± 2.5 | 144.3 ± 6.1 | 18.3 ± 1.5 | 8.3 ± 2.0 |
| 11-SB-079 | 90 ± 3.5 | 274.3 ± 3.0 | 32.0 ± 1.0 | 19.6 ± 1.5 |
| 11-SB-098 | 80 ± 0.5 | 179.0 ± 3.6 | 25.0 ± 3.0 | 11.6 ± 0.5 |
| 11-SB-123 | 86 ± 1.5 | 185.6 ± 2.0 | 22.7 ± 0.5 | 7.6 ± 1.1 |
| 12-SB-068 | 100 ± 0.0 | 321.6 ± 4.1 | 37.6 ± 0.5 | 9.5 ± 0.5 |
| 13-SB-039 | 100 ± 0.0 | 288.6 ± 1.5 | 36.0 ± 1.0 | 13.1 ± 0.3 |
| 13-SB-096 | 100 ± 0.0 | 279.3 ± 6.0 | 16.0 ± 1.0 | 7.4 ± 0.5 |
| 13-SB-123 | 94 ± 5.0 | 308.3 ± 7.6 | 32.0 ± 1.0 | 9.0 ± 1.0 |
| 13-SB-125 | 100 ± 0.0 | 315.3 ± 4.1 | 32.0 ± 1.0 | 13.0 ± 2.0 |
| 13-SB-126 | 96 ± 0.0 | 287.0 ± 2.0 | 34.9 ± 0.7 | 12.5 ± 6.2 |

Mean values ± standard error from triplicate separated experiments are shown.

가 요구되며, 유전적 매개변수와 환경요인에 의한 유전자형의 추정을 위한 많은 연구가 필요하다고 사료된다.

감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 농업생명자원관리기관(과제번호: PJ0121292016)의 지원에 의해 수행되었고, 2016년도 강원대학교 대학회계 학술연구 조성비로 연구하여 이루어진 결과로 이에 감사드립니다.

REFERENCES

- Awika JM and Rooney LW. (2004). Sorghum phytochemicals and their potential impact on human health. *Phytochemistry*. 65:1199-1221.
- Choi BH, Kim SK, Song DY, Cho SH, Chin MS and Park KY. (1996). Growth characteristics and grain yields for introduced germplasms of grain sorghum. *Journal of the Korean Society of International Agriculture*. 8:143-150.
- Dykes L and Rooney LW. (2006). Sorghum and millet phenols and antioxidants. *Journal of Cereal Science*. 44:236-251.
- Goh EJ, Yoo JH, Seong ES, Lee JG, Hwang IS, Kim NJ and Yu CY. (2012). Antioxidant and antimicrobial activities of

- sorghum germplasms introduced from USA. Korean Journal of Plant Resources. 25:193-199.
- Ha YD and Lee SP.** (2001). Characteristics of proteins in Italian millet, sorghum and common millet. Journal of Korean Society of Postharvest Science and Technology of Agricultural Products. 8:187-192.
- Kamath VG, Chandrashekar A and Rajini PS.** (2004). Antiradical properties of sorghum(*Sorghum bicolor* L. Moench) flour extracts. Journal of Cereal Science. 40:283-288.
- Kil HY, Seong ES, Ghimire BK, Chung IM, Kwon SS, Goh EJ, Heo K, Kim MJ, Lim JD, Lee DK and Yu CY.** (2009). Antioxidant and antimicrobial activities of crude sorghum extract. Food Chemistry. 115:1234-1239.
- Kim CJ, Seong ES, Yoo JH, Lee JG, Kim NJ, Choi SK, Lim JD and Yu CY.** (2016a). Biological activity of *Panax ginseng* C. A. Meyer culture roots fermented with microorganisms. Korean Journal of Medicinal Crop Science. 24:191-197.
- Kim HY, Seong ES, Yoo JH, Choi JH, Kang BJ, Jeon MR, Kim MJ and Yu CY.** (2016b). Effect of germanium treatment on growth and production of organic germanium in *Oplomanax elatus*. Korean Journal of Medicinal Crop Science. 24:214-221.
- Kim JM, Jin N and Park YS.** (2012). Effects of legumes consumption on the association of cholesterol and bone mineral density in ovariectomized rats. Korean Journal of Medicinal Crop Science. 20:42-46.
- Kim SH.** (2014). The effects of sorghum extract on cholesterol metabolism in hypercholesterolemic mice. Master Thesis. Hanyang University. p.1-37.
- Kim SM, Zhang QY, Yu XZ, Yoon ST, Ji SJ and Kim JB.** (2010). Fatty acids composition of foxtail millet(*Setaria italica* BEAUVOIS) seeds collected in South Korea. Korean Journal of Medicinal Crop Science. 18:405-408.
- Moreno MIN, Isla MI, Sampietro AR and Vattuone MA.** (2000). Comparison of the free radical-scavenging activity of propolis from several regions of Argentina. Journal of Ethnopharmacology. 71:109-114.
- Park SH, Won OJ, Hien LT, Eom MY, Hwang KS, Hwang JB and Park KW.** (2015). Weed control efficacy of the residues and its aqueous extract of sorghum shoots. Weed and Turfgrass Science. 4:243-248.
- Premakumara GAS, Abeysekera WKSM, Ratnasooriya WD, Chandrasekharan NV and Bentota AP.** (2013). Antioxidant, anti-amylase and anti-glycation potential of brans of some Sri Lankan traditional and improved rice(*Oryza sativa* L.) varieties. Journal of Cereal Science. 58:451-456.
- Re R, Pellegrini N, Proteggente A, Pannala A, Yang M and Rice-Evans C.** (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. Free Radical Biology and Medicine. 26:1231-1237.
- Sa YJ, Kim JS, Kim MO, Jeong HJ, Yu CY, Park DS and Kim MJ.** (2010). Comparative study of electron donating ability, reducing power, antimicrobial activity and inhibition of α -glucosidase by *sorghum bicolor* extracts. Korean Journal of Food Science and Technology. 42:598-604.
- Seo MC, Ko JY, Song SB, Lee JS, Kang JR, Kwak DY, Oh BG, Yoon YN, Nam MH, Jeong HS and Woo KS.** (2011). Antioxidant compounds and activities of foxtail millet, proso millet and sorghum with different pulverizing methods. Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition. 40:790-797.
- Song JE, Song JH, Cho SM, Min GH and Lee JS.** (2010). Nutritional characteristics and physiological functionality of antidementia acetylcholinesterase inhibitor-containing methanol extract from *Sorghum bicolor*. The Korean Journal of Food and Nutrition. 23:226-232.
- Taga MS, Miller EE and Pratt DE.** (1984). Chia seeds as a source of natural lipid antioxidants. Journal of the American Oil Chemists' Society. 61:928-931.
- Won OJ, Uddin MR and Pyon JY.** (2011). Herbicidal activity and crop injury of aqueous extracts of sorghum leaves. CNU Journal of Agricultural Science. 38:191-198.
- Xiong Q, Kadota S, Tani T and Namba T.** (1996). Antioxidative effects of phenylethanoids from *Cistanche deserticola*. Biological and Pharmaceutical Bulletin. 19:1580-1585.
- Yoon ST, Jae EK, Kim YJ, Jeong IH, Han TK, Kim TY, Cho YS and Kang HW.** (2015). Growth and yield characteristics of foxtail millet, proso millet and sorghum according to sowing date in middle area in Korea. Korean Journal of Crop Science. 60:197-211.