



Research Article

# Quality and antioxidant activity of a grain drink with lactic acid bacteria-fermented purple sweet potato powder

## 자색고구마 유산균 발효 분말을 첨가한 곡물 음료의 품질 및 항산화 활성

So-Yeon Lee<sup>1,2\*</sup>, Jong-Kug Lee<sup>1</sup>, Yun-Jeong Jo<sup>1</sup>, Chong-Tea Chung<sup>1</sup>, Jun-Soo Lee<sup>2</sup>

이소연<sup>1,2\*</sup> · 이종국<sup>1</sup> · 조윤정<sup>1</sup> · 정종태<sup>1</sup> · 이준수<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Agri-Food Resources Team, Chungcheongnam-do Agricultural Research and Extension Services, Yesan 32418, Korea

<sup>2</sup>Department of Food Science and Biotechnology, Chungbuk National University, Cheongju 28644, Korea

<sup>1</sup>충청남도농업기술원 농식품자원팀, <sup>2</sup>충북대학교 식품생명공학과

**Abstract** This study aimed to evaluate the functional properties of grain drinks by adding purple sweet potato fermented powder at varying levels. Specifically, the sweet potato was fermented using *Leuconostoc inhae* and *Weissella koreensis*, and grain drinks containing 0% (control), 10% (G1), 20% (G2), 30% (G3), and 40% (G4) of the resulting fermented powders were prepared. As the amount of fermented powder increased, the moisture, fat, and protein contents of the products decreased, while carbohydrate content increased. Antioxidant activity, assessed by DPPH radical scavenging activity and total flavonoid content, improved with higher levels of fermented powder, with *L. inhae* treatments showing higher values than those of *W. koreensis*. Total polyphenol content showed a similar trend, but *W. koreensis*-treated samples had higher values than those with *L. inhae*. Tannin content followed a pattern similar to that of polyphenol content. These findings suggest that sweet potato fermented powder enhances the antioxidant properties of grain drink, with functional differences depending on the type of microbial strain used.

**Keywords** sweet potato, lactobacillus fermentation powder, grain drink, purple sweet potato

OPEN ACCESS

**Citation:** Lee SY, Lee JK, Jo YJ, Chung CT, Lee JS. Quality and antioxidant activity of a grain drink with lactic acid bacteria-fermented purple sweet potato powder. Food Sci. Preserv., 33(2), 265-273 (2026)

**Received:** August 08, 2025  
**Revised:** October 21, 2025  
**Accepted:** October 25, 2025

**\*Corresponding author**  
So-Yeon Lee  
Tel: +82-41-635-6110  
E-mail: sjs6628@korea.kr

Copyright © 2026 The Korean Society of Food Preservation. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://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.

## 1. 서론

최근 웰빙에 대한 관심이 증가함에 따라 건강 기능성이 뛰어난 식품에 대한 소비자의 수요가 꾸준히 증가하고 있다. 특히 바쁜 현대인의 식생활을 고려할 때 간편하면서도 영양을 균형 있게 섭취할 수 있는 곡물 음료(膳食) 제품은 식품 시장에서 주목받는 분야 중 하나이다. 곡물 음료는 곡류, 두류, 견과류, 채소류 등의 다양한 원료를 곱게 분쇄하여 분말 형태로 만든 것으로, 물이나 우유 등에 타서 간편하게 섭취할 수 있어 건강 지향 소비자들에게 적합하다(Kim 등, 2015).

자색고구마(*Ipomoea batatas*)는 전분, 식이섬유, 비타민, 미네랄뿐만 아니라 안토시아닌과 폴리페놀 등 다양한 생리활성 물질을 함유하고 있음을 확인하였다(Lee 등, 2012). 이러한 기능성 성분을 더욱 효과적으로 활용하기 위한 방법으로 유산균을 이용한 발효 기술이 주목받고 있으며, 발효 과정은 식품의 물리적·화학적 특성을 변화시켜 영양소의 생체이용률을 높이고 항산화 활성 등 기능성 향상에도 기여한다(Jung 등, 2010). *Leuconostoc* 속과 *Weissella* 속의 유산균은 다양한 발효 식품에서 뛰어난 프로바이오틱 특성과 유용한 대사산물을 생성하는 능력을 가지고 있어 기능성 증진에 효과적인 것으로 알려져 있다(Lopez 등, 2022).

최근 연구에 따르면, 유산균으로 발효한 고구마는 유기산 생성 및 향미 개선 효과와 함께 항산화 활성이 증가하는 것으로 나타났으며, 이를 활용한 요거트 제품 또한 항산화력 및 품질 특성 향상에 긍정적인 영향을 준다고 보고되었다(Hwang과 Jung, 2024). 또한 *Lactobacillus*로 발효한 포도 착즙액 역시 항산화 활성 측면에서 우수한 성능을 보였으며, 이는 과일류 및 곡류 발효식품 개발에 있어 유산균 활용의 가능성을 보여준다(Kim 등, 2023). 이와 유사하게, 청국장 발효물을 활용한 단백질 웨이크 연구에서는 발효 과정이 항산화 활성뿐 아니라 이화학적 품질에도 긍정적인 영향을 미치는 것으로 나타났다(Kim 등, 2021).

본 연구의 목적은 자색 고구마 유산균 발효 분말을 곡물 음료 제조에 적용하여 첨가량에 따른 제품의 특성 및 항산화 활성 변화를 분석하고, 이를 통해 건강 지향 소비자를 위한 기능성 식품 개발의 기초 자료를 제공하는 데 있다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 실험 재료

본 실험에서 사용한 자색고구마는 상월고구마두레영농조합법인(Sangwol Sweet Potato Dure Agricultural Cooperative Corporation, Nonsan, Korea)을 통해 구매하여 분말화 하였고, 미숫가루(Sungjin Food, Gwangju, Korea), 귀리분말(Sunsudam, Buan, Korea), 검정콩분말(Morning Farm, Iksan, Korea), 설탕(Cj Cheiljedang, Seoul, Korea), 사과분말(Gapdang Yakcho, Seoul, Korea), 단호박분말(Wooriga, Yangju, Korea), 우유(Seoul Milk, Seoul, Korea)는 시중에서 구매하여 사용하였다. 실험에 사용한 시약은 2,2'-Azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid), Potassium persulfate, Gallic acid, Rutin, Dimethyl sulfoxide 등으로 Sigma-Aldrich Co. (St. Louis, MO, USA), Samchun Chemical Co. (Seoul, Korea)에서 구입한 제품을 사용하였다.

