국내산 기장 품종에 따른 기능성분 및 생리활성 비교

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

¹국립식량과학원 중부작물부 수확후이용과

²농촌진흥청 연구정책국 연구성과관리과

³국립식량과학원 남부작물부 발작물개발과

Functional Compounds and Physiological Activities of Proso Millet Cultivars

Hyun-Joo Kim¹, Koan Sik Woo², Jin Young Lee¹, Ji Ho Choo³, Byong Won Lee³,
Yu-Young Lee¹, Mihyang Kim¹, and Moon Seok Kang¹

¹Department of Central Area Crop Science, National Institute of Crop Science,

²Research Policy Bureau, and

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

ABSTRACT This study investigated the functional compounds and physiological activities of proso millet (PM) cultivars to select a good cultivar for use in the food processing and cosmetic industries. The total dietary fiber content of PM cultivar Manhongchal (6.65%) was higher than other cultivars. The total polyphenol content of Hwangsirchal was 7.67 mg/g extract, which was higher than that of other cultivars, and the phytic acid content of Hwanggum was the highest at 1.20 g/100 g. DPPH radical scavenging activity was higher in Hwangsirchal, Ebaekchal, Hwanggum, and Hallachal compared to the other cultivars. Hallachal and Hwangsirchal showed higher ABTS radical scavenging activity than other cultivars, and the ferric reducing ability of plasma (FRAP) value of Manhongchal was the highest at 97.48 mM. The cultivars Ebaekchal, Hwangsirchal, and Manhongchal showed more than 95% α -glucosidase inhibitory activity. The angiotensin converting enzyme and tyrosinase inhibitory activities of PM cultivars Manhongchal (27%) and Ollechal (56.72%) were higher than other cultivars. To summarize, Hwangsirchal, Manhongchal, and Ollechal could be highly useful as food and cosmetic materials.

Key words: proso millet, cultivars, functional compounds, physiological activity

서 론

현대 식생활의 서구화로 과거에 비해 쌀 섭취는 감소하는 반면 육류, 유제품, 유지류, 당류 등의 소비증가로 순환기 및 대사성 만성 질환이 점차 증가하고 있는 추세이다. 이에 따라 건강에 대한 관심이 증가함과 동시에 노화와 관련된 질병의 예방 및 치료를 위한 식생활에 관심이 집중되면서 잡곡류에 대한 소비와 관심이 증가하고 있다(Kim 등, 2014). 잡곡은 쌀을 제외한 보리, 울무, 콩, 조, 기장, 수수, 옥수수 등을 통째로 표현을 하는데, 우리나라 주요 작물은 쌀보다 소비는 낮았으나 잡곡류의 향산화, 항비만 등 다양한 기능성이 보고되면서 새로운 웰빙식품의 원료로 이용 가치가 증가하고 있다.

기장(proso millet, *Panicum milaceum* L.)은 외떡잎식물 벼목 화본과의 한해살이풀로 소립종의 곡물을 통째로 의미하는 밀렛류(millet)에 속한다(Saleh 등, 2013). 기장에 함유된 주성분은 당질, 단백질, 지방질, 식이섬유, 비타민, 무기성분 등으로 영양성분이 다량 함유되어 있어 인체 건강 증진에 유익한 작물 중 하나이다(Ha와 Lee, 2001; Kim 등, 2017). 또한 기장과 같은 밀렛류에는 폴리페놀릭 화합물이 함유된 것으로 보고되고 있는데, 이 화합물은 다양한 화학구조와 분자량을 가지며 phenolic hydroxyl기가 단백질 등 거대분자와 결합하여 항산화, 항암, 항균 등의 다양한 생리활성을 가지는 것으로 알려져 있다(Park 등, 2020). 현재까지 기장과 관련하여 발표된 주요 연구로는 국내에서 육성된 기장 품종별 영양성분 특성(Choi 등, 2019), 배수방법에 따

Received 5 April 2021; Revised 24 April 2021; Accepted 24 April 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.

른 기장 페놀성분 및 라디칼 소거 활성에 미치는 영향(Jung 등, 2014), 기장 추출물의 항산화 및 전립선 암세포주 증식 억제 효과(Kim 등, 2016), 기장을 첨가한 식혜의 품질 특성(Jeong 등, 2014) 등으로 기장 품종별 또는 재배조건에 따른 성분 및 항산화 활성 변화와 기장을 첨가한 식품의 이화학적 품질 특성에 관한 연구 위주로 발표되었다. 하지만 국내에서 육성된 기장을 다양하게 활용하기 위해 현재까지 발표된 내용 외에 다른 기능성분 또는 생리활성 구명을 통해 산업 소재로서의 이용 가능성을 검토해야 한다.

따라서 본 연구에서는 국내에서 육성된 기장을 식품 및 화장품 산업에서 다양하게 활용하기 위한 기초자료를 확보하기 위해 품종에 따른 기능성분 및 생리활성을 분석하고자 진행하였다.

