



Special Topic

# Changes in characteristics of the ancient grain farro according to liquefaction and saccharification processes

## 고대 곡물 파로의 액화, 당화 공정에 따른 품질 특성 변화

Sun Hwa Kim<sup>1</sup>, Shin Young Oh<sup>2</sup>, Yong-Jin Jeong<sup>2,3\*</sup>, Joong-Ho Kwon<sup>1,4\*</sup>

김선화<sup>1</sup> · 오신영<sup>2</sup> · 정용진<sup>2,3\*</sup> · 권중호<sup>1,4\*</sup>

<sup>1</sup>Ancient Grains Materialization Research Institute, GrainOn Co., Ltd, Daegu 41065, Korea

<sup>2</sup>KMF Co., Ltd., Daegu 41065, Korea

<sup>3</sup>Department of Food Science and Technology, Keimyung University, Daegu 42601, Korea

<sup>4</sup>School of Food Science and Biotechnology, Kyungpook National University, Daegu 41566, Korea

<sup>1</sup>(주)그레인온 고대곡물소재화연구소, <sup>2</sup>(주)케이엠에프,

<sup>3</sup>계명대학교 식품가공학과, <sup>4</sup>경북대학교 식품공학부

**Abstract** This study investigated changes in quality characteristics of the ancient grain farro (*Triticum dicoccum* wheat) according to the liquefaction and saccharification processes for functional materialization. Whole grain farro was ground, mixed with tap water (100%, w/w), and liquefied at 95°C, 50 rpm for 30, 60, and 90 min, respectively. Sugar content was increased from 4.4 °Brix in the pre-enzyme treatment (PET) sample to 12.6 °Brix after 90 min of liquefaction (LTC), and only maltose content increased among the free sugars. Total dietary fiber content was not changed after the LTC process. However, the content of soluble arabinoxylan, which has an anti-obesity function, was changed from 8.52 mg/g (PET sample) to 9.49 mg/g, 7.45 mg/g, and 7.72 mg/g, respectively. In addition, the ferulic acid content was very low (0.77 mg/g) in the PET sample, but significantly increased to 7.57, 19.29, and 18.69 mg/g in LTC (30, 60, 90 min), respectively. Following the optimal liquefaction process (50 rpm, 60 m), the liquefied sample was subjected to the saccharification process at 55°C for different times (120, 240, 360 min) to assess the qualities. Both sugar and maltose contents significantly increased over time ( $p < 0.05$ ), from 9.70 °Brix to 19.00 °Brix and from 360.40 mg/g to 511.04 mg/g, respectively. However, the contents of soluble arabinoxylan and ferulic acid did not show apparent changes during the saccharification process.

**Keywords** emmer wheat farro, liquefaction, saccharification, soluble arabinoxylan, ferulic acid



OPEN ACCESS

**Citation:** Kim SH, Oh SY, Jeong YJ, Kwon JH. Changes in characteristics of the ancient grain farro according to liquefaction and saccharification processes. Food Sci. Preserv., 32(1), 17-29 (2025)

**Received:** October 07, 2024  
**Revised:** December 30, 2024  
**Accepted:** January 24, 2025

\*These authors contributed equally to this study.

**\*Corresponding author**  
Yong-Jin Jeong  
Tel: +82-53-584-6523  
E-mail: yjjeong@kmu.ac.kr

Joong-Ho Kwon  
Tel:+82-53-710-7606  
E-mail:jhkwn@knu.ac.kr

Copyright © 2025 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

파로(farro, *Triticum dicoccum*, dehulled wheat)는 엠머밀(emmer wheat, *Triticum turgidum* L., subsp. *dicoccum*(Schränk ex Schübl.), 에인코른밀(einkorn wheat, *Triticum monococcum* L., subsp. *monococcum*), 스펠트밀[spelt wheat, *Triticum aestivum* L., subsp. *spelta*(L.) Thell]을 통틀어 일컫는 말로써, 주로 엠머밀을 의미한다(Harlan과 De Wet, 1971). 엠머밀(*Triticum dicoccum*)의 기원은 기원전 8,000-9,000년 경 선사 시대, 신석기 시대부터 이집트, 터키, 시리아 등 비교적 비옥한 지대에서 재배하던 고대 곡물이며(Luo 등, 2007), 유럽의 초기 농업에서는 꼭 필요한 작물의 하나였다(Zaharieva 등, 2010). 현재는 이탈리아를 비롯하여 17개국 이상에서 재배되고 있으며, 특히 에티오피아에서는 주요 작물로, 인도 및 이탈리아에서는 일부 직물로 재배되고 있다(Luo 등, 2007).

현대인들은 당 함량이 낮고 단백질과 섬유질이 높은 탄수화물 재료를 선호하고 있으며, 이에 따라 카무드, 파로 등 고대 곡물에 대한 관심이 점점 높아지고 있다. 파로 곡물은 약 16.0%의 높은 단백질을 함유하고 있으며, 그중 필수아미노산이 8.0-23.0% 정도로 고단백질 곡물이라 할 수 있다(Stehno, 2007). 또한, 파로 곡물에 함유된 카로티노이드, 루테인, 지아잔틴, 폴리페놀, 페룰산 등의 항산화 성분들은 면역력 증진과 피부노화 개선에 효과가 있으며, 아라비노자일란, 피토스테롤 등은 콜레스테롤 및 공복혈당 수치를 감소시켜 주는 성분으로 당뇨병과 혈당 조절에 도움이 된다는 보고가 있다(Dhanavath와 Prasada, 2017). 파로 곡물은 단백질과 더불어 식이섬유, 마그네슘, 아연 등의 영양소가 풍부하고 소화·흡수가 쉽다(Lacchman 등, 2012). 또한, 파로와 같은 통곡물은 비타민 E의 공급원이 되므로 심혈관 질환과 특정 암의 예방은 물론 비만 예방, 2형 당뇨병 유발 등의 위험을 줄일 수 있다는 연구 결과가 있다(Christopher 등, 2018). 이처럼 건강적 및 영양학적으로 다양한 효과가 있는 고대밀 품종(emmer)에 대한 연구가 진행되고 있다(Shewry와 Hey 2015).

곡물의 가공 과정에 호화 및 증자 공정으로 점성 저하, 성분 분리, 살균을 위하여 전분을 랜덤하게 분해하는 액화 공정은 산업적으로 가장 일반적인 방법으로 사용되고 있으며 이러한 액화 과정을 거치고 필요에 따라 단당과 이당류를 생성하는 당화 공정을 식품의 가공 및 발효 등 다양한 분야에 활용되고 있다. 즉, 곡물의 당화(saccharification)는 전분이 산이나 효소에 의한 가수분해 작용으로 전분질이 단순당으로 전환되는 과정이며(Hwang 등, 2011), 액화(liquefaction)는 고온(90-110°C)에서 전분을 가열하여 전분을 작은 텍스트린으로 분해하여 점도가 감소되어 가공이 편리하게 되는 공정을 의미한다(Park, 1995). 또한, 쌀이나 전분을 가수분해하는 효소, 액화 및 당화에 사용되는 효소의 총칭이 amylase이며(Martinek와 Semenow, 1981), 식품산업에는  $\alpha$ 형 amylase 및  $\beta$ 형 amylase가 주로 이용된다(Bandyopadhyay 등, 2008).

