국내산 조와 손가락조의 기능성분 및 생리활성 비교

원동재¹ · 우관식² · 이진영¹ · 추지호³ · 고지연³ · 이병원³ · 이유영¹ · 김미향¹ · 강문석¹ · 김현주¹

¹국립식량과학원 중부작물부 수확후이용과

²농촌진흥청 연구정책국 연구성과관리과

³국립식량과학원 남부작물부 발작물개발과

Functional Compounds and Physiological Activities of Foxtail Millet (*Setaria italica*) and Finger Millet (*Eleusine coracana*)

Dong-Jae Won¹, Koan Sik Woo², Jin Young Lee¹, Ji Ho Choo³, Jee Yeon Ko³, Byong Won Lee³, Yu-Young Lee¹, Mihyang Kim¹, Moon Seok Kang¹, and Hyun-Joo Kim¹

¹Department of Central Area Crop Science, National Institute of Crop Science, Rural Development Administration

²Research Policy Bureau, Rural Development Administration

³Department of Southern Area Crop Science, National Institute of Crop Science, Rural Development Administration

ABSTRACT The purpose of this study was to investigate the physiological activities and the functional components of foxtail millet (FM, *Setaria italica*) and finger millet (FGM, *Eleusine coracana*). Nine cultivars of FM (namely Keongkwan 1ho (KK1), Keongkwan 2ho (KK2), Dahwangme (DHM), Daname (DAM), Samdamae (SDM), Samdachal (SDC), Chohwangme (CHM), Hwanggeum (HG), Hwangmeechal (HMC)) and one cultivar of FGM (namely Finger1ho (FG1)) were cultivated and compared with respect to their physicochemical characteristics. The calcium content of FG1 was 11.6 times higher than the average calcium content of the FM cultivars, while the potassium and phosphorus content of the FG1 was the lowest among all cultivars at 2,582 and 2,511 ppm, respectively. The cultivar with the highest total polyphenol content was FG1 at 30.64 mg/g. The cultivars with the highest phytic acid and γ -oryzanol content were DAM (1.13 g/100 g) and HG (2.05 mg/100 g), respectively. FG1 showed the best antioxidant activities with the highest level of DPPH, ABTS radical scavenging capacities, and FRAP at 23.98 mg Trolox equivalent (TE)/g sample, 17.14 mg TE/g sample, and 216.82 mM, respectively. FG1 also showed the strongest α -glucosidase inhibition activity at 89.64%. The cultivars showing higher tyrosinase inhibition activities were DHM and CHM at 67.21% and 62.82%, respectively. From these results, it could be concluded that FG1 would be highly useful as a functional agent and a good source for nutrients such as calcium and total polyphenols.

Key words: foxtail millet, finger millet, cultivars, functional compounds, physiological activity

서 론

생활수준의 향상과 1인 가구의 증가는 과거와 비교했을 때 식생활에 많은 변화를 가져왔다. 특히 육류, 유제품, 당류 등에 대한 소비가 증가함에 따라 순환기 및 대사성 질환의 발생도 함께 증가시켰다(Kim 등, 2014). 이에 2000년대를 기점으로 건강과 안전을 생각하는 식품의 소비 경향이 강해졌으며(Lee 등, 2016), 한동안 섭취량이 크게 줄었던 잡곡

은 건강에 대한 보고가 나오면서 소비가 점차 증가하였다(Kwak 등, 2004). 이에 따라 다양한 기능성을 가지고 있는 것으로 보고된 잡곡류를 이용한 기능성 식품 소재 및 가공제품 개발을 위한 다양한 연구가 시도되고 있다.

조(*Setaria italica*)는 파스한 지역에서 자라는 한해살이풀(Liu 등, 2019)로 아시아, 유럽(주로 러시아), 일부 아프리카 국가에서 생육하는 주요 작물 중 하나이다(Dong 등, 2019). 조의 주성분은 당질, 단백질,식이섬유, 지방 등(Sharma와

Received 10 August 2021; Revised 1 October 2021; Accepted 12 October 2021

Corresponding author: Hyun-Joo Kim, Department of Central Area Crop Science, National Institute of Crop Science, Rural Development Administration, 54, Seoho-ro, Gwonseon-gu, Suwon-si, Gyeonggi 16613, Korea, E-mail: tlrtod@korea.kr

Copyright © 2021 by The Korean Society of Food Science and Nutrition. All rights Reserved.

This is Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Niranjan, 2018)이며, 백미에 비해 칼슘, 비타민 B₁, B₂가 3배, 식이섬유가 7배, 철분이 10배 이상 많이 함유되어 있다(Jung 등, 2019). 현재까지 밝혀진 조에 함유된 기능성분 중 대표적인 성분인 폴리페놀은 품종에 따라 12~30 mg/g 이며(Woo 등, 2012), 식혜로 가공했을 때 그 함량이 48배까지 높아지는 연구결과가 발표된 바 있다(Jeong 등, 2014). 또한 베타알라닌, 베타카로틴, 루틴 등을 함유하고 있어 치료약이나 건강 기능 식품으로 이용되고 있다(Jung 등, 2019). 그리고 조는 변비와 대장암을 예방하는 효과가 있으며(Jeong 등, 2014), 탈기, 침지, 요리 등의 가공처리는 조의 antinutrients 함량은 줄이고 철분과 아연 같은 미네랄의 생체이용률은 높이는 효과가 있다는 보고도 있다(Pawar와 Machewad, 2006). 하지만 국내에서 육성된 조를 다양하게 활용하기 위해 현재까지 발표된 내용 외에 다른 기능성분 또는 생리활성 구명을 통해 산업 소재로서의 이용 가능성을 검토해야 한다.

손가락조는 밀렛류 중의 하나로 국내에서 다른 잡곡류에 비해 많이 재배되는 작물은 아니지만 동부와 중부 아프리카, 인도에서는 많이 재배하고 있으며(Shobana 등, 2013), 특히 인도의 저소득층에게는 칼로리와 단백질의 주요 공급원이자 여섯 번째로 재배면적이 넓은 작물이다(Chandra 등, 2016). 손가락조가 가지고 있는 다섯 겹의 종피는 다른 밀렛류와는 구분되는 특징이라고 할 수 있다(Shobana 등, 2013). 특히 손가락조는 기능성이 높은 작물로 알려져 있는데 폴리페놀 성분은 타 작물(쌀, 밀, 보리, 옥수수 등)에 비해 많은 것으로 알려져 있으며(Chandra 등, 2016), 이는 겉껍질(seed coat)에 집중되어 있다(Chethan과 Malleshi, 2007). 현재 국내에서 육성된 손가락조인 핑거1호가 개발되었으나 이를 이용한 산업 소재로서의 활용을 위해 다각적으로 검토가 필요한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 국내에서 육성된 조와 손가락조를 식품 및 공중보건산업에서 다양하게 활용하기 위한 기초자료를 확보하기 위해 품종에 따른 기능성분 및 생리활성을 비교하고자 수행하였다.