재료 및 방법

실험재료

본 연구에서 사용한 기장은 금실찰, 만홍찰, 울래찰, 이백찰, 한라찰, 황금, 황실찰이며 국립식량과학원 남부작물부(경남 밀양) 시험 포장에서 2018년도에 재배 및 수확한 것을 시험재료로 이용하였다. 각 시료는 시험용 도정기(Ssang Yong Machine Ind., Incheon, Korea)를 이용하여 종자의 왕겨 부분을 벗겨낸 후 분쇄기로 분쇄한 시료를 사용하였다. 식이섬유 및 피틴산 함량 분석을 제외한 모든 실험은 각 시료와 에탄올(Sigma-Aldrich Co., St. Louis, MO, USA)을 1:10 비율로 상온에서 24시간 동안 3회 진탕 추출한 다음 여과하여 농축하였다. 농축 시료를 동결건조한 다음 dimethyl sulfoxide(Sigma-Aldrich)에 재용해해서 실험에 사용하였다.

식이섬유 함량 분석

식이섬유 분석은 분쇄한 시료에 MES/Tris buffer(MES 0.05 M과 Tris 0.05 M을 증류수 1 L에 용해하여 6 N NaOH로 pH 8.2 조정, Sigma-Aldrich)를 각 40 mL씩 넣고, α -amylase(Sigma-Aldrich) 50 μ L를 가해 98°C 항온수조(DS-23SN, Dasol Scientific, Hwaseong, Korea)에서 30

분 혼합하였다. 그 후 protease(Megazyme International Ltd., Wicklow, Ireland) 100 μ L를 넣고 60°C 항온수조에 30분 교반한 후 0.56 N HCl 5 mL를 가한 다음 amyloglucosidase(Sigma-Aldrich) 200 μ L를 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% 에탄올 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% Na_2CO_3 (Sigma-Aldrich) 용액 2 mL를 가한 후 3분 방치하여 50% Folin-Ciocalteu reagent(Sigma-Aldrich) 100 μ L를 가하였다. 실온에서 30분 방치 후 반응액의 흡광도 값을 750 nm에서 측정하였다. 표준물질로 gallic acid(Sigma-Aldrich)를 5, 10, 25 및 50배로 희석하여 사용하였으며, 검량선 작성 후 총 폴리페놀 함량은 mg/g extract로 나타내었다.

피틴산 함량

기장 품종별 피틴산 함량은 Megazyme사의 phytic acid (phytate)/total phosphorous assay kits를 사용하여 측정하였다. 시료 1 g을 0.66 M hydrochloric acid(Sigma-Aldrich) 20 mL에 넣어 실온에서 교반 후, 농축액 1 mL를 취해 13,000 rpm에서 10분간 원심분리한 다음 상등액을 0.5 mL 취해 0.75 M sodium hydroxide(Sigma-Aldrich) 0.5 mL를 가하여 중화시켜 추출물을 제조하였다. 그 후 튜브를 free phosphorus와 total phosphorus 측정용으로 나누어 Table 1에 나타낸 효소성 탈인산화반응을 거쳐 13,000 rpm에서 10분간 원심분리 후 상등액 1.00 mL를 취해 발색 시약 0.50 mL와 혼합 후 655 nm에서 흡광도를 측정하였다.

Table 1. Enzymatic dephosphorylation reaction method

	Free phosphorus	Total phosphorus
Distilled water	620 μ L	600 μ L
Buffer (25 mL, pH 5.5) and sodium azide (0.02% w/v)	200 μ L	200 μ L
Sample extract	50 μ L	50 μ L
Phytase suspension	—	20 μ L
Mix by vortex and incubate in a water bath set at 40°C for 10 min.		
Distilled water	20 μ L	—
Buffer (25 mL, pH 10.4), plus MgCl_2 , ZnSO_4 , and sodium azide (0.02% w/v)	200 μ L	200 μ L
Alkaline phosphatase suspension (1.2 mL)	—	20 μ L
Mix by vortex and incubate in a water bath set at 40°C for 10 min.		
Trichloroacetic acid (50% w/v)	300 μ L	300 μ L

피틴산 함량 측정을 위한 검량선은 phosphorus 농도에 따라 5개의 표준물질을 이용하였으며, 아래의 식을 통해 피틴산 함량을 산출하였다.

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

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

DPPH 및 ABTS 라디칼 소거 활성

기장 추출물에 대한 항산화 활성은 DPPH(1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl, Sigma-Aldrich) 및 ABTS(2,2'-azino-bis-3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid, Sigma-Aldrich) 라디칼 소거 활성을 측정하였다(Woo 등, 2015). DPPH 라디칼 소거 활성은 0.2 mM DPPH 용액(99.9% 에탄올에 용해) 200 µL에 시료 10 µL를 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 물 흡광계수($\epsilon = 3.6 \times 10^4 \text{ M}^{-1} \text{cm}^{-1}$)를 이용하여 에탄올로 희석하였다. 희석된 ABTS 용액 200 µL에 추출액 10 µL를 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, Sigma-Aldrich) 25 mL를 37°C에서 가온 후 40 mM hydrochloric acid(Sigma-Aldrich)로 용해한 10 mM 2,4,6-Tris(2-pyridyl)-s-triazine(Sigma-Aldrich) 2.5 mL와 20 mM iron(III) chloride($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, Sigma-Aldrich) 2.5 mL를 가하여 제조한 FRAP reagent 180 µL에 시료 30 µL와 증류수 90 µL를 넣은 후 37°C에서 10분간 반응시킨 다음 593 nm에서 흡광도를 측정하였다. 계산은 1,000 µM부터 반수희석으로 25 µM까지 6개 농도로 하여 FeSO_4 의 검량식에 대입해 환산하였다.