실험에 사용된 배지는 증류수와 혼합하여 제조하였으며, 액체배지는 증류수 400 mL에 MRS broth (Difco Co., Detroit, MI, USA) 22 g을 첨가하고, 고체배지는 증류수 250 mL에 MRS agar (Difco Co.) 17.5 g을 첨가하여 제조하였다. 그 후 각각 121°C에서 15분간 오토클레이브(HB-506, Hanback scientific Co, Bucheon, Korea)로 멸균하였으며 멸균된 고체배지는 5개씩 호일로 포장하여 뒤집은 상태로 4°C 냉장보관하며 7일 이내에 사용하였다. 실험에 사용된 팔콘튜브 및 기타 용기 역시 멸균 과정을 거쳐 사용하였다.

### 2.2. 유산균 발효 고구마 분말 제조

자색 고구마는 세척 및 껍질 탈피 후 0.2 mm 두께로 절단하

여 열풍 건조기(GT1200, Korean Technology, Jincheon, Korea)에서 12시간 건조하였다. 이후 200°C에서 20분간 볶음 처리한 후, 80 mesh 크기의 핀밀을 사용하여 시료를 분쇄하고 고운 분말로 제조하였다.

발효에 사용된 유산균은 농촌진흥청 국립농업과학원(National Institute of Agricultural Sciences, RDA, Wanju, Jeollabuk-do, Korea)으로부터 분양받은 동결건조 앰플 상태의 *Leuconostoc inhae*와 *Weissella koreensis* 두 종의 김치 유산균이다. 각각의 균주는 MRS Agar (Difco Co.) 배지에 접종한 후 25°C와 30°C에서 3일간 배양하여 재생하였다. 배양된 균은 백금이(Loop & Needle, SPL Life Sciences, Pocheon, Korea)로 단일 집락을 채취하여 MRS Broth (Difco Co.) 배지에 1차 접종하였고, 30°C에서 24시간 배양하였다. 이후 1차 배양액을 MRS Broth에 1% 접종하여 2차 배양을 실시하였으며, 30°C에서 24시간 동안 배양하였다. 1% 유산균 접종액은 2회 위상을 진행하고 최종적으로 우유에 2% 접종하여 30°C에서 48시간 발효시켰다. 그 후 자색 고구마 분말 500 g에 *L. inhae*와 *W. koreensis*가 접종된 우유 600 mL를 첨가하여 균일하게 반죽하였다. *L. inhae*가 접종된 시료는 25°C에서, *W. koreensis*가 접종된 시료는 30°C에서 각각 24시간, 48시간, 72시간 동안 발효시켰다. 발효가 완료된 반죽은 50°C의 열풍 건조기(GT1200, Korean Technology)에서 얇게 펼쳐 4시간 건조한 후, 믹서기(GM3900P, Goldmill Co., Daegu, Korea)를 이용하여 분말화하였고, 예비 실험을 통해 풍미와 발효 정도가 적절하다고 판단된 72시간 발효 *L. inhae*와 48시간 발효 *W. koreensis*를 이용하여 곡물 음료를 제조하였다.

### 2.3. 유산균 발효 고구마 분말을 이용한 곡물 음료의 제조

곡물 음료의 제조 배합비는 Table 1에 제시하였다. 곡물 음료의 배합비를 선정하기 위해 예비실험을 실시하였으며, 유산균 발효 고구마 분말의 첨가량에 따라 0% (Con), 10% (G1), 20% (G2), 30% (G3), 40% (G4)로 설정하였다. 유산균 발효 고구마 분말, 미숫가루, 귀리분말, 검정콩분말, 사과분말, 단호박분말, 설탕을 균일하게 혼합하여 자색고구마 유산균 발효 분말이 첨가된 곡물 음료 분말을 제조하였다. 사용된 미숫가루는 시판 제품으로 원재료는 보리, 밀, 백태, 옥수수 등으로 구성되어 있으나 제조사에서 구체적인 혼합 비율은 공개하지 않았다. 제조된 분말은 25 g씩 계량한 후 우유 200 mL에 혼합하여 최종 곡물 음료를 제조하고 시료로 사용하였다.

### 2.4. 일반성분 측정

일반성분 분석은 AOAC International의 Official Methods of Analysis (1996)에 따라 수행하였다. 수분 함량은 105°C 상압가열건조법, 조지방은 Soxhlet 추출법(Soxtex system HT

**Table 1.** Formulation of a grain drink supplement containing lactic acid bacteria-fermented purple sweet potato powder

	Con <sup>1)</sup>	G1	G2	G3	G4
Lab-fermented purple sweet potato powder (g)	0	2.5	5	7.5	10
Roasted grain powder (g)	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
Oat powder (g)	5.0	3.75	2.5	1.25	0
Black soybean powder (g)	5.0	3.75	2.5	1.25	0
Apple powder (g)	8.05	8.05	8.05	8.05	8.05
Pumpkin powder (g)	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
Sugar (g)	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95
Total amount (g)	25	25	25	25	25
Milk (mL)	200	200	200	200	200

<sup>1)</sup>Con, grain drink with 0% lactic acid bacteria-fermented purple sweet potato powder; G1, grain drink with 10% lactic acid bacteria-fermented purple sweet potato powder; G2, grain drink with 20% lactic acid bacteria-fermented purple sweet potato powder; G3, grain drink with 30% lactic acid bacteria-fermented purple sweet potato powder; G4, grain drink with 40% lactic acid bacteria-fermented purple sweet potato powder.

1043 Extraction Unit, Foss Tecator, Hoganas, Skane, Sweden), 조회분은 550°C 건식회화법(Select-Horn-TFT, J.P. Selecta, Abrera, Barcelona, Spain), 조단백질은 Dumas 연소법(Vario Max C/N, Elementar Co., Langenselbold, Hesse, Germany)으로 분석하였으며 탄수화물 함량은 수분, 조단백질, 조지방, 조회분 값을 100에서 차감하여 산출하였다.

## 2.5. 색도 및 당도 측정

자색고구마 유산균 발효 분말이 첨가된 곡물 음료의 색도는 색차계(Colorimeter, CR-400, Minolta, Osaka, Japan)를 사용하여 측정하였다. 시료는 고체 분말 상태 그대로 측정하였으며 색차계의 분말 시료 전용 샘플링 접시(petri dish)에 고르게 퍼서 담은 후, 시료 표면이 고르고 평평하도록 정리하여 측정하였다. 측정 전 백색 표준판(white calibration plate)을 이용해 보정하였으며 명도(lightness, L\*), 적색도(redness, a\*), 황색도(yellowness, b\*) 값을 측정하였고 사용한 standard white surface는 L\*=90.13, a\*=0.83, b\*=4.12였다. 각 시료에 대해 3회 반복 측정하여 평균값을 산출하였다.