현재까지 파로 곡물에 대한 연구는 곡물의 기능성분 특성(Dhanavath와 Prasada Rad, 2017), 파로 종자의 환경적 요인에 의한 변화(Watts 등, 2015), 파로의 제2형 당뇨에 대한 영향(Ashish 등, 2018) 등 품종별 생리 및 성분 특성에 대한 연구가 주류이며, 파로의 건강 기능성 소재화에 관한 연구는 미흡하다. 따라서 본 연구는 곡물의 소재화에 필요한 액화, 당화 공정에 따른 파로 곡물의 아라비노자일란, 페룰산 함량의 변화 및 이화학적 성분 특성 변화를 비교하여 다양한 식품 소재로써 활용 방안을 검토하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 실험 재료

본 실험에 사용된 고대 곡물 파로(*farro emmer*)는 이탈리아

토스카나 지역에서 2023년 재배·수확된 품종으로, (주)그레인온에서 제공받아 사용하였다. 파로 곡물에 함유된 기능성 성분들의 함량을 높이기 위해 액화, 당화 공정처리를 하였다. 즉, 액화 효소( $\alpha$ -amylase, Biowin HT, 적정온도 80-110°C, pH 5.5-6.5, Sunson Industry Group)와 당화 효소( $\beta$ -amylase, 베타라제, 적정온도 50-60°C, pH 6.0-8.0, Senson OY)는 (주)비전바이오캡에서 구입하여 사용하였다.

### 2.2. 파로 발효물 제조

파로 발효물을 제조하기 위해 1단계로 파로 곡물(30 mesh) 400 g에 시료 대비 400% 수돗물을 가하여 액화 효소인  $\alpha$ -amylase 0.1%(w/w)를 혼합하고 진탕배양기(HB-205SW, Hanbaek Sci., Co., Bucheon, Korea)에서 95°C, 50 rpm 조건으로 시간을 달리하여(30, 60, 90분) 액화 처리하였다. 2단계 실험은 1단계 적정 조건으로 액화 처리된 시료에  $\beta$ -amylase 0.1%(w/w)를 혼합하여 55°C, 50 rpm에서 시간을 달리하여(120, 240, 360분) 당화 처리하였다. 이상과 같이 처리된 시료는 동결건조기(DRC-1000, EYELA, Kakikal Co., Ltd., Tokyo, Japan)를 이용하여 48시간 동결건조하고 분말화(30 mesh)하여 분석 시료로 사용하였다. 이하에서는 시료명의 약어를 대조구는 PET (pre-enzyme treatment), 1단계 액화 처리는 LTC(liquefaction treatment condition)\_30, 60, 90, 2단계 당화 처리는 STC (saccharification treatment condition)\_120, 240, 360로 각각 표기하였다.

### 2.3. 파로 발효물의 pH, 색도 및 당도 측정

파로 발효물 시료의 pH는 pH meter(Orion Star AIII, Thermo Sci., Jakarta, Indonesia)를 사용하여 실온에서 측정하였고, 당도는 굴절당도계(PR-101, Atago Co., Tokyo, Japan)를 사용하여 측정하고 °Brix로 나타내었다. 색도 분석은 색차계(CR-10, Konica Minolta Sensing Inc., Tokyo, Japan)를 이용하여 L, a, b 값을 측정하였다. 사용된 표준판은 각각 L값 100.00, a값 0.06 및 b값 -0.03이었다.

### 2.4. 무기질 함량 분석

각 시료의 무기질 함량은 AOAC 991.43(AOAC, 1996)에 준하여 분석하였다. 즉, 시료 5 g을 취하여 500°C 회화로에서 2시간 회화시켜 냉각하였다. 이에 증류수 0.5 mL와 질산 용액( $\text{HNO}_3:\text{H}_2\text{O}=1:1$ ) 3 mL를 가하고 100°C 열판에서 과량의 질산을 제거한 후 다시 500°C 회화로에서 1시간 동안 회화시켰다. 그다음 염산 용액( $\text{HCl}:\text{H}_2\text{O}=1:1$ )으로 50 mL가 되게 정용하여 무기질 분석 시료로 사용하였다. 시료의 무기질 분석은 발광 플라즈마 분석기(Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrophotometer, Jobin Yvon JY 38 Plus, Longjumeau,

France)를 이용하였으며, 이때 측정된 무기질의 파장은 Ca 393.366 nm, K 769.896 nm, Mg 280.270 nm, Fe 259.940 nm, Zn 213.856 nm, Se 196.0 nm 등이었다.

## 2.5. 총식이섬유 함량 분석

각 시료의 총식이섬유 함량은 AOAC 991.43(AOAC, 1996) 분석법이 적용된 식이섬유 분석기기(TDFI, Ankom technology, Macedon, NY, USA)를 이용하여 분석하였다. 먼저, 시료별로 2개의 total dietary fiber(TDF) bag A(IDF flow-thru, Ankom technology)에 각각 0.5 g의 시료를 넣은 다음, 40 mL의 mes-tris buffer(Sigma Chemical Co., St. Louis, Mo, USA)를 혼합하고, 50 µL의 α-amylase(Megazyme Ltd., Bray, Ireland)를 첨가하여 97°C에서 30분 동안 교반하면서 반응시켰다. 그리고 60°C까지 냉각시킨 다음, 100 µL의 protease(Megazyme Ltd.)를 첨가하여 60°C에서 30분간 교반, 반응시키고, 0.561 N HCl(OCI Co., Ltd., Seoul, Korea)과 6 N NaOH(OCI Co. Ltd)를 사용하여 시료의 pH를 4.0-4.7로 조정하였다. 이 시료에 300 µL의 amyloglucosidase (Megazyme)를 첨가하여 60°C에서 30분간 교반, 반응시켰다. 반응이 끝난 각 시료는 1 g의 celite(Sigma Chemical Co.)가 첨가된 TDF bag B(SDF filter bag, Ankom technology)에 옮긴 다음, 효소 반응의 정지와 총식이섬유 침전을 위해 225 mL의 95%(w/v) ethanol(OCI Co., Ltd.)을 첨가한 다음 여과하였다. 그리고 각각 15 mL의 증류수, 95%(w/v) ethanol, 78%(w/v) ethanol 순으로 2회 반복 세척 및 여과하고, 105°C에서 90분간 건조기(Forced convection oven 252L, JSOF-250, JSR, Gongju, Korea)로 건조 시킨 후, 잔사량의 무게를 측정하였다. 잔사량의 무게를 측정된 2개의 시료 중 한 개는 Kjeldal법으로 단백질 함량을 분석하고, 다른 한 개는 525°C에서 5시간 동안 회화한 후, 회분함량을 측정하였다. 대조구(blank)는 시료를 첨가하지 않고, 총식이섬유 분석 방법과 동일하게 수행하였으며, 총식이섬유(TDF) 함량은 다음의 식을 이용하여 계산 후 g/100 g으로 나타내었다.