재료 및 방법

시약

본 연구에서 사용한 acarbose, amyloglucosidase, 2,2'-azino-bis-3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid(ABTS), dimethyl sulfoxide(DMSO), 1,1-diphenyl-2-picryl-hydrazyl(DPPH), L-Dopa-(phenyl-d₃)(DOPA), iron(III) chloride, Folin-Ciocalteu reagent, gallic acid, α-glucosidase, hippuryl-L-histidyl-L-leusine, hydrochloric acid, isopropanol, MES, magnesium sulfate, 2,6-di-tert-butyl-4-methylphenol(BHT), mushroom tyrosinase, *p*-nitrophenyl-α-D-glucopyranoside(*p*-NPG), potassium monobasic, potassium dibasic, potassium persulphate,

sodium carbonate, sodium hydroxide, 2,4,6-Tris(2-pyridyl)-*s*-triazine(TPTZ), tris는 Sigma-Aldrich(St. Louis, MO, USA)에서 구입해서 실험에 사용하였다. 그리고 α-amylase, protease는 Megazyme(Wicklow, Ireland)에서 구입하여 사용하였다. Acetonitrile, ethanol, ethyl acetate, hexane 및 methanol은 대정화금(Gyeonggi, Korea)에서 구입하였다.

실험재료

본 연구에서 사용한 조는 경관1호, 경관2호, 다황메, 단아메, 삼다메, 삼다찰, 조황메, 황금 및 황미찰 등 총 9품종, 손가락조는 핑거1호 등 1품종을 국립식량과학원 남부작물부(경상남도 밀양) 시험 포장에서 2018년도에 재배 및 수확한 것을 시험재료로 이용하였다. 각 시료는 시험용 도정기(Ssang Yong Machine Ind., Inchon, Korea)를 이용하여 종자의 왕겨 부분을 벗겨낸 후 분쇄기로 분쇄한 시료를 사용하였다. 조와 손가락조의 생리활성 검정을 위한 시료 준비는 품종별 시료와 에탄올을 1:10 비율로 상온에서 24시간 동안 3회 진탕 추출한 다음 여과하여 농축하였다. 농축 시료를 동결 건조한 다음 DMSO에 재용해해서 실험에 사용하였다.

일반성분 및 무기성분 함량 분석

일반성분(수분, 회분, 지방, 단백질) 분석은 AOAC방법(2000)에 의하여 정량하였다. 국내산 조 및 손가락조의 수분함량은 105°C에서 상압가열건조법으로 측정하였으며, 조회분 함량은 600°C 직접회화법으로 분석하였다. 조지방 함량은 Soxhlet 방법으로 분석하였으며, 조단백질 함량은 Kjeldahl 방법으로 정량 분석하였다. 무기성분은 직접회화법을 이용하여 전처리하고 ICP(Inductively Coupled Plasma, Optima-3300DV, Perkin-Elmer, Norwalk, CT, USA)로 칼륨, 칼슘, 마그네슘, 나트륨 및 인 함량을 분석하였다.

식이섬유 함량 분석

식이섬유 분석은 분쇄한 시료에 MES/Tris buffer(MES 0.05 M과 tris 0.05 M을 증류수 1 L에 용해하여 6 N sodium hydroxide로 pH 8.2 조정)를 각 40 mL씩 넣고, α-amylase 50 μL를 가해 98°C 항온수조(DS-23SN, Dasol Scientific, Hwaseong, Korea)에서 30분 혼합한 후 protease를 100 μL 만큼 넣고 60°C 항온수조에서 30분 교반한 후 0.56 N hydrochloric acid 5 mL를 가한 다음 amyloglucosidase 200 μL를 넣고 60°C에서 30분간 혼합한 후 식이섬유 분석 장치(SE/Fibertec 1023, Foss, Hilerød, Denmark)에서 여과하여 crucible에 남겨진 잔사를 불용성 식이섬유로 계산하였다. 여과액에 60°C, 95% ethanol 320 mL를 부어 1시간 정치한 다음 여과하여 crucible에 남겨진 잔사를 수용성 식이섬유로 계산하였으며, 불용성과 수용성 식이섬유 함량을 더해 총 식이섬유로 환산하여 산출하였다.

총 폴리페놀

총 폴리페놀 함량은 Dewanto 등(2002)의 방법에 따라 Folin-Ciocalteu reagent가 추출물의 폴리페놀성 화합물에 의해 환원된 결과 몰리브덴 정색으로 발색하는 것을 원리로 측정하였다. 즉, 각 추출물 100 μ L에 2% sodium carbonate 용액 2 mL를 가한 후 3분 방치하여 50% Folin-Ciocalteu reagent 100 μ L를 가하였다. 실온에서 30분 방치 후 반응액의 흡광도 값을 750 nm에서 측정하였다. 표준물질로 gallic acid를 5, 10, 25 및 50배로 희석하여 사용하였으며, 검량선 작성 후 총 폴리페놀 함량은 mg/g extract로 나타내었다.

Phytic acid 함량

국내산 조 및 손가락조의 phytic acid 함량은 Megazyme사의 phytic acid(phytate)/total phosphorous assay kits을 사용하여 측정하였다. 시료 1 g을 0.66 M hydrochloric acid 20 mL에 넣어 실온에서 교반한 후 농축액 1 mL를 취해 13,000 rpm에서 10분간 원심분리 후 상등액을 0.5 mL 취해 0.75 M sodium hydroxide 0.5 mL를 가하여 중화시켜 추출물을 제조하였다. 그 후 튜브를 free phosphorus와 total phosphorus 측정용으로 나누어 효소성 탈인산화반응(Lee 등, 2021)을 거쳐 13,000 rpm에서 10분간 원심분리 후 상등액 1.00 mL를 취해 발색 시약 0.50 mL와 혼합 후 655 nm에서 흡광도를 측정하였다. Phytic acid 함량 측정을 위한 검량선은 phosphorus 농도에 따라 5개의 표준물질을 이용하였으며, 아래 식을 통해 phytic acid 함량을 산출하였다.

$$\text{Phosphorus (g/100 g)} = \frac{\text{mean M} \times 20 \times F}{10,000 \times 1.0 \times v} \times \Delta A_{\text{phosphorus}}$$

$$\text{Phytic acid (g/100 g)} = \frac{\text{phosphorus (g/100 g)}}{0.282}$$

γ -Oryzanol 함량

시료의 총 γ -oryzanol 함량은 Rogers 등(1993)의 방법을 변형하여 측정하였다. 시료 10 g을 80°C 이상의 증류수 8 mL에 첨가하고 isopropanol 20 mL를 첨가하여 무수 magnesium sulfate를 첨가하여 탈수시켰다. 0.01% BHT를 첨가한 추출용매(hexane : ethylacetate, 85:15, v/v) 50 mL를 넣어 13,000 rpm에서 homogenizer(Brinkmann, Westbury, NY, USA)로 1분간 균질화시킨 후 여과하고 추출물에 다시 용매를 가하여 3회 반복 추출하였다. 추출물을 농축하여 HPLC(Agilent 1200, Agilent Technologies, Waldbronn, Germany)로 분석하였다. 컬럼은 C₁₈(250 $\times$ 3.9 mm, Agilent Technologies)을 사용하였으며, 이동상은 9:1(v/v)의 acetonitrile 및 methanol을 1.5 mL/min으로 흘려주었다. 주입량은 20 μ L로 하였고 검출기는 UV(325 nm) 검출기를 사용하였다. 표준물질은 Wako Pure Chemical Ind.(Osaka, Japan)의 γ -oryzanol을 이용하여 검량선

을 작성한 후 정량하였다.