당도는 디지털 당도계(PAL-1, ATAGO Co., Bellevue, WA, USA)를 사용하여 측정하였다. 곡물 음료 분말 25 g을 우유 200 mL에 혼합한 후, 각 시료에 대해 3회 반복 측정하여 평균값을 산출하였다.

## 2.6. 항산화 활성 및 기능 성분 분석

### 2.6.1. 시료 추출물 제조

자색고구마 유산균 발효 분말을 첨가한 곡물 음료의 성분 분석을 위해 각 비율별로 제조된 곡물 음료 시료 10 g에 증류수

를 90 mL 가하여 2시간 동안 125 rpm으로 shaking incubator (HB-201SF, Hanbaek Scientific Co., Bucheon, Korea)에서 진탕 추출하였다. 그 후 8,000 ×g에서 20분 원심분리(Supra 22K, Hanil, Gimpo, Korea)하고 샘플채취 백(19×30 cm, Neogen, Seoul, Korea)을 이용하여 여과한 뒤 분석에 사용하였다.

### 2.6.2. ABTS radical 소거능 측정

ABTS 라디칼 소거능은 Van den Berg 등(1999)의 방법을 일부 변형하여 측정하였다. 7.4 mM ABTS (2,2-azino-bis-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) 용액과 2.6 mM potassium persulfate 용액에 증류수 200 mL를 가하여 하룻밤 냉장소에 방치 후 735 nm에서 흡광도 1.5-1.6 농도로 희석하여 사용하였으며, 시료 50 μL에 희석된 ABTS 용액 1 mL를 혼합하여 실온에서 30분 방치 후 UV Spectrophotometer (Thermo Fisher Scientific, Waltham, MA, USA)를 이용하여 735 nm에서 흡광도를 측정하였다. 그 후 아래의 계산식을 통해 값을 계산하였다.

ABTS radical scavenging activity (%) =

$$\left[ 1 - \left( \frac{\text{Absorbance of sample at 735 nm}}{\text{Absorbance of blank at 735 nm}} \right) \right] \times 100$$

### 2.6.3. DPPH radical 소거능 측정

DPPH 라디칼 소거능은 Hatano 등(1989)의 방법을 참고하여 측정하였다. 0.4 mM DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) 용액을 80% ethanol로 제조하여 525 nm에서 흡광도 1.5-1.6 농도로 희석하여 사용하였으며, 시료 200 μL에 희석된 DPPH 용액 800 μL를 혼합, vortexing한 후 10,000 ×g에서 3분 원심분리

하여 반응하지 않는 불용성 물질을 침전시키고 실온에서 30분 방치 및 UV Spectrophotometer (Thermo Fisher Scientific)를 이용하여 525 nm에서 흡광도를 측정하였다. 그 후 아래의 계산식을 통해 값을 계산하였다.

$$\text{DPPH radical scavenging activity (\%)} = \left[ 1 - \left( \frac{\text{Absorbance of sample at 525 nm}}{\text{Absorbance of blank at 525 nm}} \right) \right] \times 100$$

#### 2.6.4. 총폴리페놀 화합물 함량 측정

총폴리페놀 함량은 Singleton 등(1965)이 제안한 Folin-Denis 법을 일부 변형하여 측정하였다. 시료 50  $\mu\text{L}$ 에 2%  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  용액 1 mL를 첨가한 후 실온에서 3분간 반응시켰고, 이어서 0.5 M Folin-Ciocalteu 시약 50  $\mu\text{L}$ 를 첨가하여 실온에서 30분간 반응시켰다. 반응이 완료된 시료는 UV Spectrophotometer (Thermo Fisher Scientific)를 이용하여 750 nm에서 흡광도를 측정하였으며 표준물질로는 gallic acid를 사용하여 0.1-0.5 mg/mL 농도의 검량곡선을 얻은 후 이를 이용하여 곡물 음료의 총폴리페놀 함량을 mg gallic acid equivalent (GAE)/100 mL로 나타내었다.

#### 2.6.5. 총플라보노이드 화합물 함량 측정

총플라보노이드 함량은 Mau 등(2002)의 colorimetric method에 따라 측정하였다. 시료 추출물 200  $\mu\text{L}$ 에 1 N NaOH 600  $\mu\text{L}$  및 diethylene glycol 4 mL를 첨가한 후, vortex로 충분히 혼합하였다. 이후 혼합 용액을 37°C 항온수조에서 1시간 반응시킨 후, UV Spectrophotometer (Thermo Fisher Scientific)를 이용하여 420 nm에서 흡광도를 측정하였다. 표준물질로는 rutin을 사용하였으며, dimethyl sulfoxide (DMSO)에 녹여 0.2-1.0 mg/mL 농도로 검량곡선을 얻은 후 이를 이용하여 곡물 음료의 총플라보노이드 함량을 mg rutin equivalent (RE)/100 mL로 나타내었다.

#### 2.6.6. 총탄닌 함량 측정

총탄닌 함량은 Singleton 등(1965)이 제안한 Broadhurst 등의 방법에 의해 측정하였다. 추출물 1 mL에 증류수 1 mL와 95% ethanol 용액 1 mL를 넣고 vortexing하여 5%  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  용액 1 mL와 50% Folin 용액 0.5 mL를 가하고 1시간 방치한 다음, UV Spectrophotometer (Thermo Fisher Scientific)를 이용하여 725 nm에서 흡광도를 측정하였으며, 표준물질은 tannic acid를 0-200 ppm의 농도로 검량곡선을 작성하였고 총탄닌 함량은 tannic acid equivalent (TAE)로 환산하여 mg/100 mL 단위로 나타내었다.