항당뇨 활성

기장 품종에 따른 항당뇨 활성을 검토하기 위해 α -glucosidase 저해 활성을 측정하였다(Tibbot와 Skadsen, 1996). α -Glucosidase(Sigma-Aldrich)와 *p*-nitrophenyl- α -D-glucopyranoside(*p*-NPG; Sigma-Aldrich)를 0.1 M sodium phosphate buffer(pH 7.0)로 용해하여 제조했으며, positive control로 acarbose(Sigma-Aldrich)를 사용하였다. 시료 10 µL에 0.5 unit/mL α -glucosidase 90 µL를 혼합하여 37°C에서 20분간 incubation 한 후 1 mM *p*-NPG

용액을 100 µL 가하여 405 nm에서 흡광도를 측정한 값을 토대로 저해율(%)을 계산하였다.

항고혈압 활성

기장 품종별 항고혈압 활성을 탐색하기 위해 ACE(angiotensin converting enzyme) 저해 활성을 Cushman과 Cheung(1971)의 방법으로 분석하였다. Hippuryl-L-Histidyl-L-Leusine(HHL, Sigma-Aldrich) 25 mg을 0.1 M sodium borate buffer(pH 8.3)에 용해하여 제조한 기질 30 µL에 시료 10 µL를 가하여 37°C에서 10분간 반응하였다. 그다음 시료 대조군에 1 N hydrochloric acid(Sigma-Aldrich) 50 µL를 첨가하여 반응을 종료시키고 시료 처리군에는 효소 ACE(0.5 unit/mL, Sigma-Aldrich) 10 µL를 첨가하여 37°C에서 30분간 반응한 다음 1 N HCl 50 µL를 첨가하여 반응을 종료하였다. 그 후 모든 처리군에 ethyl acetate(Sigma-Aldrich) 300 µL를 첨가한 다음 원심분리를 한 후 상층액 250 µL를 취해 70°C에서 1시간 동안 방치하였다. 그다음 증류수 300 µL를 첨가하여 교반한 후 228 nm에서 흡광도를 측정하였다. ACE 저해 활성 환산식은 다음과 같다.

ACE 저해 활성 =

$$\left(1 - \frac{\text{시료의 흡광도} - \text{시료 대조군의 흡광도}}{\text{공시험의 흡광도} - \text{공시험 대조군의 흡광도}}\right) \times 100$$

미백 활성

기장 추출물의 미백 활성을 검토하기 위해 분석한 tyrosinase 활성 저해 측정은 tyrosinase의 작용 결과 생성되는 dopachrome을 비색법(Flurkey, 1991)을 이용하여 분석하였다. Mushroom tyrosinase(100 unit/mL, Sigma-Aldrich)를 0.2 mL, 기질로서 DOPA(Sigma-Aldrich) 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 환산하였다.

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

식이섬유

식이섬유는 식물성 식품원료에 포함된 성분으로, 주로 난

Table 2. Dietary fiber contents of proso millet cultivars (%)

	Insoluble dietary fiber	Soluble dietary fiber	Total dietary fiber
Ebaekchal	4.24±0.17 ^c	1.00±0.16 ^a	5.24±0.32 ^b
Geumsilchal	5.08±0.12 ^{ab}	0.23±0.08 ^d	5.31±0.10 ^b
Hallachal	4.16±0.15 ^{cd}	0.65±0.04 ^b	4.80±0.10 ^b
Hwanggum	4.51±0.19 ^{bc}	0.29±0.02 ^{cd}	4.81±0.20 ^b
Hwangsirchal	3.50±0.58 ^d	0.09±0.02 ^e	3.59±0.57 ^c
Manhongchal	6.59±0.68 ^a	0.95±0.05 ^a	6.65±0.67 ^a
Ollechal	4.89±0.41 ^{bc}	0.38±0.01 ^c	5.27±0.41 ^b

Values are mean±SD of three replicates. Different small letters in the same items indicate a significant difference ($P<0.05$) among different cultivar.