DPPH 및 ABTS 라디칼 소거 활성

조 및 손가락조 추출물에 대한 항산화 활성은 DPPH 및 ABTS 라디칼 소거 활성을 측정하였다(Woo 등, 2015). DPPH 라디칼 소거 활성은 0.2 mM DPPH 용액(99.9% ethanol에 용해) 200 μ L에 시료 10 μ L를 첨가한 후 520 nm에서 30분 후에 흡광도를 측정하였다. ABTS 라디칼 소거 활성은 ABTS 7.4 mM과 potassium persulphate 2.6 mM을 하루 동안 암소에 방치하여 ABTS 양이온을 형성시킨 후 이 용액을 735 nm에서 흡광도 값이 1.4~1.5가 되도록 흡광계수($\epsilon=3.6 \times 10^4 \text{ M}^{-1}\text{cm}^{-1}$)를 이용하여 에탄올로 희석하였다. 희석된 ABTS 용액 200 μ L에 추출액 10 μ L를 가하여 흡광도의 변화를 정확히 30분 후에 측정하였다. DPPH 및 ABTS 라디칼 소거 활성은 시료 100 g당 mg TE (Trolox equivalent antioxidant capacity)로 표현하였다.

FRAP(ferric-reducing antioxidant power)

FRAP 측정은 Benzie와 Strain(1996)의 방법을 인용하였다. 300 mM sodium acetate buffer(pH 3.6) 25 mL를 37°C에서 가온 후 40 mM hydrochloric acid로 용해한 10 mM TPTZ 2.5 mL와 20 mM iron(III) chloride 2.5 mL를 가하여 제조한 FRAP reagent 180 μ L에 시료 30 μ L와 증류수 90 μ L를 넣은 후 37°C에서 10분간 반응시킨 후 593 nm에서 흡광도를 측정하였다. 계산은 1,000 μ M부터 반수 희석으로 25 μ M까지 6개 농도로 하여 FeSO₄의 검량식에 대입해 환산하였다.

α -Glucosidase 저해 활성

조 및 손가락조 추출물의 당당도 활성을 검토하기 위해 α -glucosidase 저해 활성을 측정하였다(Tibbot과 Skadsen, 1996). α -Glucosidase와 *p*-NPG를 0.1 M sodium phosphate buffer(pH 7.0)로 용해하여 제조하였으며, positive control로 acarbose를 사용하였다. 시료 10 μ L에 0.5 unit/mL α -glucosidase 90 μ L를 혼합하여 37°C에서 20분간 incubation 한 후 1 mM *p*-NPG 용액을 100 μ L 가하여 405 nm에서 흡광도를 측정한 다음 값을 토대로 저해율(%)을 계산하였다.

Tyrosinase 저해 활성

조 및 손가락조 추출물의 미백 활성을 검토하기 위해 분석한 tyrosinase 활성 저해 측정 방법은 tyrosinase의 작용 결과 생성되는 dopachrome을 비색법(Flurkey, 1991)을 이용하여 측정하였다. Mushroom tyrosinase(100 unit/mL)를 0.2 mL, 기질로서 DOPA 0.4 mL, 0.1 M potassium phosphate buffer(pH 6.8) 0.2 mL의 혼합액에 시료 0.2 mL를 첨가한 후 25°C에서 15분간 반응시켜 475 nm에서 흡광도를 측정하고 dopachrome의 변화를 저해능으로 환산

하였다.

통계분석

통계분석은 SPSS 통계프로그램(Statistical Package for the Social Science, Ver. 12.0, SPSS Inc., Chicago, IL, USA)을 이용하여 각 측정군의 평균과 표준편차를 산출하고 품종 간의 차이 유무를 one-way ANOVA(analysis of variance)로 분석한 뒤 신뢰구간 $P < 0.05$ 에서 Duncan's multiple range test를 이용하여 유의성을 검정하였다.

결과 및 고찰

일반성분 및 무기성분 함량

국내산 조와 손가락조의 수분, 회분, 조지방 및 조단백 함량을 분석한 결과는 Table 1과 같다. 수분함량의 경우 손가락조인 핑거1호가 10.65%로 조보다 높은 함량을 보였다. 조 품종 중에는 삼다찰이 10.50%로 높은 함량이었으며, 다황메와 경관2호는 모두 9.94%로 유의적인 차이를 보이지 않았다. 회분 함량은 단아메가 2.32%로 가장 높은 함량을 보였고 황금과 삼다찰이 각각 2.25%, 2.23%로 그 뒤를 이

었지만 서로 간 유의적인 차이는 보이지 않았다. 조지방 함량의 경우 황금(5.62%), 조황메(5.26%), 다황메(5.24%) 순으로 높았다. 손가락조인 핑거1호의 조지방은 1.21%로 가장 낮은 함량을 보였는데, 다른 조 품종들보다 월등히 낮은 수치였다. 이는 손가락조의 조지방을 분석한 다른 논문들의 결과(0.83~1.8%)와 유사한 수준이었다(Singh과 Raghuvanshi, 2012; David 등, 2014). 조단백 함량을 분석한 결과 단아메가 13.57%로 다른 품종에 비해 높은 함량을 보였으며, 황금(12.06%)과 삼다찰(11.88%)이 그 뒤를 이었다.

조와 손가락조의 무기성분 함량을 분석한 결과를 Table 2에 제시하였다. 칼륨 함량의 경우 삼다찰이 4,102.00 ppm으로 가장 높은 함량을 보였으며, 손가락조인 핑거1호가 2,582.00 ppm으로 가장 낮은 값을 보였다. 마그네슘의 경우 단아메가 1,931.80 ppm으로 가장 높았으며, 황금(1,775.47 ppm), 삼다찰(1,772.76 ppm), 경관2호(1,696.47 ppm), 조황메(1,684.80 ppm) 순으로 나타났다. 나트륨의 경우 가장 낮은 수치를 보인 경관2호(691.33 ppm)부터 가장 높은 수치를 보인 삼다메(789.07 ppm)까지 다른 무기성분에 비해 품종 간 차이가 가장 작았다. 인의 경우 단아메(4,948.87 ppm), 황금(4,854.41 ppm), 경관2호(4,568.44

Table 1. Proximate composition of foxtail and finger millet cultivars (%)

Cultivars ¹⁾		Moisture	Ash	Crude fat	Crude protein
Foxtail millet	KK1	9.94±0.03 ^{c2)3)}	2.02±0.03 ^e	4.90±0.02 ^d	9.92±0.04 ^g
	KK2	9.57±0.04 ^e	2.12±0.01 ^d	5.02±0.00 ^c	11.62±0.06 ^d
	DHM	9.94±0.05 ^c	1.86±0.01 ^g	5.24±0.02 ^b	10.18±0.03 ^f
	DAM	8.74±0.02 ^h	2.32±0.01 ^a	5.02±0.05 ^c	13.57±0.09 ^a
	SDM	9.23±0.05 ^g	1.84±0.00 ^h	4.63±0.01 ^f	9.92±0.02 ^g
	SDC	10.50±0.08 ^b	2.23±0.01 ^b	4.93±0.04 ^d	11.88±0.03 ^c
	CHM	9.57±0.02 ^e	2.00±0.01 ^e	5.26±0.02 ^b	10.55±0.06 ^e
	HG	9.31±0.05 ^f	2.25±0.01 ^b	5.62±0.04 ^a	12.06±0.06 ^b
	HMC	9.72±0.05 ^d	1.93±0.01 ^f	4.76±0.02 ^e	9.58±0.04 ^h
Finger millet	FG1	10.65±0.02 ^a	2.18±0.01 ^c	1.21±0.00 ^g	10.63±0.01 ^e

¹⁾KK1: Keongkwan 1ho, KK2: Keongkwan 2ho, DHM: Dahwangme, DAM: Daname, SDM: Samdamae, SDC: Samdachal, CHM: Chohwangme, HG: Hwanggeum, HMC: Hwangmeechal, FG1: Finger1ho.