### 2.7. 통계 처리

모든 실험은 3회 반복하여 수행하였으며, 실험 결과에 대한 통계처리는 SPSS Statistics 프로그램(Ver 17.0, IBM Corp., Armonk, NY, USA)을 이용하여 분석하였다. 평균 간의 유의성 검정은 Duncan의 다중범위검정(Duncan's multiple range test)을 통해 수행하였으며,  $p < 0.05$  수준에서 시료 간의 통계적 유의성을 판별하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 일반성분

곡물 음료 분말을 Table 1과 같이 제조한 후 일반성분(수분, 조단백질, 조지방, 조회분, 탄수화물)을 분석하여 그 결과를 Table 2에 나타내었다. 발효 자색고구마 분말의 첨가 비율이 증가함에 따라 수분, 조지방, 조단백질 함량은 유의적으로 감소하였고( $p < 0.05$ ), 반대로 조회분과 탄수화물 함량은 유의적으로 증가하는 경향을 보였다( $p < 0.05$ ). 수분, 조단백질, 조지방 함량은 첨가량이 많아질수록 지속적으로 감소하였는데 이는 발효 자색 고구마 분말 함량이 높아지며 단백질 및 지방 함량이 기본 곡물 음료 재료보다 낮아지고, 상대적으로 귀리 분말과 검정콩 분말의 함량이 감소하기 때문으로 해석된다. 특히 단백질 함량은 *L. inhae* 및 *W. koreensis* 처리군 모두에서 0% 대비 40% 첨가 시 약 절반 이하로 감소하였고, 조지방 역시 최대 60% 이상 감소하였다. 이러한 결과는 고단백, 고지방 중심의 기존 곡물 음료 조성에 자색고구마 분말을 첨가할 경우 영양소 구성에 뚜렷한 변화가 생길 수 있음을 시사한다. 수분함량의 감소는 고형분 첨가에 따른 상대적 수분 비율 감소와 발효 과정 중 수분 증발 및 흡습 특성 변화에 의한 영향도 반영된 것으로 보인다. 한편, 조회분과 탄수화물 함량은 첨가량이 증가할수록 유의적으로 증가하였다( $p < 0.05$ ). 이는 자색고구마 발효 분말이 비교적 높은 무기질과 전분을 함유하고 있기 때문이며, 특히 탄수화물은 첨가 비율에 정비례하여 증가하였다. 이러한 결과는 고구마 분말을 첨가한 식품에서 탄수화물 및 회분 함량이 유의적으로 증가하였다고 보고와도 일치한다(Kim 등, 2018). 따라서 발효 자색 고구마 분말 첨가는 곡물 음료의 단백질 및 지질 함량을 감소시키는 반면 탄수화물과 무기질 성분은 강화시키는 경향을 보이며 이러한 조성 변화는 제품의 영양학적 특성과 기능성 식품으로서의 활용 가능성에 영향을 미칠 수 있다. *L. inhae* 및 *W. koreensis* 유산균으로 발효한 자색고구마 분말을 각각 0, 10, 20, 30, 40% 첨가하여 제조한 곡물 음료의 사진은 Fig. 1에 제시하였다.

### 3.2. 색도 및 당도

*L. inhae* 및 *W. koreensis* 유산균으로 발효한 자색고구마 분

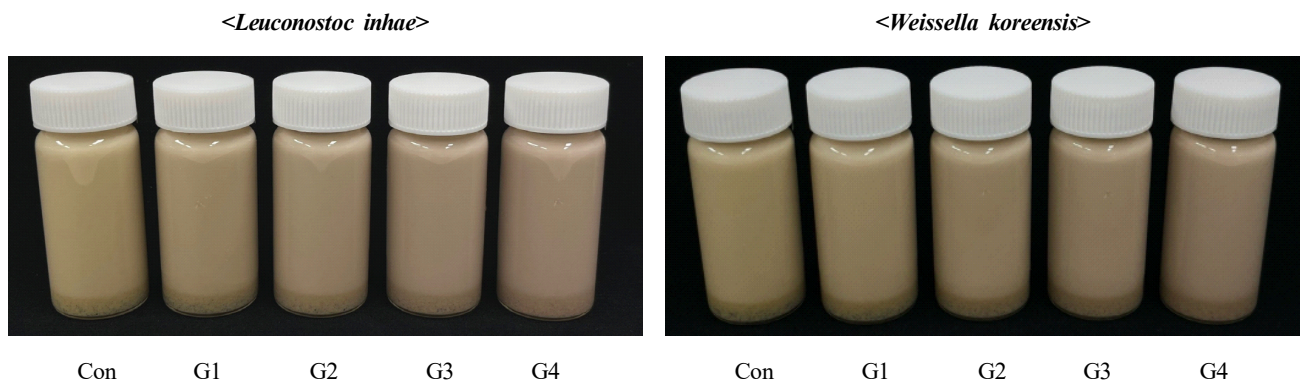
**Table 2.** Proximate composition (%) of grain drink powders prepared with purple sweet potato powder fermented by *Leuconostoc inhae* and *Weissella koreensis*

		Moisture	Crude protein	Crude lipid	Crude ash	Carbohydrate
<i>Leuconostoc inhae</i>	Con <sup>1)</sup>	6.33±0.08 <sup>2)a3)</sup>	15.44±0.13 <sup>a</sup>	6.34±0.32 <sup>a</sup>	2.13±0.00 <sup>d</sup>	69.75±0.36 <sup>c</sup>
	G1	6.34±0.01 <sup>a</sup>	13.40±0.23 <sup>b</sup>	5.51±0.06 <sup>b</sup>	2.14±0.00 <sup>cd</sup>	72.61±0.17 <sup>d</sup>
	G2	6.30±0.04 <sup>a</sup>	11.46±0.19 <sup>c</sup>	4.52±0.05 <sup>c</sup>	2.15±0.01 <sup>c</sup>	75.58±0.12 <sup>c</sup>
	G3	6.25±0.04 <sup>a</sup>	9.36±0.07 <sup>d</sup>	3.48±0.04 <sup>d</sup>	2.16±0.00 <sup>b</sup>	78.75±0.10 <sup>b</sup>
	G4	6.06±0.05 <sup>b</sup>	7.52±0.28 <sup>c</sup>	2.47±0.07 <sup>c</sup>	2.20±0.01 <sup>a</sup>	81.76±0.37 <sup>a</sup>
<i>Weissella koreensis</i>	Con	6.03±0.03 <sup>ab</sup>	15.51±0.28 <sup>a</sup>	6.27±0.40 <sup>a</sup>	2.07±0.01 <sup>c</sup>	70.13±0.69 <sup>c</sup>
	G1	6.08±0.03 <sup>a</sup>	13.29±0.10 <sup>b</sup>	5.18±0.21 <sup>a</sup>	2.09±0.01 <sup>d</sup>	73.36±0.21 <sup>d</sup>
	G2	6.04±0.04 <sup>ab</sup>	11.45±0.17 <sup>c</sup>	3.36±1.74 <sup>b</sup>	2.14±0.01 <sup>b</sup>	77.01±1.90 <sup>c</sup>
	G3	5.98±0.04 <sup>b</sup>	9.07±0.44 <sup>d</sup>	3.41±0.14 <sup>b</sup>	2.12±0.01 <sup>c</sup>	79.42±0.30 <sup>b</sup>
	G4	5.99±0.01 <sup>b</sup>	7.41±0.13 <sup>c</sup>	2.52±0.87 <sup>b</sup>	2.17±0.01 <sup>a</sup>	81.91±0.91 <sup>a</sup>

<sup>1)</sup>Con, grain drink with 0% lactic acid bacteria-fermented purple sweet potato powder; G1, grain drink with 10% lactic acid bacteria-fermented purple sweet potato powder; G2, grain drink with 20% lactic acid bacteria-fermented purple sweet potato powder; G3, grain drink with 30% lactic acid bacteria-fermented purple sweet potato powder; G4, grain drink with 40% lactic acid bacteria-fermented purple sweet potato powder.