소화성 탄수화물의 일종으로 고분자로 구성되었고 식물 세포벽이나 세포 간 결합물질로 존재한다.식이섬유가 풍부한 식단은 당뇨병, 관절염 등 만성 질환을 예방하고 변비 개선, 장 질환 발생 억제 등에 효과가 있어 세계적으로 식이섬유에 대한 중요성을 인식하고 이를 활용한 식단 및 소재 관련 연구가 꾸준히 진행되고 있다(Shin, 2019). 기장 품종별로 함유된 식이섬유를 분석하기 위해 불용성, 수용성 식이섬유를 통해 총 식이섬유 함량을 산출하였다(Table 2). 불용성 식이섬유의 경우 만홍찰이 6.59%로 가장 높았으며 금실찰, 올레찰, 황금, 이백찰, 한라찰, 황실찰 순으로 나타났다. 수용성 식이섬유는 이백찰이 1%로 다른 품종에 비해 높게 나타났다. 불용성 및 수용성 식이섬유 함량을 토대로 산출한 총 식이섬유 함량의 경우 만홍찰이 6.65%로 다른 품종에 비해 높은 함량을 보였으며 금실찰(5.31%), 올레찰(5.27%), 이백찰(5.24%), 황금(4.81%), 한라찰(4.80%), 황실찰(3.59%) 순으로 나타났다. 현재까지 국내에서 육성된 기장을 포함한 잡곡류의 품종별 식이섬유 함량을 발표한 결과는 전무한 상태로 기장을 이용한 식이섬유 관련 소재 개발을 위해 품종별 식이섬유 조성 분석이 지속적으로 필요하다고 판단된다. Chung(2010)은 찰기장의 식이섬유 함량이 13.47%였다고 보고하였는데, 본 연구에서 분석한 결과 함량 차이는 컸다. Chung(2010)의 연구에서 사용한 찰기장의 경우 기장의 원료정보(원산지, 품종명, 도정정보 등)가 명확하지 않아 정확한 재배환경에 대해 알 수는 없으나, 재배토양 및 배수방법에 따라 기장의 일반성분(지방, 단백질 등)과 무기성분 함량이 영향을 받았다는 연구결과(Jung 등, 2014)를 볼 때, 품종별 기장의 식이섬유 함량의 연차 간 분석을 통한 기초자료 확보가 더 필요하다고 판단된다.

총 폴리페놀 및 피틴산

기장의 품종별 기능성분 함량을 알아보기 위해 총 폴리페놀과 피틴산 함량을 분석하였다(Table 3). 기장 품종에 따른 추출물의 총 폴리페놀 함량은 황실찰이 7.67 mg/g extract로 가장 높은 반면 황금이 4.81 mg/g extract로 가장 낮은 것을 확인하였다. Shen 등(2018)의 보고에 따르면 중국에

Table 3. Total polyphenol and phytic acid contents of proso millet cultivars

	Total polyphenol (mg/g extract)	Phytic acid (g/100 g)
Ebaekchal	5.00±0.20 ^{de}	0.66±0.03 ^c
Geumsilchal	6.27±0.00 ^{bc}	0.95±0.04 ^b
Hallachal	6.05±0.08 ^c	0.53±0.03 ^d
Hwanggum	4.81±0.13 ^e	1.20±0.04 ^a
Hwangsirchal	7.67±0.08 ^a	0.57±0.03 ^d
Manhongchal	6.45±0.20 ^b	0.52±0.02 ^d
Ollechal	5.18±0.25 ^d	0.52±0.02 ^d

Values are mean±SD of three replicates. Different small letters in the same items indicate a significant difference ($P<0.05$) among different cultivar.

서 육성되고 있는 기장의 품종별 총 폴리페놀 함량이 9.28~19.05 mg gallic acid equivalents/g extract였다는 내용과 함량의 차이를 보였는데, 재배지역, 토양조건(Jung 등, 2014) 등 환경에 따른 차이라고 판단된다. 피틴산은 식물성 식품의 인 저장 수단으로 곡류, 두류 중에는 Ca 또는 Mg의 염인 피틴(phytin) 형태로 존재하며 종자의 발아 등 생리작용에 필요하다(Lee 등, 2013). 피틴산은 칼슘, 마그네슘 등의 2~3가 금속이온과 쉽게 결합하여 무기물의 체내흡수를 저해한다는 부정적인 보고도 있었으나, 자유라디칼 형성을 억제하여 산화 반응을 억제하고 대장암 억제 등의 항암 작용에도 긍정적인 효과가 있다는 연구결과들이 발표되어 기능성 소재로서 활용 가능성을 보여주는 주요 성분이라고 할 수 있다(Lee 등, 2021). 기장 품종별로 함유된 피틴산 함량을 분석한 결과 황금이 1.20 g/100 g으로 가장 높았고, 만홍찰과 올레찰이 0.52 g/100 g으로 다른 품종에 비해 낮았다. 분석 결과 기장의 피틴산 함량은 콩(2.07~3.02%)보다는 낮은 함량이었고 현미(7.39~10.87 mg/g)보다는 높은 함량을 보였다(Ryoo 등, 2004; Kim 등, 2018). 현재까지 국내산 기장에 함유된 피틴산 함량에 대한 분석결과는 전무한 상태로 기장의 품종별 유전적 특성 및 재배환경 등과 피틴산 함량을 모니터링하고, 장기적으로 기장에 함유한 피틴산의 산업적 소재로 활용할 수 있는 방안에 대한 연구가 꾸준히 지속되어야 한다고 판단된다.