²⁾Values are mean±SD of three replicates.

³⁾Different small letters in the same item indicate a significant difference ($P < 0.05$) among different cultivars.

Table 2. Mineral contents of foxtail and finger millet cultivars (ppm)

Cultivars ¹⁾		K	Ca	Mg	Na	P
Foxtail millet	KK1	3,846.67±23.18 ^{c2)3)}	323.33±9.02 ^c	1,492.67±19.22 ^g	784.87±11.32 ^a	4,000.14±17.01 ^e
	KK2	3,662.00±31.75 ^d	226.40±4.61 ^f	1,696.47±4.72 ^c	691.33±8.33 ^e	4,568.44±29.64 ^c
	DHM	3,126.00±39.95 ^h	233.73±6.02 ^f	1,541.20±15.83 ^f	701.80±3.30 ^{de}	3,456.55±26.57 ^g
	DAM	3,828.67±31.13 ^c	279.33±8.08 ^d	1,931.80±5.52 ^a	700.13±5.80 ^{de}	4,948.87±16.16 ^a
	SDM	3,207.33±26.63 ^g	279.40±6.47 ^d	1,647.53±4.80 ^d	789.07±6.47 ^a	3,791.61±18.57 ^f
	SDC	4,102.00±30.79 ^a	363.20±5.25 ^b	1,772.67±7.02 ^b	729.07±3.00 ^{bc}	3,788.57±15.58 ^f
	CHM	3,302.67±12.06 ^f	234.60±5.72 ^{ef}	1,684.80±6.16 ^c	706.27±3.72 ^d	2,903.78±16.81 ^h
	HG	4,006.00±20.30 ^b	247.47±2.54 ^c	1,775.47±6.20 ^b	730.80±5.01 ^{bc}	4,854.41±21.75 ^b
	HMC	3,485.33±19.43 ^e	311.00±4.58 ^c	1,500.93±6.89 ^g	736.00±5.29 ^b	4,109.78±11.26 ^d
Finger millet	FG1	2,582.00±19.70 ⁱ	3,206.00±16.00 ^a	1,606.27±8.73 ^c	723.00±6.24 ^c	2,511.78±17.00 ⁱ

¹⁾KK1: Keongkwan 1ho, KK2: Keongkwan 2ho, DHM: Dahwangme, DAM: Daname, SDM: Samdamae, SDC: Samdachal, CHM: Chohwangme, HG: Hwanggeum, HMC: Hwangmeechal, FG1: Finger1ho.

²⁾Values are mean±SD of three replicates.

³⁾Different small letters in the same item indicate a significant difference ($P < 0.05$) among different cultivars.

ppm) 순으로 조의 품종에 따른 함량 차이를 보였다. 특히 칼슘 함량은 핑거1호가 3,206 ppm으로 가장 많은 함량을 보였다. 조의 품종별 칼슘 범위가 226.40~363.20 ppm인 것에 비하면 손가락조의 칼슘 함량은 약 10배 정도 많은 것임을 알 수 있었다. Singh와 Raghuvanshi(2012)는 손가락조의 영양성분을 분석한 다른 연구의 결과를 정리하였는데, 그중 칼슘의 함량이 320.8~344 mg%(3,208~3,440 ppm)의 범위로 나타나 본 연구에서 얻은 손가락조의 칼슘 함량과 유사하였다. Rathore 등(2019)이 손가락조에 대해 리뷰한 논문에서도 칼슘 함량이 344 mg/100 g으로 언급되어 본 연구결과와 근접하였음을 확인하였으며, 손가락조는 칼슘, 철, 인의 원천이라고 언급하였다. Ravindran(1991)가 발표한 논문에도 역시 손가락조의 칼슘 함량이 조의 칼슘 함량에 비해 약 8배가량 높았으며 조의 평균 칼슘 함량도 0.40 g/100 g(약 4,000 ppm)으로 언급하여 9종의 조에 대한 평균 칼슘 함량이 3,618.52 ppm이었던 본 연구결과와 유사하였다.

Woo 등(2012)의 보고에 의하면, 같은 품종의 조나 기장이라도 파종 및 수확시기에 따라 항산화 성분 및 항산화 활성 등의 차이가 있다고 하였다. 이처럼 수확시기에 따라 같은 품종이라도 등숙도에 영향을 받아 성분의 차이를 보이는 경우가 발생할 수 있으므로, 국내산 조와 손가락조의 식품 및 공중보건산업 소재로 이용하기 위해서는 재배조건이 균일한 시료로 연차 간 성분 변화 관찰을 통해 활용 목적에 맞는 적합 품종 선정이 필요하다고 판단된다.

식이섬유 함량

국내산 조 및 손가락조의 품종별 식이섬유를 분석하기 위해 불용성, 수용성 식이섬유를 분석하여 총 식이섬유량을 산출한 결과 불용성 식이섬유의 양은 황금과 핑거1호가 각각 9.49%, 9.29%로 가장 높았으며 황미찰(7.69%), 단아메(7.47%), 조황메(7.27%) 순으로 나타났다(Table 3). 수용성 식이섬유의 경우 황금이 1.04%로 다른 품종에 비해 높은 함량을 보였으며 삼다찰(0.95%), 경관2호(0.81%), 경관1호(0.72%) 순으로 나타났다. 불용성 및 수용성 식이섬유를 합산하여 산출한 총 식이섬유 함량의 경우, 황금이 10.52%로 가장 높았으며 핑거1호가 9.84%로 그 뒤를 이었다. 조에서 유래된 불용성 식이섬유는 대두 유래 불용성 식이섬유와 물리화학적으로 유사한 성질을 가지며, 이는 α -아밀레이스의 활성을 방해하여 탄수화물의 소화를 지연시켜 포도당의 방출을 지연시킨다고 알려져 있다(Sharma와 Niranjana, 2018). Ramulu와 Rao(1997)는 손가락조의 불용성, 수용성, 총 식이섬유의 함량을 각각 11, 2, 12%라고 보고하여 본 연구의 핑거1호의 식이섬유 결과와 유사하게 나왔음을 확인하였다. Ko 등(2011)이 조의 총 식이섬유 함량을 분석한 결과에 따르면, 조의 총 식이섬유 함량은 황금 품종이 6.3%, 청차조 품종이 7.3%였는데, 이는 본 연구에서 분석한 같은 품종인 황금의 총 식이섬유량이 10.52%였던 것에 비

Table 3. Dietary fiber contents of foxtail and finger millet cultivars (%)

Cultivars ¹⁾		Dietary fiber		
		Insoluble	Soluble	Total
Foxtail millet	KK1	5.47±0.39 ^{e2)3)}	0.72±0.22 ^{cd}	6.19±0.24 ^c
	KK2	6.43±0.25 ^d	0.81±0.13 ^{bc}	7.24±0.22 ^d
	DHM	6.65±0.15 ^d	0.33±0.03 ^g	6.99±0.13 ^d
	DAM	7.47±0.33 ^b	0.42±0.07 ^{fg}	7.88±0.25 ^c
	SDM	5.86±0.13 ^c	0.49±0.05 ^{fg}	6.36±0.13 ^c
	SDC	6.93±0.63 ^{cd}	0.95±0.06 ^{ab}	7.88±0.57 ^c
	CHM	7.27±0.12 ^{bc}	0.44±0.14 ^{fg}	7.70±0.08 ^c
	HG	9.49±0.11 ^a	1.04±0.19 ^a	10.52±0.10 ^a
	HMC	7.69±0.32 ^b	0.28±0.02 ^g	7.98±0.32 ^c
Finger millet	FG1	9.29±0.09 ^a	0.55±0.04 ^{ef}	9.84±0.12 ^b

¹⁾KK1: Keongkwan 1ho, KK2: Keongkwan 2ho, DHM: Dahwangme, DAM: Daname, SDM: Samdamae, SDC: Samdachal, CHM: Chohwangme, HG: Hwanggeum, HMC: Hwangmeechal, FG1: Finger1ho.