<sup>2)</sup>All values are mean±SD (n=3).

<sup>3)</sup>Different superscript letters (<sup>a-c</sup>) within the same column indicate significant differences by Duncan's multiple range test (p<0.05).



**Fig. 1.** Grain drinks prepared with different levels of purple sweet potato powder fermented by *Leuconostoc inhae* and *Weissella koreensis*. Con, grain drink with 0% lactic acid bacteria-fermented purple sweet potato powder; G1, grain drink with 10% lactic acid bacteria-fermented purple sweet potato powder; G2, grain drink with 20% lactic acid bacteria-fermented purple sweet potato powder; G3, grain drink with 30% lactic acid bacteria-fermented purple sweet potato powder; G4, grain drink with 40% lactic acid bacteria-fermented purple sweet potato powder.

말을 0-40% 첨가하여 제조한 곡물 음료의 색도(L\*, a\*, b\*) 및 당도(°Brix)는 Table 3에 제시하였다. 두 처리군 모두에서 발효 분말 첨가량이 증가함에 따라 당도는 유의적으로 증가하였고 (p<0.05), 명도(L\*)는 감소하였으며, 적색도(a\*)와 황색도(b\*)는 각각 증가 및 감소하는 경향을 보였다. 먼저, 당도는 발효 자색고구마 분말의 첨가량이 높아질수록 유의적으로 증가하였다. *L. inhae* 처리군에서는 0% 처리구(Con)에서 17.17, 40% 첨가구(M4)에서 18.13 °Brix로, *W. koreensis* 처리군에서는 17.13에서 18.17 °Brix로 각각 증가하였다. 이는 발효 과정에서

전분이 당으로 분해되어 가용성 고형분이 늘어난 결과로 판단된다. 이러한 결과는 유산균 발효가 당도를 증가시킬 수 있다는 선행연구와도 일치한다(Choi 등, 2014). 색도는 모든 처리군에서 자색고구마 발효 분말의 첨가량이 증가할수록 명도(L\*)는 유의적으로 감소하였으며(p<0.05), 적색도(a\*)는 증가, 황색도(b\*)는 감소하는 경향을 나타냈다. *L. inhae* 처리군의 L값은 대조구에서 58.37로 가장 높았으며, G4에서 53.87로 감소하였고, *W. koreensis* 처리군도 유사하게 58.61에서 53.78로 낮아졌다. 적색도는 자색고구마의 주요 색소인 안토시아닌 함량 증가에

**Table 3.** Color values and soluble solids content (°Brix) of grain drinks supplemented with lactic acid bacteria-fermented purple sweet potato powder fermented by *Leuconostoc inhae* and *Weissella koreensis*

		Soluble solid (°Brix)	Color values		
			L	a	b
<i>Leuconostoc inhae</i>	Con <sup>1)</sup>	17.17±0.05 <sup>2) d3)</sup>	58.37±0.01 <sup>a</sup>	2.70±0.02 <sup>c</sup>	14.90±0.01 <sup>a</sup>
	G1	17.17±0.05 <sup>d</sup>	56.64±0.00 <sup>b</sup>	3.71±0.00 <sup>d</sup>	13.05±0.01 <sup>b</sup>
	G2	17.60±0.08 <sup>c</sup>	55.62±0.02 <sup>c</sup>	4.72±0.01 <sup>c</sup>	11.56±0.04 <sup>c</sup>
	G3	18.00±0.00 <sup>b</sup>	54.59±0.00 <sup>d</sup>	5.58±0.02 <sup>b</sup>	10.03±0.01 <sup>d</sup>
	G4	18.13±0.05 <sup>a</sup>	53.87±0.00 <sup>c</sup>	6.41±0.02 <sup>a</sup>	9.01±0.01 <sup>c</sup>
<i>Weissella koreensis</i>	Con	17.13±0.05 <sup>c</sup>	58.61±0.00 <sup>a</sup>	2.71±0.02 <sup>c</sup>	14.82±0.01 <sup>a</sup>
	G1	17.33±0.05 <sup>d</sup>	56.71±0.00 <sup>b</sup>	3.41±0.02 <sup>d</sup>	13.19±0.00 <sup>b</sup>
	G2	17.83±0.05 <sup>c</sup>	55.70±0.00 <sup>c</sup>	4.00±0.03 <sup>c</sup>	11.87±0.01 <sup>c</sup>
	G3	17.97±0.05 <sup>b</sup>	55.03±0.01 <sup>d</sup>	4.66±0.02 <sup>b</sup>	10.95±0.02 <sup>d</sup>
	G4	18.17±0.05 <sup>a</sup>	53.78±0.00 <sup>c</sup>	5.08±0.01 <sup>a</sup>	9.58±0.00 <sup>c</sup>

<sup>1)</sup>Con, grain drink with 0% lactic acid bacteria-fermented purple sweet potato powder; G1, grain drink with 10% lactic acid bacteria-fermented purple sweet potato powder; G2, grain drink with 20% lactic acid bacteria-fermented purple sweet potato powder; G3, grain drink with 30% lactic acid bacteria-fermented purple sweet potato powder; G4, grain drink with 40% lactic acid bacteria-fermented purple sweet potato powder.

<sup>2)</sup>All values are mean±SD (n=3).

<sup>3)</sup>Different superscript letters (<sup>a-c</sup>) within the same column indicate significant differences by Duncan's multiple range test (p<0.05).

따라 첨가량이 많을수록 색 농도가 짙어져 G4에서 가장 높은 값을 보였으며 황색도는 G4에서 각각 9.01 및 9.58로 유의적으로 감소하였다(p<0.05). 이러한 변화는 자색고구마 분말의 농도와 발효가 제품의 감미와 색상에 영향을 주며, 관능적 품질 향상에 기여할 수 있음을 시사한다.