항산화 활성

기장 품종별 추출물의 항산화 활성을 알아보기 위해 DPPH 및 ABTS 라디칼 소거능과 FRAP 값을 측정하였다(Table 4). DPPH 라디칼 소거능을 분석한 결과 황실찰(9.76 mg TE/g sample), 이백찰(9.62 mg TE/g sample), 황금(9.57 mg TE/g sample), 한라찰(9.49 mg TE/g sample) 품종이 다른 품종에 비해 높은 활성을 보였다. ABTS 라디칼 소거능의 경우 한라찰(13.39 mg TE/g sample), 황실찰(13.23 mg TE/g sample) 품종이 다른 품종에 비해 높은 활성을 보인 반면 올레찰(11.42 mg TE/g sample)은 가장 낮은 활성을 나타냈다. 천연물의 총 항산화력을 측정하는

Table 4. Antioxidant activities of proso millet cultivars

	Radical scavenging activities (mg TE/g sample)		FRAP (mM)
	DPPH	ABTS	
Ebaekchal	9.62±0.14 ^a	11.75±0.05 ^c	68.82±0.76 ^c
Geumsilchal	8.85±0.39 ^b	12.61±0.09 ^b	83.82±1.26 ^d
Hanllachal	9.49±0.52 ^a	13.39±0.12 ^a	87.65±1.32 ^c
Hwanggum	9.57±0.37 ^a	12.79±0.14 ^b	82.98±1.15 ^d
Hwangsirchal	9.76±0.10 ^a	13.23±0.14 ^a	89.98±0.29 ^b
Manhongchal	7.86±0.21 ^c	12.74±0.34 ^b	97.48±1.44 ^a
Ollechal	8.05±0.13 ^c	11.42±0.10 ^d	83.82±1.15 ^d

Values are mean±SD of three replicates. Different small letters in the same items indicate a significant difference ($P<0.05$) among different cultivar.

방법인 FRAP 값은 만홍찰이 97.48 mM로 가장 높았고 황실찰(89.98 mM), 한라찰(87.65 mM), 금실찰(83.82 mM), 올레찰(83.82 mM), 황금(82.98 mM), 이백찰(68.82 mM) 순으로 나타났다. 기장의 항산화 활성은 품종, 재배시기, 분쇄 방법 등 다양한 요인에 의해 활성의 차이를 보이는 것으로 알려지고 있다(Seo 등, 2011; Woo 등, 2012). 실험방법에 따라 항산화 활성이 높은 품종은 약간의 차이를 보였으나 황실찰 품종이 모든 실험에서 활성이 높은 경향을 보였다. 항산화 활성은 페놀류나 플라보노이드 물질에 기인하는 것으로 알려졌는데(Kang 등, 1996), 본 연구결과 역시 폴리페놀 함량은 황실찰이 다른 품종에 비해 높은 함량을 보여 이의 내용을 뒷받침하였다.

효소저해 활성

기장 품종별 효소저해 활성을 측정하기 위해 모든 시료를 5 mg/mL의 농도로 용해해서 실험에 사용하였다. 소장 용도 막에 존재하는 α -glucosidase는 이당류나 다당류를 작은 단당류로 분해한 후 당의 흡수가 이루어져 혈당 상승을 일으킨다(Mcdougall과 Stewart, 2005). 따라서 천연물의 항당뇨 활성 탐색을 위해 α -glucosidase 저해 활성이 선행되어야 한다. 기장 품종별 추출물의 α -glucosidase 저해 활성을 분석한 결과 이백찰, 황실찰, 만홍찰 품종이 95% 이상 높은 활성을 보인 반면 황금은 37.81%로 다른 품종에 비해 낮은 것을 확인하였다(Table 5). Lee 등(2020)은 수수, 기장, 팥 추출물이 간세포로 포도당 흡수를 증가시켜 당뇨병을 개선하는 데 영향을 줄 수 있다고 보고하였다. 이는 곡류에 함유된 ferulic acid가 glucokinase의 활성을 증가시켜 포도당 수치를 조절하고 췌장세포를 재생시키기 때문이라고 판단된다(Mandal 등, 2008).

ACE는 renin-angiotensin-aldosterone system의 중요한 효소물질로서 불활성형의 angiotensin- I 으로부터 C-terminal에 dipeptide인 His-Leu를 분리해 가수분해함으로써 강력한 혈관수축작용을 하는 angiotensin- II를 생성하는데, 혈압을 감소시키는 bradykinin을 불활성화시키는 효소로서 결국 본태성 고혈압의 원인이 되고 있다(Noh와

Table 5. Enzyme inhibition activities of proso millet cultivars (%)

	α -Glucosidase	Angiotensin converting enzyme	Tyrosinase
Ebaekchal	96.96±0.65 ^a	16.82±0.51 ^c	58.10±0.32 ^a
Geumsilchal	83.39±0.67 ^b	13.80±0.82 ^{cd}	50.24±0.45 ^c
Hanllachal	59.23±0.59 ^d	11.75±0.63 ^d	52.52±0.66 ^{bc}
Hwanggum	37.81±0.63 ^e	4.86±0.28 ^e	47.61±0.45 ^c
Hwangsirchal	96.82±0.59 ^a	21.72±0.18 ^b	48.59±0.37 ^c
Manhongchal	95.86±0.85 ^a	27.00±0.83 ^a	48.20±0.37 ^c
Ollechal	67.23±0.21 ^c	11.87±0.82 ^d	56.72±0.37 ^{ab}

Values are mean±SD of three replicates. Different small letters in the same items indicate a significant difference ($P<0.05$) among different cultivar.