²⁾Values are mean±SD of three replicates.

³⁾Different small letters in the same item indicate a significant difference ($P<0.05$) among different cultivars.

하면 적은 수준이었다. 이는 비록 생산지가 같았으나 다른 시기에 재배되어 발생한 결과라고 생각된다. Kim 등(2018)의 연구결과에 의하면 같은 품종의 수수라도 재배연도나 수확시기에 따라 일반성분, 색도, 수분 특성 등의 차이가 있음을 보였다. 따라서 재배시기에 따라 토양의 환경변화, 수확시기의 등숙 정도 등의 요인으로 이와 같은 차이가 발생했다고 생각된다. 이상의 결과로 황금(조)과 핑거1호(손가락조)가 식이섬유의 좋은 급원임을 알 수 있었다. 또한 조의 겨에 함유된 식이섬유가 79.22%였다는 연구결과(Zhu 등, 2018)와 손가락조의 겉껍질에 함유된 식이섬유가 53.3%였다는 Viswanath 등(2009)의 보고를 볼 때 조 및 손가락조를 도정했을 때보다 통곡으로 섭취했을 때 얻을 수 있는 식이섬유 효과가 높을 것으로 예측된다. 식이섬유는 탄수화물에 속한 고분자로 식물 세포벽이나 세포 간 결합물질로 존재한다(Shin, 2019). 식이섬유의 기능으로는 혈당조절, 혈중 지질 함량 감소, 변비와 위장 장애 예방 등이 보고되었다(Mcintosh와 Miller, 2001). 물과의 친화력이 낮은 불용성 식이섬유는 비전분성 다당류나 리그닌 등을 포함하며 높은 보수력으로 배변량을 늘리는 역할을 한다(Manthey 등, 1999). 반면, 귀리, 과일 및 야채 등에 많이 존재하는 수용성 식이섬유(Mudgil과 Barak, 2013)는 물과의 친화력이 높아서 점성이 생기며, 이는 소장에서 포도당과 스테롤의 흡수를 늦춤으로써 식후 혈당이나 혈중 콜레스테롤, 인슐린 수치 등을 낮추는 역할을 한다(Manthey 등, 1999). 따라서 곡류 등 천연소재를 이용한 기능성 식품개발을 위해 원료의 식이섬유 함량 검토가 필요한 상황이다.

총 폴리페놀, 피틴산, 감마오리자놀 함량

조 및 손가락조의 품종별 항산화 성분 함량을 알아보기

Table 4. Total polyphenol, phytic acid, and γ -oryzanol content of foxtail and finger millet cultivars

Cultivars ¹⁾		Total polyphenol (mg/g extract)	Phytic acid (g/100 g)	γ -Oryzanol (mg/100 g)
Foxtail millet	KK1	7.11±0.28 ^{e2)3)}	0.56±0.02 ^d	1.69±0.06 ^c
	KK2	7.03±0.66 ^c	0.66±0.04 ^c	1.57±0.03 ^d
	DHM	9.64±0.67 ^c	0.48±0.04 ^c	1.85±0.02 ^b
	DAM	8.53±0.46 ^d	1.13±0.05 ^a	1.63±0.03 ^{cd}
	SDM	10.48±0.21 ^b	0.63±0.04 ^c	1.62±0.04 ^d
	SDC	7.51±0.61 ^e	0.45±0.02 ^c	1.79±0.04 ^b
	CHM	7.29±0.08 ^e	0.49±0.03 ^c	1.07±0.02 ^e
	HG	8.53±0.48 ^d	0.76±0.01 ^b	2.05±0.05 ^a
	HMC	9.64±0.20 ^c	0.62±0.03 ^{cd}	1.84±0.05 ^b
Finger millet	FG1	30.64±0.60 ^a	0.34±0.02 ^f	0.00±0.00 ^f

¹⁾KK1: Keongkwan 1ho, KK2: Keongkwan 2ho, DHM: Da-hwangme, DAM: Daname, SDM: Samdamae, SDC: Samdachal, CHM: Chohwangme, HG: Hwanggeum, HMC: Hwangmeechal, FG1: Finger1ho.

²⁾Values are mean±SD of three replicates.

³⁾Different small letters in the same item indicate a significant difference ($P<0.05$) among different cultivars.

위해 총 폴리페놀, 피틴산, 감마오리자놀의 함량을 분석하였다(Table 4). 조의 품종별 총 폴리페놀 함량 범위는 7.03에서 30.64 mg/g까지 나타났으며 핑거1호의 총 폴리페놀 함량이 30.64 mg/g으로 가장 많았다. 삼다메와 황미찰이 각각 10.48, 9.64 mg/g으로 뒤를 이었으나 핑거1호의 총 폴리페놀 함량과는 큰 차이를 보였다. Viswanath 등(2009)의 연구 결과에서도 도정된 손가락조의 총 폴리페놀 함량이 3.3~4.3 g/100 g으로 본 연구결과와 비슷한 수준을 보였다. 이 연구에서는 손가락조의 겉껍질과 통곡의 총 폴리페놀 함량도 조사하였는데, 각각 12.6, 7.3%의 함량을 보여 손가락조의 폴리페놀 성분은 겉껍질에 더 많이 분포하고 있음을 알 수 있었다. 이상의 결과를 종합해보면 조보다는 손가락조를 섭취하였을 때, 배유보다는 겉껍질을 포함한 통곡으로 섭취하였을 때 높은 수준의 폴리페놀 섭취가 가능하다고 추론할 수 있었다.

피틴산은 칼슘, 철, 아연 같은 금속이온과 결합하여 무기물의 체내흡수를 저해한다는 부정적인 보고도 있었으나, 자유라디칼 형성을 억제하여 산화반응을 억제하고 항산화제로써 항암작용과 혈중 당과 지질 함량을 낮추는 역할을 한다는 연구결과들이 발표되고 있어(Ahn 등, 2004), 기능성 소재로의 활용 가능성을 보여주는 주요 성분이라고 할 수 있다. 조의 품종별 함유 피틴산의 분석 결과 단아메가 1.13 g/100 g으로 가장 높았고 황금이 0.76 g/100 g으로 그 뒤를 이었다. 반면 핑거1호의 피틴산 함량은 0.34 g/100 g으로 가장 낮았다. 조와 손가락조의 피틴산 함량을 분석한 Ravindran(1991)의 연구결과에 의하면 4개 품종의 조와 3개 품종의 손가락조에 대한 피틴산 함량의 평균은 각각 0.66 g/100 g과 0.48 g/100 g이었다(Ravindran, 1991). 본 연구에서 분석한 9개 품종의 조에 대한 피틴산 함량의 평균은

0.64 g/100 g으로 Ravindran(1991)의 연구결과와 매우 근접하였다. 조에 비해 손가락조의 피틴산 함량이 낮은 경향을 보이는 것 또한 유사하였다.