$$\text{Total dietary fiber content (g/100 g, wet weight)} \\ = (R - P - A - B) \times 100 / S$$

- R: Average weight of residue after enzyme treatment
- P: Protein content of sample
- A: Ash content of sample
- B: Additional ingredients as needed, e.g. fat content, etc.
- S: Sample weight

## 2.6. 유리당 함량 분석

파로 발효물의 유리당 함량은 high performance liquid

chromatograph(HPLC, Waters 2487, Waters Co., Ltd., Milford, PA, USA)를 이용하여 RI detector에 의해 분석하였다(Kang 등, 2023). 각 시료에 증류수 25 mL 또는 50% 에탄올 용액을 가해 무게를 확인한 다음, 85°C에서 25분간 가온하여 당류를 추출하고 방냉한 다음 최초 추출용매의 무게가 될 수 있도록 용매를 첨가하였다. 그 후 이를 45 µm membrane filter로 여과하여 측정 시료로 사용하였다. 이때 유리당 분석 칼럼은 amino (NH<sub>2</sub>) column(3.9×300 mm, 10 µm, Waters Co.)을 사용하여 30°C에서 검출하였다. 이동상 용매(80% acetonitrile)는 등용매 용리(Isocratic elution) 하였으며, 용출 속도는 1.0 mL/min, 주입 용량은 10 µL 조건으로 분석했다. 표준물질은 fructose, glucose, maltose 및 sucrose(Sigma Chemical Co.)를 사용하여 검량곡선으로부터 함량을 산출하고 mg/g으로 표시하였다.

## 2.7. 유리아미노산 함량 분석

시료의 유리아미노산 함량은 시료 0.1 g에 0.02 N HCl 1 mL를 첨가해 24시간 동안 용해시키고, 이 용액 1 mL를 취해 5% 트리클로로아세트산(trichloroacetic acid)을 동량 넣고 교반하였다. 이를 다시 10,000 rpm, 10분간 원심분리(Labogene 1248, Gyrozen, Daejeon, Korea)하였고, 상등액을 취해 0.2 µm membrane filter로 여과한 용액을 유리아미노산 분석용 시료로 하였다. 아미노산 분석기(L-8900, Hitachi, Tokyo, Japan)의 분석 조건으로 컬럼은 4.6×60 mm ID ion-exchange column resin #2622SCPF(Hitachi), 컬럼 온도는 50°C, reactor 온도는 135°C로 하였고, 주입 용량은 20 µL로 하였다. 유리아미노산 표준품을 사용하여 시료와 동일한 조건으로 검량곡선을 작성하고 함량을 산출하여 µg/mL로 표시하였다.

## 2.8. 수용성 아라비노자일란 함량 분석

수용성 아라비노자일란(soluble arabinosyran) 함량은 Douglas (1981)의 방법에 따라 분석하였다. 튜브(50 mL)에 시료 125 mg을 담고 증류수 25 mL를 첨가한 후 1분간 교반시킨 다음 시료 1 mL를 취하여 튜브에 옮겼다. 현탁액 1 mL은 시료 5 mg에 해당한다. 시료를 30분간 교반한 후 1,000 ×g에서 10분간 원심분리(Labogene 1248)하고 상등액 1 mL을 취하여 튜브에 옮겨 시료를 준비하였다. 각 튜브에 1 mL의 증류수를 첨가한 후 10 mL의 반응 용액(glacial acetic acid 110 mL, hydrochloric acid 2 mL, 20% phloroglucino in absolute ethanol 5 mL, 1.75% glucose 1 mL)을 넣고 혼합하였다. 이를 25분간 끓는 물에 담가 두면서 10분 간격으로 격렬히 혼합하여 주었다. 반응을 종결시키기 위하여 0°C의 물에 담근 후 분광광도계(UV-1800 240V, Shimadzu Co., Kyoto, Japan)를 이용하여 552 nm에서 510 nm의 측정된 흡광도값을 뺀 뒤 자일로스 표준곡선과 비교하여 수용성 아라비노자일란 함량을 계산하였다.

표준물질은 D(+)-xylose를 사용하였으며, 시료와 동일한 조건으로 검량곡선을 작성하고 함량을 산출하여 mg/g으로 표시하였다.

### 2.9. 페룰산 함량 분석

시료의 페룰산 함량은 Tilay 등(2008)의 분석법에 따라 high-performance liquid chromatograph(Waters Acquity UPLC H-Class, Waters, Queenstown, Singapore)를 이용하여 분석하였다. 시료는 40°C 오븐에서 12시간 건조한 후 2 g을 250 mL 플라스크에 담고 NaOH(2 N) 60 mL과 sodium bisulfite 0.001 g을 추가하여 180 rpm에서 24시간 진탕 배양하였다. 배양액은 6,000 rpm, 4°C에서 20분간 원심분리한 후 상층액을 분액 깔대기에 옮겨 HCl(10 N)을 가하여 pH 2 이하로 조정후 상층액을 분리하였다. 이 과정을 3회 반복한 후 회전 농축기(Büchi Rotavapor R-205, Buchi Lab. AG, Switzerland)로 농축한 후 농축액을 acetonitrile:water(1:1, v/v) 3 mL에 용해하여 냉장보관하였다가 기기 분석은 ACQUITY UPLC® HSS C<sub>18</sub> 1.8 µm (2.1×100 mm) 컬럼을 사용하였고 이동상은 1% acetic acid solution(A 용액)과 acetonitrile(B 용액)을 순차적으로 사용하였다. 시료의 표준 검량선을 활용하여 함량을 산출한 다음 mg/g으로 표시하였다.

### 2.10. 통계처리

본 실험의 모든 분석은 3회 반복으로 실험하여 얻은 결과를 평균값(mean)과 표준편차(SD)로 나타내었다. 각 실험 결과에 대해 통계프로그램 SPSS(V22.0, SPSS Inc., Chicago, IL, USA)를 이용하여 통계 분석하였다. 각 실험군의 평균치 간의 유의적 차이는 Duncan's multiple range test로 검증하였다 (p<0.05).