Song, 2001). 따라서 천연 추출물의 ACE 저해 활성을 보이면 항고혈압 소재로서의 활용 가능성이 있다고 할 수 있다. 기장 품종별 추출물의 ACE 저해 활성을 분석한 결과 만홍찰이 27%로 가장 높은 활성을 보였고 황금은 4.86%로 가장 낮았다(Table 5). ACE 저해 활성은 본 연구에서 수행한 다른 효소저해 활성에 비해 가장 낮은 수치를 보였다. Yu 등(2020)은 조, 수수, 기장, 귀리, 검정콩, 팥의 ACE 저해 활성을 분석한 결과 수수가 51.32~65.07%로 타작목보다 높은 활성을 보였으며, 조와 기장도 귀리, 콩, 팥보다 높은 활성을 나타냈다고 보고하였다. 추후 기장을 이용한 항고혈압 소재 개발을 위해서는 ACE 저해 활성이 상대적으로 높은 만홍찰을 이용한 유전특성, 재배환경 및 기능성분 추출방법 등과 같이 다양한 방법을 통한 후속 검정이 필요하며, 본 분석결과를 기초로 하여 신제품 육성 및 이를 이용한 개발이 필요하다고 생각된다.

Tyrosinase는 melanin 생성과정에 관여하는 효소로 tyrosine을 기질로 하여 DOPA로 전환시키며 나아가 DOPA quinone으로 산화시키는 등의 효소 반응을 통하여 melanin을 생성한다(Song 등, 2017). 기장 품종별 추출물의 tyrosinase 저해 활성을 분석한 결과 올레찰이 56.72%로 다른 품종보다 높은 활성을 나타냈으며, 황금이 47.61%로 가장 낮은 활성을 보였다(Table 5). Huang 등(2018)의 보고에 따르면 대만산 기장의 tyrosinase 저해 활성의 IC₅₀ 값은 14.02 mg/mL였으며, 지표물질로 syringic acid, *p*-coumaric acid 및 ferulic acid로 확인하였다. 그러나 본 연구 수행 과정 중 페놀산 함량을 검토한 결과 tyrosinase 저해 활성이 가장 높았던 올레찰 품종이 페놀산 중 rutin hydrate가 113.91 µg/g sample로 다른 품종에 비해 높은 함량을 보였다(data not shown). 이는 품종, 도정 유무, 재배환경 및 추출용매 등에 따른 차이라고 판단된다(Woo 등, 2011). 기장 품종별 항당뇨, 항고혈압 및 미백 활성을 효소저해 활성 실험을 통해 분석한 결과 품종별로 활성이 높은 품종은 다르게 나타났는데, 보다 명확한 결과를 도출하기 위해 세포 및 동물을 이용한 항당뇨, 항고혈압, 미백 활성 검정의 추가 연구와 함께 각 활성의 지표물질 선정 등의 후속 연구가 필요

Table 6. Correlation coefficients among dietary fiber, total polyphenol, phytic acid contents, antioxidant and enzyme inhibition activities of proso millet cultivars

Factor	IDF	SDF	TDF	TPC	PA	DPPH	ABTS	FRAP	Glucosidase	ACE	Tyrosinase
IDF	1.000	0.449*	0.938**	-0.092	-0.071	-0.842**	-0.172	0.441*	0.149	0.385	-0.180
SDF	—	1.000	0.676**	-0.320	-0.386	-0.240	-0.241	-0.160	0.310	0.370	0.362
TDF	—	—	1.000	-0.315	-0.109	-0.757**	-0.317	0.183	0.149	0.298	0.061
TPC	—	—	—	1.000	-0.400	0.053	0.582**	0.605**	0.554**	0.662**	-0.414
PA	—	—	—	—	1.000	0.328	0.097	-0.272	-0.545*	-0.628**	-0.347
DPPH	—	—	—	—	—	1.000	0.369	-0.431	-0.149	-0.332	-0.012
ABTS	—	—	—	—	—	—	1.000	0.531*	-0.104	0.112	-0.687**
FRAP	—	—	—	—	—	—	—	1.000	0.035	0.426	-0.575**
Glucosidase	—	—	—	—	—	—	—	—	1.000	0.873**	0.136
ACE	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1.000	-0.124
Tyrosinase	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1.000

IDF, insoluble dietary fiber; SDF, soluble dietary fiber; TDF, total dietary fiber; TPC, total polyphenol; PA, phytic acid; DPPH, DPPH radical scavenging activity; ABTS, ABTS radical scavenging activity; FRAP, ferric-reducing antioxidant power; Glucosidase, α -glucosidase inhibition activity; ACE, angiotensin converting enzyme inhibition activity; Tyrosinase, tyrosinase inhibition activity. Significant at * $P<0.05$, ** $P<0.01$.