감마오리자놀은 강한 항산화제인 ferulic acid를 함유하고 있어 혈청 콜레스테롤 수치를 낮추는 역량을 소유하고 있는 것으로 보고되어(Xu 등, 2001) 기능성 소재로 다양하게 검토되고 있는 성분이다. 감마오리자놀 함량은 황금이 2.05 mg/100 g으로 가장 높았으며 다황메(1.85 mg/100 g), 황미찰(1.84 mg/100 g), 삼다찰(1.79 mg/100 g) 순으로 나타났다. 반면 손가락조인 핑거1호에는 감마오리자놀이 검출되지 않았다. Tsuzuki 등(2018)에 의하면 조에는 현미가 함유한 감마오리자놀량의 약 80%인 28.9 mg/100 g이 함유되었다고 보고하였다. 분쇄 조 시료에서 감마오리자놀 함량을 분석한 Seo 등(2011)의 연구에서도 116.07~145.30 μ g/g(11.61~14.53 mg/100 g) 범위를 보였다. 이는 본 연구에서 분석한 9품종 조의 평균 감마오리자놀 함량(1.68 mg/100 g)과 큰 차이를 보였다. Xiang 등(2019)에 의하면 곡물의 영양소와 phytochemical의 구성은 유전자형(genotype)에만 국한되는 것이 아니라 토양과 기후 같은 환경 요소에 영향을 받는데 이러한 요인들이 결과에 영향을 미쳤을 것으로 생각된다.

국내산 조와 손가락조의 기능성분 함량을 분석한 결과 조의 경우 단아메와 황금 품종, 손가락조인 핑거1호가 기능성분 함량이 높은 경향을 보였는데, 분석 항목별 함량이 높은 품종은 상이하였다. 추후 조와 손가락조의 품종별 유전적 특성 및 재배환경 등과 기능성분별 함량을 모니터링하고, 장기적으로 조와 손가락조에 함유된 기능성분을 활용하여 산업적 소재로 이용할 방안에 대한 연구가 꾸준히 지속되어야 한다고 판단된다.

항산화 활성

국내산 조와 손가락조의 품종별 항산화 활성을 알아보기 위해 DPPH 및 ABTS 라디칼 소거능, FRAP 값을 측정하였다(Table 5). 핑거1호의 DPPH 라디칼 소거능은 23.98 mg TE/g sample로 가장 높았으며, 조의 모든 품종에 비해 큰 유의차를 보였다. 조의 품종 간 DPPH 라디칼 소거능 범위는 8.60(황금)~11.68(황미찰) mg TE/g sample이었다. ABTS 라디칼 소거능 또한 핑거1호의 수치가 17.14 mg TE/g sample로 가장 높았다. 조의 품종 간 비교에서는 황미찰(13.11 mg TE/g sample), 삼다메(13.00 mg TE/g sample), 황금(12.11 mg TE/g sample)이 다른 품종에 비해 높은 활성을 보인 반면, 다황메(0.90 mg TE/g sample)와 단아메(0.23 mg TE/g sample)는 매우 낮은 활성을 보였다. 천연물의 총 항산화력을 측정하는 방법의 하나인 FRAP 값은 손가락조인 핑거1호가 216.82 mM로 가장 높은 수치를 보였으며, 조는 조황메가 120.15 mM로 다른 품종에 비해 높은 값을 보였다. 많은 연구에서 항산화 활성은 페놀류나 플라보노이드 물질과 상관성이 있는 것으로 알려져 있는데

Table 5. Antioxidant activities and FRAP of foxtail and finger millet cultivars

Cultivars ¹⁾		Radical scavenging activities (mg TE ²⁾ /g sample)		FRAP (mM)
		DPPH activity (mg TE/g sample)	ABTS activity (mg TE/g sample)	
Foxtail millet	KK1	10.25±0.39 ^{cd3)4)}	9.04±0.74 ^e	93.15±0.87 ^g
	KK2	9.59±0.55 ^{de}	8.43±0.51 ^f	92.15±2.65 ^g
	DHM	10.91±0.66 ^{bc}	0.90±0.06 ^g	100.65±1.73 ^e
	DAM	9.69±0.53 ^{de}	0.23±0.02 ^h	99.32±2.31 ^{ef}
	SDM	11.21±0.67 ^b	13.00±0.23 ^b	97.15±1.32 ^f
	SDC	9.33±0.42 ^{ef}	8.12±0.14 ^f	105.82±0.76 ^d
	CHM	9.19±0.58 ^{ef}	10.81±0.43 ^d	120.15±1.00 ^b
	HG	8.60±0.23 ^g	12.11±0.28 ^c	103.98±0.76 ^d
	HMC	11.68±0.14 ^b	13.11±0.28 ^b	115.32±0.58 ^c
Finger millet	FG1	23.98±0.35 ^a	17.14±0.06 ^a	216.82±2.57 ^a

¹⁾KK1: Keongkwan 1ho, KK2: Keongkwan 2ho, DHM: Dahwangme, DAM: Daname, SDM: Samdamae, SDC: Samdachal, CHM: Chohwangme, HG: Hwanggeum, HMC: Hwangmeechal, FG1: Fingerlho.

²⁾TE: Trolox equivalent.

³⁾Values are mean±SD of three replicates.

⁴⁾Different small letters in the same item indicate a significant difference ($P<0.05$) among different cultivars.

(Kang 등, 1996; Asharani 등, 2010), 본 연구에서 핑거1호의 높은 항산화 활성과 폴리페놀 함량이 높은 결과를 뒷받침하였다. 조와 손가락조를 포함한 여러 곡물의 작목과 품종 간 총 항산화력을 비교한 결과, 손가락조의 항산화 활성이 다른 작물(조, 기장 등)에 비해 유의적으로 높았음이 밝혀졌다(Asharani 등, 2010). 또한 같은 연구에서 손가락조의 총 토코페롤 및 카로티노이드 함량이 높았다는 결과를 볼 때, 손가락조에 함유된 폴리페놀뿐만 아니라 이외의 다양한 항산화 물질들로 인해 전반적으로 높은 항산화 활성을 보인 것으로 판단된다.

효소저해 활성

국내산 조와 손가락조의 α -glucosidase 및 tyrosinase

Table 6. Enzyme inhibition activities of foxtail and finger millet cultivars (%)

Cultivars ¹⁾		α -Glucosidase	Tyrosinase
Foxtail millet	KK1	34.00±0.87 ^{c2)3)}	53.11±0.12 ^{cd}
	KK2	31.45±0.66 ^{cd}	48.53±0.46 ^{de}
	DHM	28.63±0.70 ^{de}	67.21±0.62 ^a
	DAM	40.08±0.48 ^b	45.99±0.27 ^e
	SDM	26.93±0.67 ^e	58.10±0.29 ^{bc}
	SDC	28.21±0.67 ^{de}	50.31±0.72 ^{de}
	CHM	34.26±0.59 ^c	62.82±0.19 ^{ab}
	HG	28.23±0.31 ^{de}	49.57±0.78 ^{de}
	HMC	42.57±0.51 ^b	53.77±0.67 ^{cd}
Finger millet	FG1	89.64±0.37 ^a	53.51±0.77 ^{cd}

¹⁾KK1: Keongkwan 1ho, KK2: Keongkwan 2ho, DHM: Dahwangme, DAM: Daname, SDM: Samdamae, SDC: Samdachal, CHM: Chohwangme, HG: Hwanggeum, HMC: Hwangmeechal, FG1: Fingerlho.