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 파로 곡물의 액화 조건 설정

#### 3.1.1. 파로의 액화 조건에 따른 pH, 당도 및 색도 변화

파로 곡물의 활용도를 높이기 위한 1단계 액화 실험으로 파로 시료에 α-amylase 0.1%(w/w)를 혼합하여 95°C, 50 rpm에서 처리시간(30, 60, 90분)에 따른 발효물의 pH, 당도 및 색도 변화를 조사한 결과는 Table 1과 같다. 액화 전(PET) 시료의 pH는 6.05이었으나 30분 액화 처리시 pH 6.09로 조금 높았으나, 액화 시간이 길어질수록 pH 5.96 및 pH 5.93으로 감소하는 경향이었다(p<0.05). 이는 액화 공정에서 적정 pH 5.5-6.5 범위에서의 α-amylase 효소활성이 잘 나타나고 있음을 확인할 수 있는 과정으로, α-amylase를 이용한 액화 처리의 효율성을 높이기 위해 pH 변화를 조사하는 것이 중요하다고 생각된다. 당도 변화는 PET에 4.4 °Brix였으나 LTC\_30에서 3.6 °Brix로 조금 감소하였고, 처리시간이 길어질수록 9.7 및 12.6 °Brix로 유의적 증가를 보였다(p<0.05). 이는, 액화 처리에 따라 전분의 α-1,4 결합이 무작위적으로 가수분해되어 저분자의 텍스트린, 소당류, 맥아당, 포도당 등이 생성됨에 따라 일어난 변화로 사료된다(Kwon 등, 2017). 색도 변화는 PET에는 L값 53.6, a값 2.8 및 b값 23.2로 밝은 청록색을 나타냈었다. LTC\_30에는 49.1, 2.6 및 23.2였고, LTC\_60에는 50.1, 2.1 및 22.9, LTC\_90에는 49.3, 2.3 및 21.5로 L값은 큰 차이를 나타내지 않았으나, a값 및 b값은 액화 처리시간이 길어질수록 조금씩 감소하는 경향으로 황녹색을 나타내었다. 이상의 결과로 파로 소재화를 위해 액화 효소(α-amylase 0.1%(w/w))를 사용하여 95°C, 50 rpm, 60분 및 90분의 액화 처리하는 것이 적합하다고 사료된다.

**Table 1.** Changes in quality of farro according to liquefaction treatment conditions

Sample <sup>1)</sup>	PET	LTC (min)			F-value <sup>4)</sup>	
		30	60	90		
pH	6.05±0.01 <sup>2)bc3)</sup>	6.09±0.02 <sup>a</sup>	5.93±0.01 <sup>d</sup>	5.96±0.01 <sup>c</sup>	92.045 <sup>***</sup>	
°Brix	4.4±0.12 <sup>c</sup>	3.6±0.21 <sup>d</sup>	9.7±0.47 <sup>b</sup>	12.6±0.12 <sup>a</sup>	758.830 <sup>***</sup>	
Hunter' color value	L	53.6±0.46 <sup>a</sup>	49.1±0.49 <sup>c</sup>	50.1±1.37 <sup>b</sup>	49.3±0.36 <sup>b</sup>	21.731 <sup>***</sup>
		2.8±0.12 <sup>a</sup>	2.6±0.15 <sup>ab</sup>	2.1±0.31 <sup>d</sup>	2.3±0.10 <sup>c</sup>	7.325 <sup>*</sup>
		23.1±0.26 <sup>a</sup>	23.2±0.31 <sup>a</sup>	22.9±0.60 <sup>ab</sup>	21.5±1.35 <sup>b</sup>	3.000

<sup>1)</sup>PET, pre-enzyme treatment; LTC, liquefaction enzyme treatment conditions; 30, liquefaction for 30 min; 60, liquefaction for 60 min; 90, liquefaction for 90 min.

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

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

<sup>4)</sup>The significance of each coefficient was determined using both the F-value (Fisher test value) and p-value (Significant at p<0.1; \*\*Significant at p<0.05; \*\*\*Significant at p<0.01).

### 3.1.2 파로의 액화 조건에 따른 무기질 함량 변화

파로 곡물의 활용도를 높이기 위한 1단계 실험으로  $\alpha$ -amylase 0.1%(w/w)를 혼합하여 95°C, 50 rpm에서 처리시간(30, 60, 90 분)에 따른 무기질 함량 변화를 조사한 결과는 Table 2와 같다. 액화 처리 전(PET) 파로 곡물에 함유된 총무기질 함량은 1.182-1.295 mg/g으로 칼륨(K, 0.878 mg/g) > 마그네슘(Mg, 0.288 mg/g) > 칼슘(Ca, 0.074 mg/g) > 아연(Zn, 0.008 mg/g) > 철(Fe, 0.008 mg/g)의 순으로 함유되어 있으나, 셀레늄(Se)은 검출되지 않았으며, 액화 처리 여부에 따른 변화는 크지 않았다. 90분 액화(LTC\_90) 처리시 마그네슘 및 칼륨 함량은 0.323 mg/g 및 0.952 mg/g으로 함량이 증가하였으나, 철 및 아연 함량은 0.009 mg/g 및 0.010 mg/g으로 액화 처리 여부에 따른 함량 변화는 미비하였다. 국가표준식품성분표(Korean Food Composition Table, 2021)에 따르면 통밀가루의 경우, 가식부 100 g당 무기질 함량(1.0 g)이 칼륨(299 mg/100 g) > 마그네슘(111 mg/100 g) > 칼슘(33 mg/100 g) > 철(5.12 mg/100 g) 등의 순으로 높아 본 실험의 파로 시료와 유사하게 알칼리성 무기질 함량이 상대적으로 높은 것을 확인하였다. 본 실험의 결과는 Choe와 Youn (2005)의 밀 품종에 따른 무기질 함량 조사에서 칼슘(39-67 mg%), 철(3.7-5.6 mg%), 칼륨(537-558 mg%), 아연(2.1-2.3 mg%), 마그네슘(106-127 mg%) 등의 함량보다 낮은 것으로, 밀의 품종 및 재배 환경에 따른 차이로 생각된다. Oh 등(2023)은 청우밀 품종의 무기질 함량은 수확시기에 상관없이 칼륨 > 칼슘 > 마그네슘 등의 순으로 높다고 보고하였으며, 이는 파로의 무기질 함량 분포와 유사하였다. 그러나 고대 곡물의 하나인 카무트의 무기질 함량은 아연 > 철 > 망간 > 구리 > 셀레늄 등의 순으로 파로 곡물과 상이한 패턴을 보였다(Shin, 2017).

식품에 함유된 무기질은 생체내에서 다량 및 미량 무기원소의 종류에 따라 다르지만, pH 완충작용 및 생리적 기능에 주요한 역할을 한다고 알려져 있으며(Sathiyavani 등, 2017), 이는 식품의 알칼리성을 측정하기 위한 중요한 요소이기도 하다.