### 3.3. 항산화 활성 및 기능 성분

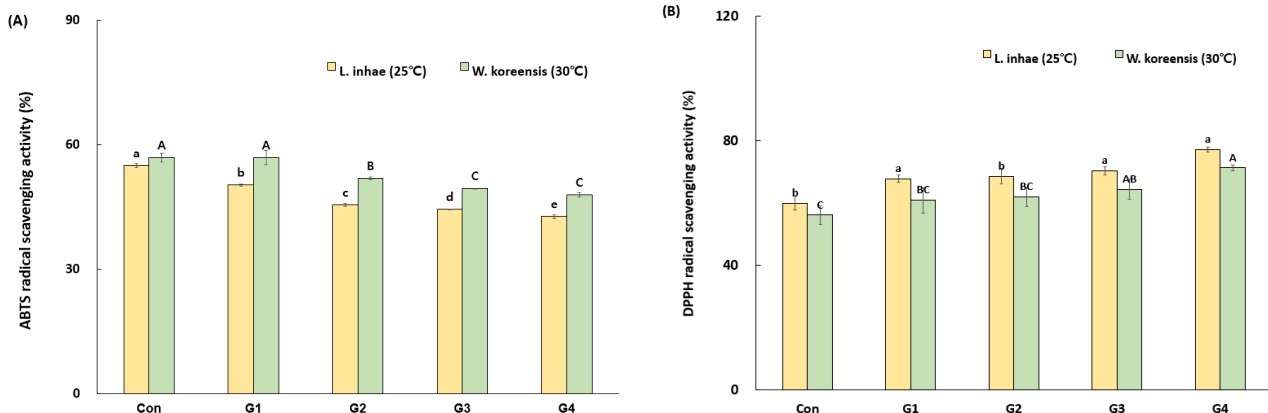
#### 3.3.1. ABTS 및 DPPH radical 소거능

자색고구마 발효 분말을 0-40% 첨가하여 제조한 곡물 음료의 ABTS, DPPH 라디칼 소거능은 Fig. 2에 제시하였다. 처리군 간 평균값 기준으로 볼 때, *L. inhae* 및 *W. koreensis* 유산균 처리군 모두에서 발효 자색고구마 분말 첨가 비율이 증가할수록 ABTS 라디칼 소거능이 유의적으로 감소하는 경향을 나타냈다(p<0.05). *L. inhae* 처리군의 경우 0%에서 55.02%였던 ABTS 소거능이 40% 첨가 시에는 42.65%로 낮아졌다. *W. koreensis* 처리군도 마찬가지로 초기 56.88%에서 40% 첨가 시 47.94%로 감소하였다. DPPH 라디칼 소거능은 자색고구마 발효 분말의 첨가 비율이 증가함에 따라 유의적인 증가 경향을 보였다(p<0.05). *L. inhae* 처리군의 경우, 0%에서 59.96%였던 소거능은 40% 첨가 시 77.08%로 증가하였다. 이와 유사하게, *W. koreensis* 처리군에서도 0%의 56.07%에서 40% 첨가 시 71.24%까지 상승하였다. 이러한 결과는 자색고구마 분말의 천연 항산화 성분이 DPPH 라디칼을 효과적으로 소거함을 시사

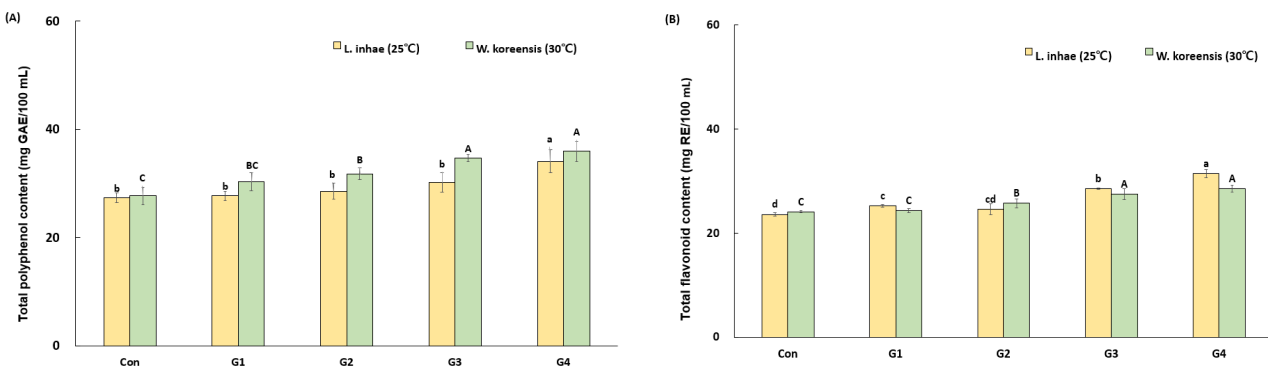
한다. 특히 자색고구마에는 안토시아닌, 페놀 화합물 등 항산화능을 가진 생리활성물질이 풍부하게 함유되어 있으며, 이는 발효 과정을 거치면서 항산화 물질로 전환되어 소거능을 강화한 것으로 추정된다. 또한, *W. koreensis* 처리군의 경우 전반적인 수치는 *L. inhae* 처리군보다 낮았으나, 10-30% 구간에서 일정 수준 이상의 항산화 활성 향상이 관찰되었다. 이는 유산균의 발효 온도나 효소 활성의 차이에 따른 생리활성 물질 생성 양상의 차이로 해석될 수 있다. 본 연구에서는 자색고구마 발효 분말의 첨가에 따라 ABTS 소거능은 감소, DPPH 소거능은 증가하는 상반된 경향을 보였다. 이는 항산화 활성 측정법 간의 반응 메커니즘 차이에 기인한 것으로, 발효 과정에서 생성된 항산화 성분이 DPPH에 더 효과적으로 작용했거나 ABTS에 반응하는 고분자 항산화물이 분해되었을 가능성도 있다. 유사한 사례로 항산화 활성은 시료의 조성 및 분석 방법에 따라 상이한 결과를 나타낼 수 있다(Kim 등, 2018). 는 선행 연구와도 일치하며 식품의 항산화 활성을 평가하기 위해서는 다양한 측정 방법을 병행하여 해석하는 것이 바람직하다.