²⁾Values are mean±SD of three replicates.

³⁾Different small letters in the same item indicate a significant difference ($P<0.05$) among different cultivars.

저해 활성을 분석한 결과를 Table 6에 제시하였다. α -Glucosidase 효소는 제2형 당뇨병에서 가장 먼저 발생하는 대사 이상인 식후 고혈당의 조절을 위한 치료의 표적으로 인식되어 왔으며, α -glucosidase를 저해함으로써 탄수화물의 소화 및 흡수를 지연시키고 결과적으로 식후 고혈당 증상을 억제할 수 있는 것으로 알려져 있다(Yao 등, 2010). 따라서 천연물의 항당뇨 활성을 탐색하기 위해 α -glucosidase 저해 활성을 먼저 수행하게 된다. 국내산 조 및 손가락조의 품종별 α -glucosidase 저해 활성 범위는 26.93~89.64%로 나타났다. 핑거1호의 저해 활성이 가장 높았는데, 그다음으로 저해 활성이 높았던 황미찰(42.57%)에 비해 2배 이상의 활성을 보였다. 삼다메는 26.93%로 가장 낮은 저해 활성을 보였다. 최근 수수, 기장, 팥 추출물이 간세포로의 포도당 흡수를 증가시켜 당뇨병 개선에 긍정적인 영향을 미칠 수 있다는 보고가 발표된 바 있다(Lee 등, 2020). 이는 곡류에 함유된 ferulic acid가 glucokinase의 활성을 증가시켜 포도당 수치를 조절하고 췌장세포를 재생시키기 때문이라고 판단된다(Mandal 등, 2008).

Tyrosinase는 사람의 피부에서 멜라닌의 생합성을 촉진하며, 표피에서의 과다 색소침착은 기미, 주근깨, 그리고 검버섯 같은 다양한 피부질환을 유발할 수 있다(Maisuthisakul과 Gordon, 2009). 따라서 퀴세틴이나 타닌산 같은 tyrosinase 저해제는 식품의 품질 유지 및 미백화장품의 주요 지표성분으로 알려져 있다(Miyazawa 등, 2003). 조와 손가락조의 품종별 tyrosinase 저해 활성 범위는 45.99~67.21%로 나타났다. 다황메의 저해 활성이 가장 높았으며 조황메(62.82%), 삼다메(58.10%), 황미찰(53.77%) 순으로 나타났다. 국내산 조와 손가락조의 tyrosinase 저해 활성을 검토한 연구는 미비한 실정이나, 해외 발표사례를 찾아보면 잡곡류 중 하나인 기장의 tyrosinase 저해 활성을 검토한 연구발표에서 tyrosinase 저해 활성의 IC₅₀ 값은 14.02 mg/mL였

으며, 지표물질로 syringic acid, *p*-coumaric acid 및 ferulic acid라고 하였다(Huang 등, 2018). 국내산 조 및 손가락조 품종별 항당뇨 및 미백 활성을 효소저해 활성 실험을 통해 분석한 결과 각 작목 및 품종별로 다르게 나타났는데, 보다 명확한 결과를 도출하기 위해 세포 및 동물을 이용한 항당뇨 및 미백 활성 검정의 추가 연구와 함께 각 활성의 지표물질 선정 등의 후속 연구가 필요하다고 판단된다.

요 약

본 연구에서는 국내에서 육성된 조와 손가락조의 식품 및 공중보건산업 소재로서의 이용 다양화를 위한 기초자료를 확보하고자 작목 및 품종별 일반성분, 기능성분을 검정하고 에탄올 추출물을 이용하여 생리활성을 분석하였다. 일반성분 분석 결과 단아메가 조단백 함량이 다른 품종들에 비해 유의적으로 높았다. 무기성분 함량을 검토한 결과 칼륨은 삼다찰, 칼슘의 경우 손가락조인 핑거1호가 가장 높은 함량을 보였다. 기능성분 함량을 분석한 결과 손가락조인 핑거1호의 총 폴리페놀 함량이 30.64 mg/g으로 가장 높았고 피틴산은 단아메, 감마오리자놀은 황금이 유의적인 차이를 보이며 높았다. 항산화 활성의 경우 DPPH와 ABTS 라디칼 소거능, 그리고 FRAP 값 모두 핑거1호가 모든 조 품종에 비해 활성이 크게 높았음을 확인하였다. 효소저해 활성 결과에서는 핑거1호가 가장 높은 α -glucosidase 저해 활성을 보였으며, 다황메와 조황메는 다른 조 품종들에 비해 높은 tyrosine 저해 활성을 보였다. 이상의 결과를 종합해볼 때 손가락조인 핑거1호와 조는 다황메 및 조황메 등이 식품 및 공중보건산업 소재로서의 활용성이 높을 것으로 판단된다. 아울러 본 결과는 국내산 조와 손가락조를 식품 및 공중보건산업 소재로 활용하기 위한 기초자료로 활용이 가능할 것으로 생각되며 추후 각 활성에 대한 기능성분과 메커니즘 구명에 대한 연구가 지속적으로 요구된다.

감사의 글

본 논문은 농촌진흥청 AGENDA 연구사업(과제번호: PJ 01415002)의 지원에 의해 이루어진 것임.