### 3.1.3. 파로의 액화 조건에 따른 총식이섬유 함량 변화

파로 곡물의 활용도를 높이기 위한 1단계 실험으로  $\alpha$ -amylase 0.1%(w/w)를 혼합하여 95°C, 50 rpm에서 처리시간(30, 60, 90 분)에 따른 총식이섬유 함량 변화를 조사한 결과는 Table 3과 같다. 액화 처리 전(PET) 파로 곡물의 총식이섬유 함량은 5.68 g/100 g이었으나, 30분 액화 과정(LTC\_30)에서 2.93 g/100 g으로 크게 감소하였다가 60분 액화 시간(LTC\_60)에서 4.53 g/100 g으로 증가하는 경향을 보였으나, 90분 액화 시간(LTC\_90)에서 4.13 g/100 g으로 전체적으로는 감소하는 경향이 있었다. 액화 처리시간에 따른 수용성 및 불용성 식이섬유 함량은 PET 3.14 g/100 g 및 2.54 g/100 g이었으나, LTC\_30은 1.75 g/100 g 및 1.18 g/100 g으로 감소하였으나, LTC\_60은 2.55 g/100 g 및 1.98 g/100 g, LTC\_90은 2.23 g/100 g 및 1.90 g/100 g으로 증가하였으며, 파로는 수용성 식이섬유 함량은 불용성 식이섬유 함량보다 조금 높은 경향을 나타내었다. 이는 곡물에 함유된 식이섬유가 고온에서 장시간 가열하면 감소되는 것을 최소화하기 위해 액화 효소( $\alpha$ -amylase) 처리의 필요성을 확인할 수 있었다. 이와 같은 결과는 Yoon 등(2022)의 효소 처리에 따른 밀 전곡립의 총식이섬유 변화를 연구한 결과, 효소 처리 전 32.21%였으나, 1% 효소 처리시 37.86-30.09%로 증가하였으며, 효소 종류에 따른 차이보다는 처리 농도에 따라 차이를 나타낸다는 보고와 같이 효소제의 적정 조건에 맞춰 사

**Table 2.** Changes in mineral content of farro according to liquefaction treatment conditions (mg/g)

Sample <sup>1)</sup>	PET	LTC (min)			F-value <sup>5)</sup>
		30	60	90	
Ca	0.074±0.003 <sup>2)bs)</sup>	0.085±0.007 <sup>a</sup>	0.089±0.004 <sup>a</sup>	0.087±0.001 <sup>a</sup>	6.569 <sup>*</sup>
Mg	0.288±0.010 <sup>b</sup>	0.291±0.021 <sup>b</sup>	0.306±0.014 <sup>ab</sup>	0.323±0.004 <sup>a</sup>	4.413 <sup>*</sup>
K	0.878±0.025	0.905±0.065	0.928±0.035	0.952±0.011	1.944
Fe	0.008±0.001 <sup>b</sup>	0.008±0.001 <sup>ab</sup>	0.009±0.001 <sup>a</sup>	0.009±0.001 <sup>a</sup>	5.833 <sup>*</sup>
Zn	0.008±0.001 <sup>b</sup>	0.009±0.001 <sup>a</sup>	0.010±0.001 <sup>a</sup>	0.010±0.0001 <sup>a</sup>	8.000 <sup>**</sup>
Se	ND <sup>4)</sup>	ND	ND	ND	-
Total mineral content	1.182±0.035 <sup>b</sup>	1.213±0.087 <sup>ab</sup>	1.254±0.050 <sup>ab</sup>	1.295±0.016 <sup>a</sup>	2.495

<sup>1)</sup>PET, pre-enzyme treatment; LTC, liquefaction enzyme treatment conditions; 30, liquefaction for 30 min; 60, liquefaction for 60 min; 90, liquefaction for 90 min.

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

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

<sup>4)</sup>ND, not detected.

<sup>5)</sup>The significance of each coefficient was determined using both the F-value (Fisher test value) and p-value (<sup>\*</sup>Significant at p<0.1; <sup>\*\*</sup>Significant at p<0.05; <sup>\*\*\*</sup>Significant at p<0.01).

**Table 3. Changes in total dietary fiber content of farro according to liquefaction treatment conditions (g/100 g)**

Sample <sup>1)</sup>	PET	LTC (min)			F-value <sup>4)</sup>
		30	60	90	
Total dietary fiber content	5.68±0.44 <sup>2)a3)</sup>	2.93±0.89 <sup>c</sup>	4.53±0.16 <sup>b</sup>	4.13±0.35 <sup>b</sup>	13.278 <sup>**</sup>
Soluble fiber content	3.14±0.30 <sup>a</sup>	1.75±0.38 <sup>d</sup>	2.55±0.13 <sup>b</sup>	2.23±0.21 <sup>c</sup>	13.738 <sup>**</sup>
Insoluble fiber content	2.54±0.18 <sup>a</sup>	1.18±0.53 <sup>c</sup>	1.98±0.04 <sup>b</sup>	1.90±0.16 <sup>b</sup>	10.962 <sup>**</sup>

<sup>1)</sup>PET, pre-enzyme treatment; LTC, liquefaction treatment conditions; 30, liquefaction for 30 min; 60, liquefaction for 60 min; 90, liquefaction for 90 min.

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

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

<sup>4)</sup>The significance of each coefficient was determined using both the F-value (Fisher test value) and p-value (Significant at p<0.1; \*\*Significant at p<0.05; \*\*\*Significant at p<0.01).

용하는 것이 중요하다. 식이섬유는 불용성 식이섬유소와 수용성 식이섬유소로 나누어지며, 수용성 식이섬유소는 불용성 식이섬유소에 비해 보습력이 높아 식후 포만감을 지속시키고 열량 섭취량을 감소시켜 체중을 감소시키는 역할을 한다(Leeds와 Judd, 1992).