하다고 판단된다.

상관관계 분석

품종에 따른 기장의 식이섬유, 총 폴리페놀, 피틴산, 항산화 활성 및 효소저해 활성 간의 상관관계를 분석하였다(Table 6). 불용성(0.938, $P<0.01$) 및 수용성(0.676, $P<0.01$) 식이섬유 함량은 총 식이섬유 함량과 각각 정의 상관관계를 보였다. 불용성(-0.842, $P<0.01$) 및 총 식이섬유(-0.757, $P<0.01$) 함량은 DPPH 라디칼 소거능과 부의 상관관계를 나타냈고, 총 폴리페놀 함량은 ABTS 라디칼 소거능과 정의 상관을 보였다(0.582, $P<0.01$). FRAP는 총 폴리페놀 함량(0.605, $P<0.01$) 및 ABTS 라디칼 소거능(0.531, $P<0.05$)과 정의 상관을 보였다. α -Glucosidase 저해 활성은 총 폴리페놀 함량의 정의 상관(0.554, $P<0.01$)을 보인 반면, 피틴산 함량과는 부의 상관(-0.545, $P<0.05$)을 나타냈다. ACE 저해 활성의 경우 총 폴리페놀 함량(0.662, $P<0.01$)과 α -glucosidase 저해 활성(0.873, $P<0.01$)과 정의 상관관계를 보였으나, 피틴산 함량(-0.628, $P<0.01$)과는 부의 상관관계를 보였다. Tyrosinase 저해 활성의 경우 항산화 활성 중 ABTS 라디칼 소거능(-0.687, $P<0.01$) 및 FRAP(-0.575, $P<0.01$)와 부의 상관을 보였다. 항산화 활성의 경우 천연물에 포함되어 있는 페놀 관련 성분에 기인한다는 연구결과(Choi 등, 2007)는 본 결과를 뒷받침하였다. 또한, 페놀 함량은 α -glucosidase 및 ACE 저해 활성에 기여하는 것으로 나타나 추후 기장의 항산화, α -glucosidase 및 ACE 저해 활성이 폴리페놀류 성분(갈릭산, 퀘르틴 등)과의 상관성 분석 등 후속 연구가 필요하다고 생각된다.

이상의 결과를 종합했을 때, 국내에서 육성된 기장 품종 만홍찰, 황실찰, 금실찰은 기능성분 및 생리활성이 높은 경향을 보여 기능성 식품 및 공중보건산업 소재로 개발하기 위한 기초자료로 활용이 가능할 것으로 판단된다. 향후 품종별 연차 간 변이분석을 통한 추가 기초자료 확보가 필요하다

고 판단되며 각 품종에 대한 기능성분과 메커니즘 구명에 대한 연구가 지속해서 필요할 것으로 생각된다.

요 약

본 연구에서는 국내산 기장의 식품 및 화장품 소재로서의 이용 다양화를 위한 기초자료를 확보하고자 기장 품종에 따른 기능성분을 분석하고, 기장을 에탄올로 추출한 후 생리활성을 비교하였다. 기장의 총 식이섬유 함량 분석결과 만홍찰이 6.65%로 다른 품종에 비해 높은 함량을 보였다. 기장 품종별 총 폴리페놀 함량의 경우 황실찰 품종이 7.67 mg/g extract로 다른 품종에 비해 높았으며, 피틴산 함량은 황금이 1.20 g/100 g으로 가장 높았다. DPPH 라디칼 소거능을 분석한 결과 황실찰, 이백찰, 황금, 한라찰 품종이 다른 품종에 비해 높은 활성을 보였다. ABTS 라디칼 소거능의 경우 한라찰, 황실찰이 다른 품종에 비해 높은 활성을 보였으며, FRAP 값은 만홍찰이 97.48 mM로 가장 높았다. α -Glucosidase 저해 활성을 분석한 결과 이백찰, 황실찰, 만홍찰 품종이 95% 이상 높은 활성을 나타냈다. 기장 품종별 추출물의 ACE 저해 활성을 분석한 결과 만홍찰이 27%로 가장 높은 활성을 보였고, tyrosinase 저해 활성을 분석한 결과 울레찰이 56.72%로 다른 품종에 비해 높은 활성을 나타냈다. 이상의 결과를 종합해볼 때 황실찰, 만홍찰, 울레찰이 식품 및 화장품 소재로서의 활용성이 높을 것으로 판단된다. 아울러 본 연구결과는 기장을 식품 및 공중보건산업 소재로 활용하기 위한 기초자료로 활용이 가능할 것으로 생각되며 추후 활용 목적에 따라 황실찰, 만홍찰 및 금실찰 품종의 기능성분과 메커니즘 구명에 대한 연구가 추가로 요구된다.