#### 3.3.2. 총폴리페놀 및 총플라보노이드 화합물 함량

자색 고구마 발효 분말을 0-40% 첨가하여 제조한 곡물 음료의 총폴리페놀 및 플라보노이드 화합물 함량은 Fig. 3에 나타내었다. *L. inhae*와 *W. koreensis* 두 처리군 모두에서 총폴리페놀 함량이 첨가 비율에 따라 유의적으로 증가하는 경향을 나타



**Fig. 2.** ABTS (A) and DPPH (B) radical scavenging activity of grain drinks supplemented with different levels of lactic acid bacteria-fermented purple sweet potato powder by *Leuconostoc inhae* and *Weissella koreensis*. Values are mean±SD (n=3). Different lowercase letters (<sup>a-e</sup>) indicate significant differences among samples fermented with *Leuconostoc inhae*, whereas different uppercase letters (<sup>A-C</sup>) indicate significant differences among samples fermented with *Weissella koreensis*, according to Duncan's multiple range test ( $p<0.05$ ).



**Fig. 3.** Total polyphenol (A) and total flavonoid (B) contents of grain drinks supplemented with different levels of lactic acid bacteria-fermented purple sweet potato powder by *Leuconostoc inhae* and *Weissella koreensis*. Values are mean±SD (n=3). Different lowercase letters (<sup>a-d</sup>) indicate significant differences among samples fermented with *Leuconostoc inhae*, whereas different uppercase letters (<sup>A-C</sup>) indicate significant differences among samples fermented with *Weissella koreensis*, according to Duncan's multiple range test ( $p<0.05$ ). GAE, gallic acid equivalent; RE, rutin equivalent.

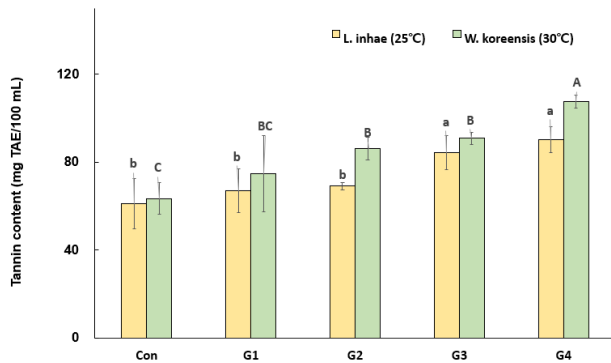
났다( $p<0.05$ ). *L. inhae* 처리군에서는 0% 첨가 시 평균 27.38 mg/100 mL였던 폴리페놀 함량이 40% 첨가군에서는 34.13 mg/100 mL로 증가하였으며, *W. koreensis* 처리군의 경우에도 0%에서 27.74 mg/100 mL였던 것이 40% 첨가 시 35.96 mg/100 mL까지 유의적으로 증가하였다( $p<0.05$ ). 이러한 결과는 자색 고구마 자체의 높은 페놀 화합물 함유량에 기인한 것으로 Ha 등(2019)과 Zhu 등(2021)의 연구에서도 유산균 발효가 고구마 내 폴리페놀 함량을 증가시키는 결과를 보고하였다. 따라서, 자색고구마 발효 분말의 첨가가 곡물 음료 제품의 항산화성을 향상시키는 데 긍정적인 영향을 줄 수 있으며 특히 고함량으로 첨가할 경우 기능성 증진 측면에서 유의미한 가능성을 나타낸다.

총플라보노이드 화합물 함량은 *L. inhae*와 *W. koreensis* 두 처리군 모두에서 자색고구마 발효 분말의 첨가 농도 비율에 따

라 유의적으로 증가하는 경향을 나타냈다( $p<0.05$ ). *L. inhae* 처리군에서 0% 첨가시 23.58 mg/100 mL였던 함량이 40% 첨가시 31.45 mg/100 mL까지 증가하였다. 마찬가지로 *W. koreensis* 처리군도 0% 첨가시 24.09 mg/100 mL, 40% 첨가시 28.56 mg/100 mL로 상승 경향을 보였다. Ha 등(2019)과 Campbell 등(2017)의 연구에서도 유사한 발효 과정이 플라보노이드 함량 증가에 긍정적인 영향을 미친 것으로 보고되었다. 따라서 자색 고구마 발효 분말의 플라보노이드 함량은 발효 조건 등에 따라 달라질 수 있으며, 이는 항산화 기능성 향상을 위한 중요한 지표로 활용될 수 있다.

### 3.3.3. 탄닌 함량

탄닌은 식품의 떫은맛(astringency)을 유발하는 대표적인 페



**Fig. 4.** Tannin content of grain drinks supplemented with different levels of lactic acid bacteria-fermented purple sweet potato powder by *Leuconostoc inhae* and *Weissella koreensis*. Values are mean $\pm$ SD (n=3). Different lowercase letters (<sup>a,b</sup>) indicate significant differences among samples fermented with *Leuconostoc inhae*, whereas different uppercase letters (<sup>A-C</sup>) indicate significant differences among samples fermented with *Weissella koreensis*, according to Duncan's multiple range test ( $p < 0.05$ ). TAE, tannic acid equivalent.

높게 화합물로, 그 함량은 소비자의 기호도 및 제품의 관능 특성에 영향을 미칠 수 있다(Hagerman 등, 1998). 본 연구에서는 고구마 유산균 발효 분말의 첨가에 따른 곡물 음료 내 탄닌 함량 변화를 분석함으로써 발효 소재가 제품의 맛과 기능에 미치는 영향을 알아보고자 하였다. 자색고구마 발효 분말을 0-40% 첨가한 곡물 음료의 총탄닌 함량은 Fig. 4에 나타내었다. 그 결과 첨가량 증가에 따라 두 처리군 모두에서 총탄닌 함량이 통계적으로 유의하게 증가하는 경향을 보였다( $p < 0.05$ ). *L. inhae* 처리군에서는 0% 첨가 시 55.68 mg/100 mL였던 탄닌 함량이 10% 첨가군에서는 66.90 mg/100 mL, 20% 첨가 시 69.13 mg/100 mL, 30% 첨가 시 84.31 mg/100 mL, 40% 첨가 시에는 90.39 mg/100 mL로 꾸준히 증가하였다. *W. koreensis* 처리군도 마찬가지로 탄닌 함량은 0%에서 63.43 mg/100 mL였으며, 40% 첨가 시 107.57 mg/100 mL로 가장 높게 나타났다. 한편, 관련 선행 연구에서 수수 곡물을 *Lactobacillus* 속 유산균으로 발효한 결과, 48시간 발효 후 탄닌 함량이 유의하게 감소하였고 72시간 까지 발효를 연장해도 추가적인 감소는 관찰되지 않았다(Putri 등, 2020).