### 3.1.4 파로의 액화 조건에 따른 유리당 함량 변화

파로 곡물의 활용도를 높이기 위한 1단계 실험으로  $\alpha$ -amylase 0.1%(w/w)를 혼합하여 95°C, 50 rpm에서 처리시간(30, 60, 90 분)에 따른 유리당 함량 변화를 조사한 결과는 Table 4와 같다. 액화 전(PET) 파로 곡물의 fructose, glucose, maltose 및 sucrose 함량은 8.75, 18.78, 23.81 및 0.98 mg/g으로 maltose의 함량이 가장 높았으며, 60분 액화 처리시(LTC\_60) fructose 1.82 mg/g, glucose 4.14 mg/g 및 sucrose 0.68 mg/g으로 감소하였으나 maltose 360.40 mg/g으로 증가하였으며, LTC\_90은 LTC\_60보다 fructose 2.68 mg/g 및 glucose 6.27 mg/g으로 증가하였으나, sucrose 함량은 0.57 mg/g, maltose 355.70 mg/g으로 감

소하는 결과를 나타내었다. 이는, 파로의 소재화를 위해 액화 처리시 사용되는 효소인  $\alpha$ -amylase는 전분의  $\alpha$ -1,4 결합을 절단하는 endo type의 효소(An, 2018)로, 반응 초기에는 glucose 및 올리고당 화합물을 생성하여 maltose 함량이 증가된 것으로 생각된다. 이와 같은 결과는 Kim 등(2007)의 성숙 과정에 있는 녹색밀의 유리당 함량 분석에서 maltose의 함량이 가장 높게 나타났으며, glucose 및 sucrose 함량은 낮았다는 보고와 유사한 경향이다. 즉,  $\alpha$ -amylase는 가수분해 효소로서 전분, 글리코젠 등 고분자 탄수화물 중합체 내부의  $\alpha$ -1, 4-결합을 무작위로 분해하여 glucose, maltose 등 소당류로 전환하므로 세포 외부로부터 탄소원의 적절한 공급을 위해 중요한 역할을 하는 것으로 알려져 있다(Davies와 Henrissat, 1995). 유리당은 단당류와 이당류로 구성된 당으로 식품의 맛, 질감, 보존성 등에 중요한 역할을 하지만, 높은 온도에서는 유리당의 용해도가 증가하여 함량이 높아질 수 있으나 분해가 일어날 수도 있다(Cho, 2023). 또한, 액화 효소는 전분을 분해하여 유리당으로 전환되며, 하며, 이때 효소활성은 온도 및 pH에 영향을 받으며(Se 등, 2021), 효

**Table 4. Changes in free sugar content of farro according to liquefaction treatment conditions (mg/g)**

Sample <sup>1)</sup>	PET	LTC (min)			F-value <sup>4)</sup>
		30	60	90	
Fructose	8.75±0.90 <sup>2)a3)</sup>	1.16±0.01 <sup>d</sup>	1.82±0.18 <sup>c</sup>	2.68±0.40 <sup>b</sup>	423.952 <sup>***</sup>
Glucose	18.78±0.63 <sup>a</sup>	4.46±0.13 <sup>c</sup>	4.14±0.29 <sup>c</sup>	6.27±0.51 <sup>b</sup>	761.000 <sup>***</sup>
Maltose	23.81±1.50 <sup>d</sup>	264.62±4.99 <sup>c</sup>	360.40±7.14 <sup>a</sup>	355.70±8.16 <sup>b</sup>	5,055.012 <sup>***</sup>
Sucrose	0.98±0.20 <sup>a</sup>	0.76±0.06 <sup>b</sup>	0.68±0.06 <sup>b</sup>	0.57±0.06 <sup>b</sup>	6.815 <sup>*</sup>
Total sugar content	52.32±3.20 <sup>d</sup>	270.99±5.07 <sup>c</sup>	367.04±7.38 <sup>a</sup>	365.22±8.87 <sup>b</sup>	3,469.240 <sup>***</sup>

<sup>1)</sup>PET, pre-enzyme treatment; LTC, liquefaction treatment conditions; 30, liquefaction for 30 min; 60, liquefaction for 60 min; 90, liquefaction for 90 min.

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

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

<sup>4)</sup>The significance of each coefficient was determined using both the F-value (Fisher test value) and p-value (Significant at p<0.1; \*\*Significant at p<0.05; \*\*\*Significant at p<0.01).

소의 양과 처리시간에 따라 유리당 함량에 변화가 있으며, 처리 시간이 경과될수록 유리당 함량도 증가된다는 보고(Suh 등, 1997)에 기인된 것으로 사료되나, 추가연구가 필요하다.

### 3.1.5 파로의 액화 조건에 따른 유리아미노산 함량 변화

파로 곡물의 활용도를 높이기 위한 1단계 실험으로  $\alpha$ -amylase 0.1%(w/w)를 혼합하여 95°C, 50 rpm에서 처리시간(30, 60, 90 분)에 따른 유리아미노산 함량 변화를 조사한 결과는 Table 5 와 같다. 액화 처리 전(PET) 파로 곡물에는 총유리아미노산 함량이 96.45  $\mu\text{g/mL}$ 였으나, 액화 처리를 함으로써 24.78-20.88  $\mu\text{g/mL}$  수준으로 액화 처리(LTC)시간이 경과할수록 감소하는 경향으로, cysteine, methionine 및 isoleucine은 검출되지 않았으며, tryptophan과 aspartic acid 함량은 변화가 미비하였다.

액화 처리 전 파로 곡물에는 arginine 11.16  $\mu\text{g/mL}$ , serine 6.75  $\mu\text{g/mL}$ , alanine 5.98  $\mu\text{g/mL}$ , valine 4.62  $\mu\text{g/mL}$  순으로 함유되어 있으나, 액화 처리시간(LTC\_30, 60, 90)이 경과할수록 전체적으로 감소하여 arginine(3.07, 0.19, 0.13  $\mu\text{g/mL}$ ), serine(0.78, 0.80, 0.63  $\mu\text{g/mL}$ ), alanine(2.22, 1.37, 1.75  $\mu\text{g/mL}$ ), valine(0.47, 0.28, 0.30  $\mu\text{g/mL}$ )으로 크게 감소하였으며, proline (13.60  $\mu\text{g/mL}$ ), glutamin acid(9.15  $\mu\text{g/mL}$ )는 proline(1.95, 2.30, 2.19  $\mu\text{g/mL}$ ), glutamin acid(2.12, 1.90, 2.41  $\mu\text{g/mL}$ )로 감소하였다가 다시 증가하는 경향을 나타내었다. Choe와 Youn (2005)의 품종에 따른 밀의 아미노산 함량을 조사한 결과, 감칠맛에 영향을 미치는 glutamic acid 함량이 18-32 mg/g으로 가장 많이 함유된 아미노산이라는 보고 및 Kim 등(1997)은 밀의 글루텐을 이루는 주된 아미노산인 글루탐산은 전체 아미노산