REFERENCES

- Ahn HJ, Kim JH, Jo C, Kim MJ, Byun MW. Comparison of irradiated phytic acid and other antioxidants for antioxidant activity. *Food Chem.* 2004. 88:173-178.
- AOAC. Official methods of analysis. 17th ed. Association of Official Analytical Communities, Gaithersburg, MD, USA. 2000. p 1-26.
- Asharani VT, Jayadeep A, Malleshi NG. Natural antioxidants in edible flours of selected small millets. *Int J Food Prop.* 2010. 13:41-50.
- Benzie IFF, Strain JJ. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": The FRAP assay. *Anal Biochem.* 1996. 239:70-76.
- Chandra D, Chandra S, Sharma AK. Review of Finger millet (*Eleusine coracana* (L.) Gaertn): a power house of health benefiting nutrients. *Food Sci Hum Wellness.* 2016. 5:149-155.
- Chethan S, Malleshi NG. Finger millet polyphenols: optimization of extraction and the effect of pH on their stability. *Food Chem.* 2007. 105:862-870.
- David BM, Michael A, Doyinsola O, Patrick I, Abayomi O. Proximate composition, mineral and phytochemical constituents of *Eleusine coracana* (finger millet). *Int J Adv Chem.* 2014. 2:171-174.
- Dewanto V, Wu X, Liu RH. Processed sweet corn has higher antioxidant activity. *J Agric Food Chem.* 2002. 50:4959-4964.
- Dong JL, Wang L, Lü J, Zhu YY, Shen RL. Structural, antioxidant and adsorption properties of dietary fiber from foxtail millet (*Setaria italica*) bran. *J Sci Food Agric.* 2019. 99:3886-3894.
- Flurkey WH. Identification of tyrosinase in mushrooms by isoelectric focusing. *J Food Sci.* 1991. 56:93-95.
- Huang WY, Chen HJ, Lin CC, Chen CS, Lin YS. Kinetics investigation on mushroom tyrosinase inhibition of proso millet. *J Chem.* 2018. Article ID 2387926. <https://doi.org/10.1155/2018/2387926>
- Jeong MS, Ko JY, Song SB, Lee JS, Jung TW, Yoon YH, et al. Physicochemical characteristics of Sikhye (Korean traditional rice beverage) using foxtail millet, proso millet, and sorghum. *J Korean Soc Food Sci Nutr.* 2014. 43:1785-1790.
- Jung KY, Choi YD, Chun HC, Lee SH, Jeon SH. Effects of specific gravity on germination and emergence of foxtail millet (*Setaria italica* Beauvois). *Korean J Crop Sci.* 2019. 64: 144-151.
- Kang YH, Park YK, Lee GD. The nitrite scavenging and electron donating ability of phenolic compounds. *Korean J Food Sci Technol.* 1996. 28:232-239.
- Kim JM, Park JY, Kim KW, Yoon KY. Nutritional composition and functionality of mixed cereals powder. *Korean J Food Preserv.* 2014. 21:388-395.
- Kim SK, Jung GH, Lee JE, Lee BK, Woo KS. Changes in physicochemical characteristics of sorghum among different varieties and at different harvest stages after heading. *Korean J Food Sci Technol.* 2018. 50:260-266.
- Ko JY, Song SB, Lee JS, Kang JR, Seo MC, Oh BG, et al. Changes in chemical components of foxtail millet, proso millet, and sorghum with germination. *J Korean Soc Food Sci Nutr.* 2011. 40:1128-1135.
- 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.* 2004. 33:921-929.
- Lee H, Yu M, Kim HJ, Sung J, Jeong HS, Lee J. Antioxidant and anti-diabetic activities of ethanol extracts of cereal grains and legumes. *J Korean Soc Food Sci Nutr.* 2020. 49:323-328.
- Lee JY, Woo KS, Seo JH, Lee YY, Lee BW, Kim MH, et al. Physicochemical qualities and physiological activities of black soybeans by cultivation area and cultivars. *J Korean Soc Food Sci Nutr.* 2021. 50:29-35.
- Lee KI, Kim SH, Heo SY. In-depth analysis of food consumption in Korea. Report of KREI. 2016. p 1-3.
- Liu TY, Ye N, Song T, Cao Y, Gao B, Zhang D, et al. Rhizosphere formation and involvement in foxtail millet (*Setaria italica*) root growth under drought stress. *J Integr Plant Biol.* 2019. 61:449-462.
- Maisuthisakul P, Gordon MH. Antioxidant and tyrosinase in-

- hibitory activity of mango seed kernel by product. Food Chem. 2009. 117:332-341.
- Mandal S, Barik B, Mallick C, De D, Ghosh D. Therapeutic effect of ferulic acid, an ethereal fraction of ethanolic of seed of *Syzygium cumini* against streptozotocin-induced diabetes in male rat. Methods Find Exp Clin Pharmacol. 2008. 30:121. <https://doi.org/10.1358/mf.2008.30.2.1143090>
- Manthey FA, Hareland GA, Huseby DJ. Soluble and insoluble dietary fiber content and composition in oat. Cereal Chem. 1999. 76:417-420.
- Mcintosh M, Miller C. A diet containing food rich in soluble and insoluble fiber improves glycemic control and reduces hyperlipidemia among patients with type 2 diabetes mellitus. Nutr Rev. 2001. 59:52-55.
- Miyazawa M, Oshima T, Koshio K, Itsuzaki Y, Anzai J. Tyrosinase inhibitor from black rice bran. J Agric Food Chem. 2003. 51:6953-6956.
- Mudgil D, Barak S. Composition, properties and health benefits of indigestible carbohydrate polymers as dietary fiber: A review. Int J Biol Macromol. 2013. 61:1-6.
- Pawar VD, Machewad GM. Processing of foxtail millet for improved nutrient availability. J Food Process Preserv. 2006. 30:269-279.
- Ramulu P, Rao PU. Effect of processing on dietary fiber content of cereals and pulses. Plant Foods Hum Nutr. 1997. 50:249-257.
- Rathore T, Singh R, Kamble DB, Upadhyay A, Thangalakshmi S. Review on finger millet: Processing and value addition. J Pharm Innov. 2019. 8:283-291.
- Ravindran G. Studies on millets: proximate composition, mineral composition, and phytate and oxalate contents. Food Chem. 1991. 39:99-107.
- Rogers EJ, Rice SM, Nicolosi RJ, Carpenter DR, McClelland CA, Romanczyk LJ. Identification and quantitation of γ -oryzanol components and simultaneous assessment of tocopherols in rice bran oil. J Am Oil Chem Soc. 1993. 70:301-307.
- Seo MC, Ko JY, Song SB, Lee JS, Kang JR, Kwak DY, et al. Antioxidant compounds and activities of foxtail millet, proso millet and sorghum with different pulverizing methods. J Korean Soc Food Sci Nutr. 2011. 40:790-797.
- Sharma N, Niranjana K. Foxtail millet: properties, processing, health benefits, and uses. Food Rev Int. 2018. 34:329-363.
- Shin DH. General concept of dietary fiber and its functionality. Food Sci Ind. 2019. 52:84-99.
- Shobana S, Krishnaswamy K, Sudha V, Malleshi NG, Anjana RM, Palaniappan L, et al. Finger millet (*Ragi*, *Eleusine coracana* L.): a review of its nutritional properties, processing, and plausible health benefits. Adv Food Nutr Res. 2013. 69:1-39.
- Singh P, Raghuvanshi RS. Finger millet for food and nutritional security. Afr J Food Sci. 2012. 6:77-84.
- Tibbot BK, Skadsen RW. Molecular cloning and characterization of a gibberellin-inducible, putative α -glucosidase gene from barley. Plant Mol Biol. 1996. 30:229-241.
- Tsuzuki W, Komba S, Kotake-Nara E, Aoyagi M, Mogushi H, Kawahara S, et al. The unique compositions of steryl ferulates in foxtail millet, barnyard millet and naked barley. J Cereal Sci. 2018. 81:153-160.
- Viswanath V, Urooj A, Malleshi NG. Evaluation of antioxidant and antimicrobial properties of finger millet polyphenols (*Eleusine coracana*). Food Chem. 2009. 114:340-346.
- Woo KS, Lee JS, Ko JY, Song SB, Seo HI, Seo MC, et al. Antioxidant compounds and antioxidant activities of different varieties of foxtail millet and proso millet according to cultivation time. J Korean Soc Food Sci Nutr. 2012. 41:302-309.
- Woo KS, Song SB, Ko JY, Lee JS, Jung TW, Jeong HS. Changes in antioxidant contents and activities of adzuki beans according to germination time. J Korean Soc Food Sci Nutr. 2015. 44:687-694.
- Xiang J, Apea-Bah FB, Ndolo VU, Katundu MC, Beta T. Profile of phenolic compounds and antioxidant activity of finger millet varieties. Food Chem. 2019. 275:361-368.
- Xu Z, Hua N, Godber JS. Antioxidant activity of tocopherols, tocotrienols, and γ -oryzanol components from rice bran against cholesterol oxidation accelerated by 2,2'-azobis(2-methylpropionamide) dihydrochloride. J Agric Food Chem. 2001. 49:2077-2081.
- Yao Y, Sang W, Zhou M, Ren G. Antioxidant and α -glucosidase inhibitory activity of colored grains in China. J Agric Food Chem. 2010. 58:770-774.
- Zhu Y, Chu J, Lu Z, Lv F, Bie X, Zhang C, et al. Physicochemical and functional properties of dietary fiber from foxtail millet (*Setaria italica*) bran. J Cereal Sci. 2018. 79:456-461.