#### 4. 요약

본 연구에서 제조된 곡물 음료는 자색고구마 유산균 발효 분말 이외에도 귀리 분말, 콩 분말 등 다양한 원료로 구성된 형태로, 각 시료 간 자색 고구마 발효 분말의 첨가 비율이 상이함에 따라 상대적으로 다른 비율의 귀리 및 콩 분말 등이 포함되었다. 이러한 조성 차이는 시료 간 영양 성분 및 생리활성 물질

함량의 변화를 유발할 수 있으므로 곡물 음료의 품질 특성 변화는 발효 분말의 첨가 효과뿐만 아니라, 이에 따른 다른 원료의 상대적 함량 변화 또한 함께 고려되어야 할 것으로 보인다. 자색 고구마 유산균 발효 분말을 다양한 농도로 첨가하여 곡물 음료의 기능적 특성을 평가하고자 하였는데 자색 고구마 분말은 *Leuconostoc inhae*와 *Weissella koreensis* 유산균으로 발효하였으며, 이를 0% (Con), 10% (G1), 20% (G2), 30% (G3), 40% (G4)의 농도로 곡물 음료에 첨가하였다. 발효 분말의 첨가량이 증가함에 따라 수분, 단백질, 지방 함량은 감소하는 경향을 보였으며, 탄수화물 함량은 증가하는 추세를 나타냈다. 항산화 활성을 DPPH 라디칼 소거능과 총폴리페놀 함량 등으로 평가한 결과 발효 분말의 첨가량이 많을수록 항산화 활성이 증가하였다. 이러한 결과는 자색 고구마 유산균 발효 분말이 곡물 음료의 항산화 기능을 향상시킬 수 있음을 시사한다. 본 연구는 자색 고구마 유산균 발효 분말이 곡물 음료의 영양 및 기능성 향상에 기여할 수 있음을 확인하였으며 다양한 균주 활용을 통해 맞춤형 발효제품 개발 가능성을 제시한다. 향후 발효 조건 최적화 및 다양한 식품 적용을 통한 기능성 증진 연구가 필요할 것으로 판단된다.

#### Funding

This research was supported by Chungcheongnam-do Agricultural Research and Extension Services, 2025.

#### Acknowledgements

None.

#### Conflict of interests

The authors declare no potential conflicts of interest.

#### Author contributions

Conceptualization: Lee SY, Jo YJ. Methodology: Lee SY. Formal analysis: Lee SY. Validation: Lee JK. Writing - original draft: Lee SY. Writing - review & editing: Lee SY, Chung CT, Lee JS.

#### Ethics approval

This article does not require IRB/IACUC approval because there are no human and animal participants.

#### ORCID

So-Yeon Lee (First & Corresponding author)

<https://orcid.org/0009-0006-0742-8706>

Jong-Kug Lee

<https://orcid.org/0000-0002-2610-1980>

Yun-Jeong Jo

<https://orcid.org/0009-0001-9141-1651>

Chong-Tea Chung

<https://orcid.org/0009-0003-8530-0271>

Jun-Soo Lee

<https://orcid.org/0000-0001-5557-4229>

## References

- AOAC. Official Methods of Analysis. 15th ed, Association of Official Analytical Chemists, Washington DC, USA, p 210-219 (1996)
- Campbell C, Nanjundaswamy AK, Njiti V, Xia Q, Chukwuma F. Value-added probiotic development by high-solid fermentation of sweet potato with *Saccharomyces boulardii*. *Food Sci Nutr*, 5, 633-638 (2017)
- Ha GJ, Kim HY, Ha II, Cho SR, Moon JY, Seo GI. Quality and antioxidant properties of fermented sweet potato using lactic acid bacteria. *Korean J Food Nutr*, 32, 494-503 (2019)
- Hagerman AE, Riedl KM, Jones GA, Sovik KN, Ritchard NT, Hartzfeld PW, Riechel TL. High molecular weight plant polyphenolics (tannins) as biological antioxidants. *J Agric Food Chem*, 46, 1887-1892 (1998)
- Han JS. Preparation of mixed beverages for breakfast made primarily with the hydrolysate of sweet potato and its quality characteristics. *J Korean Soc Food Cook Sci*, 20, 271-278 (2004)
- Hwang ES, Jung JS. Quality characteristics and antioxidant activity of yogurt containing various amounts of sweet potato powder. *J Korean Soc Food Sci Nutr*, 53, 1193-1200 (2024)
- Jang H, Moon W, Ahn H, Kim E, Lee Y. Characteristics of shake-style perilla seeds with green tea. Paper presented at 2019 Winter Conference of Korean Association of Human Ecology, November 29, Daejeon, Korea (2019)
- Kim HJ, Ahn YH, Cho HH, Kwon SC. A study on the antioxidant activity of *Lactobacillus* fermented Kyoho grape juice liquid. *J Korea Acad-Ind Coop Soc*, 24, 42-48 (2023)
- Kim JS, Yoon BN, Yang JW, Hwang SY, Choi IS. Physicochemical characteristics and antioxidant properties of protein shake fortified with Cheonggukjang prepared by *Rhynchosia nulubilis*. *Korean J Hum Ecol*, 30, 851-860 (2021)
- Kim KE, Kim SS, Lee YT. Physicochemical properties of flours prepared from sweet potatoes with different flesh colors. *J Korean Soc Food Sci Nutr*, 39, 1476-1480 (2010)
- Lee JS, Ahn YS, Kim HS, Chung MN, Jeong BC. Making techniques of high quality powder in sweetpotato. *Korean J Crop Sci*, 51, 198-203 (2006)
- Lee M, Jang GY, Lee SH, Woo KS, Sin HM, Kim HS, Lee J, Jeong HS. Chemical compositions and antioxidant activities of leaves and stalks from different sweet potato cultivars. *J Korean Soc Food Sci Nutr*, 41, 1656-1662 (2012)
- Lopez CM, Rocchetti G, Fontana A, Lucini L, Rebecchi A. Metabolomics and gene-metabolite networks reveal the potential of *Leuconostoc* and *Weissella* strains as starter cultures in the manufacturing of bread without baker's yeast. *Food Res Int*, 162, 112023 (2022)
- Putri SNA, Utari DP, Martati E, Putri WDR. Study of sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) grains fermentation with *Lactobacillus plantarum* ATCC 14977 on tannin content. *IOP Conf Ser Earth Environ Sci*, 924, 012037 (2023)
- Yang Z, Zhu X, Wen A, Qin L. Development of probiotics beverage using cereal enzymatic hydrolysate fermented with *Limosilactobacillus reuteri*. *Food Sci Nutr*, 10, 3143-3153 (2022)
- Zhu L, Mu T, Ma M, Sun H, Zhao G. Nutritional composition, antioxidant activity, volatile compounds, and stability properties of sweet potato residues fermented with selected lactic acid bacteria and bifidobacteria. *Food Chem*, 340, 131500 (2021)