**Table 5.** Changes in free amino acid content of farro according to liquefaction conditions ( $\mu\text{g/mL}$ )

Sample <sup>1)</sup>	PET	LTC (min)			F-value <sup>5)</sup>
		30	60	90	
Threonine	3.50±0.02 <sup>2)ab3)</sup>	0.73±0.03 <sup>b</sup>	0.70±0.01 <sup>c</sup>	0.66±0.01 <sup>c</sup>	16,403.124 <sup>***</sup>
Cysteine	0.42±0.00	ND <sup>4)</sup>	ND	ND	-
Tyrosine	2.15±0.02 <sup>a</sup>	0.68±0.02 <sup>b</sup>	ND <sup>d</sup>	0.24±0.01 <sup>c</sup>	15,892.381 <sup>***</sup>
Arginine	11.16±0.05 <sup>a</sup>	3.07±0.05 <sup>b</sup>	0.19±0.03 <sup>c</sup>	0.13±0.01 <sup>c</sup>	64,448.642 <sup>***</sup>
Alanine	5.98±0.02 <sup>a</sup>	2.22±0.02 <sup>b</sup>	1.37±0.01 <sup>d</sup>	1.75±0.02 <sup>c</sup>	42,977.506 <sup>***</sup>
Proline	13.60±0.48 <sup>a</sup>	1.95±0.14 <sup>b</sup>	2.30±0.20 <sup>b</sup>	2.19±0.10 <sup>b</sup>	1,312.891 <sup>***</sup>
Lysine	2.09±0.02 <sup>a</sup>	0.22±0.02 <sup>b</sup>	ND <sup>c</sup>	ND <sup>c</sup>	-
Histidine	1.76±0.02 <sup>a</sup>	0.68±0.09 <sup>b</sup>	0.69±0.01 <sup>b</sup>	0.58±0.02 <sup>c</sup>	446.597 <sup>***</sup>
Isoleucine	2.94±0.02	ND	ND	ND	-
Leucine	7.08±0.03 <sup>a</sup>	0.17±0.02 <sup>b</sup>	ND <sup>c</sup>	ND <sup>c</sup>	-
Methionine	1.80±0.01	ND	ND	ND	-
Phenylalanine	7.41±0.05 <sup>a</sup>	0.43±0.02 <sup>b</sup>	ND <sup>c</sup>	ND <sup>c</sup>	-
Tryptophan	4.23±0.03 <sup>a</sup>	3.56±0.10 <sup>b</sup>	3.56±0.02 <sup>b</sup>	3.51±0.06 <sup>b</sup>	102.992 <sup>***</sup>
Valine	4.62±0.02 <sup>a</sup>	0.47±0.03 <sup>b</sup>	0.28±0.01 <sup>c</sup>	0.30±0.01 <sup>c</sup>	42,162.462 <sup>***</sup>
Glutamic acid	9.15±0.06 <sup>a</sup>	2.12±0.06 <sup>c</sup>	1.90±0.01 <sup>d</sup>	2.41±0.06 <sup>b</sup>	14,161.383 <sup>***</sup>
Aspartic acid	7.90±0.22 <sup>a</sup>	6.18±0.15 <sup>c</sup>	7.78±0.14 <sup>a</sup>	7.43±0.08 <sup>b</sup>	73.960 <sup>***</sup>
Serine	6.75±0.05 <sup>a</sup>	0.78±0.02 <sup>b</sup>	0.80±0.01 <sup>b</sup>	0.63±0.01 <sup>c</sup>	37,865.984 <sup>***</sup>
Glycine	3.93±0.03 <sup>a</sup>	1.51±0.037 <sup>b</sup>	1.31±0.01 <sup>d</sup>	1.39±0.01 <sup>c</sup>	11,518.027 <sup>***</sup>
Total AA	96.45±0.65 <sup>a</sup>	24.78±0.47 <sup>b</sup>	20.88±0.32 <sup>c</sup>	21.22±0.15 <sup>c</sup>	21,582.543 <sup>***</sup>

<sup>1)</sup>PET, pre-enzyme treatment; LTC, liquefaction treatment conditions; 30, liquefaction for 30 min; 60, liquefaction for 60 min; 90, liquefaction for 90 min.

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

<sup>3)</sup>Different superscript letters ("c") in the same row indicate significant differences (p<0.05) by Duncan's multiple range test.

<sup>4)</sup>ND, not detected.

<sup>5)</sup>The significance of each coefficient was determined using both the F-value (Fisher test value) and p-value (\*Significant at p<0.1; \*\*Significant at p<0.05; \*\*\*Significant at p<0.01).

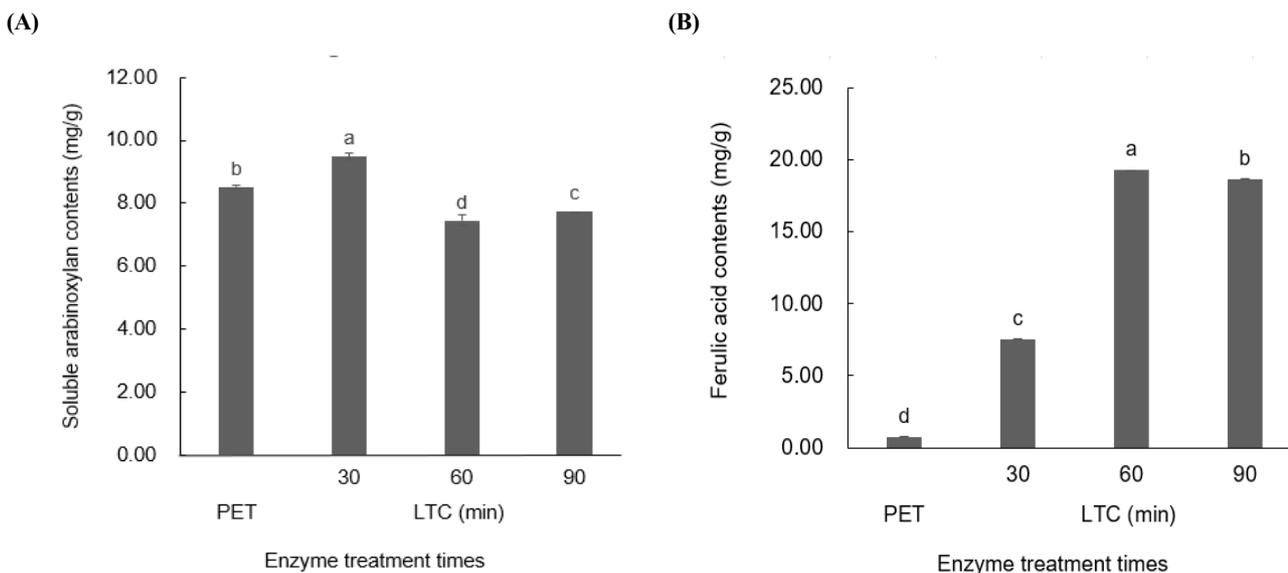
의 약 30%를 차지하였다는 보고와는 다른 양상을 나타내었다. 이와 같이, 곡물에 함유된 단백질은 효소에 의해 아미노산을 생성하며, 이는 식품 소재화할 때 맛, 색, 향에 영향을 미치며, 영양학적으로 도움이 되는 물질로 사용되며(Kang 등, 2016), 밀의 영양과 가공에서 유리아미노산의 구성 성분 함량은 중요한 요소로 작용할 수 있다. 이와 같이 유리아미노산 함량의 변화는 파로에 액화 효소 처리를 함으로써 처리 초기에는 효소에 의해 감소되었다가 처리시간이 길어질수록 증가하는 것으로 경향으로 추가적인 연구가 필요하다고 생각된다.