감사의 글

본 논문은 농촌진흥청 AGENDA 연구사업(과제번호: PJ01

415002)의 지원에 의해 이루어진 것임.

REFERENCES

- 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.
- Choi JM, Kwak DY, Choe ME, Song SB, Park CH, Ko JY. Nutritional compositions of varieties of foxtail millet and proso millet developed in Korea. *Korean J Crop Sci*. 2019. 64: 137-143.
- Choi Y, Jeong HS, Lee J. Antioxidant activity of methanolic extracts from some grains consumed in Korea. *Food Chem*. 2007. 103:130-138.
- Chung KM. Physicochemical properties of millet starch varieties. *Korean J Food Sci Technol*. 2010. 42:115-118.
- Cushman DW, Cheung HS. Spectrophotometric assay and properties of the angiotensin-converting enzyme of rabbit lung. *Biochem Pharmacol*. 1971. 20:1637-1647.
- Dewanto V, Wu X, Liu RH. Processed sweet corn has higher antioxidant activity. *J Agric Food Chem*. 2002. 50:4959-4964.
- Flurkey WH. Identification of tyrosinase in mushrooms by isoelectric focusing. *J Food Sci*. 1991. 56:93-95.
- Ha YD, Lee SP. Characteristic of proteins in Italian millet, sorghum and common millet. *Korean J Postharvest Sci Technol*. 2001. 8:187-192.
- 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, Ko JY, Lee JS, Jeong MS, Oh IS, Woo KS. Effects of the drainage methods on phenolic compounds and radical scavenging activity of foxtail millet and proso millet. *Korean J Crop Sci*. 2014. 59:282-292.
- 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 HJ, Lee JH, Lee BW, Lee YY, Lee BK, Woo KS. Antioxidant compounds and antioxidant activities of ethanolic extracts from brown rice cultivars. *Korean J Food Nutr*. 2018. 31:949-956.
- Kim JH, Cho HD, Hong SM, Lee JH, Lee YS, Kim DH, et al. Antioxidant and antiproliferating effects of *Setaria italica*, *Panicum miliaceum* and *Sorghum bicolor* extracts on prostate cancer cell lines. *Korean J Food Preserv*. 2016. 23:1033-1041.
- 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 MJ, Lee KH, Ko JY, Kim HJ, Lee SK, Park HY, et al. Effect of cooking methods on cooked and antioxidant characteristics of cooked mixed grain rice with added proso millet. *Korean J Food Nutr*. 2017. 30:218-225.
- 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 S, Lee YB, Kim HS. Analysis of the general and functional components of various soybeans. *J Korean Soc Food Sci Nutr*. 2013. 42:1255-1262.
- Mandal S, Barik B, Mallick C, De D, Ghosh D. Therapeutic effect of ferulic acid, an ethereal fraction of ethanolic extract 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>
- Mcdougall GJ, Stewart D. The inhibitory effects of berry polyphenols on digestive enzymes. *BioFactors*. 2005. 23:189-195.
- Noh H, Song KB. Isolation of an angiotensin converting enzyme inhibitor from *Oenanthе javanica*. *Agric Chem Biotechnol*. 2001. 44:98-99.
- Park JS, Lee JS, Lee JH. Antioxidative and antimutagenic effects of *Panicum miliaceum* L.. *Korean J Food Preserv*. 2020. 27:261-269.
- Ryoo SH, Kim SR, Kim KT, Kim SS. Isoflavone, phytic acid and oligosaccharide contents of domestic and imported soybean cultivars in Korea. *Korean J Food Nutr*. 2004. 17:229-235.
- Saleh ASM, Zhang Q, Chen J, Shen Q. Millet grains: nutritional quality, processing, and potential health benefits. *Compr Rev Food Sci Food Safety*. 2013. 12:281-295.
- 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.
- Shen R, Ma Y, Jiang L, Dong J, Zhu Y, Ren G. Chemical composition, antioxidant, and antiproliferative activities of nine Chinese proso millet varieties. *Food Agric Immunol*. 2018. 29:625-637.
- Shin DH. General concept of dietary fiber and its functionality. *Food Science and Industry*. 2019. 52:84-99.
- Song HS, Moon HJ, Park BE, Choi BS, Lee DJ, Lee JY, et al. Antioxidant activity and whitening activity of bamboo extracts. *Yakhak Hoeji*. 2017. 51:500-507.
- 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.
- Woo KS, Lee JS, Kang JR, Ko JY, Song SB, Oh BG, et al. Effects of cultivated area on antioxidant compounds and antioxidant activities of sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench). *J Korean Soc Food Sci Nutr*. 2011. 40:1512-1517.
- 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.
- Yu M, Kim HJ, Yu J, Lee H, Sung J, Jeong HS, et al. Comparison of antioxidant anti-hypertensive activities of ethanol extracts from cereal grains and legumes. *J Korean Soc Food Sci Nutr*. 2020. 49:1069-1076.