### 3.1.6. 파로의 액화 조건에 따른 수용성 아라비노자일란 및 페룰산 함량 변화

파로의 활용도를 높이기 위한 1단계 실험으로  $\alpha$ -amylase 0.1%(w/w)를 혼합하여 95°C, 50 rpm에서 처리시간(30, 60, 90 분)에 따른 수용성 아라비노자일란 및 페룰산 함량 변화를 조사한 결과는 Fig. 1과 같다. 액화 시간에 따른 수용성 아라비노자일란 함량 변화는 액화 전(PET)에는 8.52 mg/g이었고 30, 60, 90분의 액화 처리시간(LTC\_30, 60, 90분)에 따라 9.49 mg/g, 7.45 mg/g 및 7.72 mg/g으로 처리 초기에는 증가하였다가 감소하는 경향을 나타내었다. 이와 같이, 아라비노자일란의 함량은 증가할수록 수분 보유력이 향상되어 소재 활용시 식품의 노화를 지연시키는 역할(Michniewicz 등, 1991)과, 글루테닌과 글리아딘이 결합하여 글루텐 형성을 저해하므로 글루텐 수율을 감소시키는 역할을 한다(Wang 등, 2003). 식이섬유 중의 하

나인 아라비노자일란은 벼, 밀, 옥수수, 보리와 같은 벼과 식물의 세포벽에 헤미셀룰로즈 형태로 존재하는 다당류로서, 자일로오스(xylose, 다당류)와 아라비노스(arabinose, 다당류)로 구성되어 있어 펜토산(pentosan)으로도 알려져 있으며, 항산화, 암세포 독성효과 증진이나 면역세포 활성화 작용 등의 생리활성이 보고되어 있다(Vinkx 등, 1995).

액화 시간에 따른 페룰산 함량 변화는 액화 처리 전(PET) 0.77 mg/g으로 매우 낮은 함량이었으나, 액화 처리시간(30, 60, 90분)에 따라 7.57 mg/g, 19.29 mg/g 및 18.69 mg/g으로 증가하며 높은 함량을 나타내었다. 이와 같은 결과는 Stuper-Szablewska 등(2016)의 품종에 따른 밀의 페룰산 함량 분석에서 평균 1.158 mg/g 정도 함유되어 있다는 보고와 Baek 등(2020)의 품종에 따른 보리와 밀의 페룰산 함량 연구에서 보리 20품종은 1.66-2.77 mg/g, 밀 40여 종은 0.56-1.53mg/g 정도 페룰산 함량은 본 연구에서의 파로의 액화 처리 전(PET) 페룰산 함량(0.77 mg/g)보다는 높은 함량이지만, 액화 처리(LTC)함으로써 페룰산 함량이 10배 이상 증가시킬 수 있음을 확인할 수 있었다. 페룰산(ferulic acid, 4-hydroxy-3-methoxycinnamic acid)은 밀과 보리의 과피, 종피, 호분층을 포함하는 bran에 주로 분포되어 있으며, 곡물에 함유된 페놀화합물의 90% 정도로써 생리활성 물질의 원료가 되기도 한다(Baek 등, 2020). 이상의 결과에서 파로에 함유된 수용성 아라비노자일란 및 페룰산 함량을 증가시키기 위해서는 액화 효소[ $\alpha$ -amylase 0.1%(w/w)]를 혼합하여 95°C, 50 rpm에서 60분간 액화 효소 처리를 하는 것이



**Fig. 1.** Changes in soluble arabinoxylan (A) and ferulic acid contents (B) of farro according to liquefaction conditions. PET, pre-enzyme treatment; LTC, liquefaction treatment conditions; 30, liquefaction for 30 min; 60, liquefaction for 60 min; 90, liquefaction for 90 min. All values are mean $\pm$ SD (n=3). Different superscript letters (<sup>a-d</sup>) on the bars indicate significant differences (p<0.05) by Duncan's multiple range test. The significance of each coefficient was determined using both the F-value (Fisher test value) and p-value (\*Significant at p<0.1; \*\*Significant at p<0.05; \*\*\*Significant at p<0.01).

적합하다고 생각된다.

### 3.2 파로 곡물의 당화 조건 설정

#### 3.2.1. 파로의 당화 조건에 따른 pH, 당도 및 색도 변화

1단계  $\alpha$ -amylase 0.1%(w/w)를 혼합한 후 95°C, 50 rpm에서 30, 60, 90분 처리하여 총식이섬유 함량 및 유효성분인 아라비노자일란과 페룰산 함량 변화를 조사한 결과, 95°C, 50 rpm에서 60분이 적절하다고 판단되었다. 이에 1단계 적정 액화 조건(95°C, 50 rpm, 60분)을 바탕으로 하여, 2단계 당화 조건을 설정하기 위해  $\beta$ -amylase 0.1%(w/w)를 혼합하여 55°C, 50 rpm에서 당화 처리시간(120, 240, 360분)에 따른 pH, 당도 및 색도 변화를 조사한 결과는 Table 6과 같다. 파로 곡물에 대하여 2단계의 당화 시간(STC)에 따른 pH 및 색도를 측정된 결과 그 변화는 미미하였으나, 당도의 변화는 시간이 길어질수록 증가하는 경향을 나타내었다( $p < 0.05$ ). pH 변화는 1단계 LTC\_60은 pH 5.93이었으며, STC\_120분과 240분에는 pH 5.93 및 pH 5.94로 변화가 없었으나, 360분에는 pH 5.85로 다소 낮아지는 것을 확인하였다. 이와 같은 결과는 Jung(2023)의 품종에 따른 쌀당화액의 pH가 6.38-6.79였고 당화액 제조 시간의 경과에 따라 pH 6.09-6.11로 낮아진다는 연구 결과와 유사하였다. 당도 변화는 LTC\_60, 9.70 °Brix였으나, STC\_120, 240, 360분 처리시 16.80, 18.20 및 19.00 °Brix로 당화 시간이 길어질수록 유의적으로 증가하는 경향을 나타내었다( $p < 0.05$ ). Jung(2023)의 품종에 따른 쌀당화액의 당도 변화가 초기 6.00-8.40 °Brix에서 당화 시간이 경과할수록 15.60-17.60 °Brix로 2.5배 정도 증가하였으며, 이와 같이 당화 시간이 경과할수록 당화액의 당도가 증가하는 것은 곡물 전분질이 amylase 작용으로 분해되어 생성되는 당이 많아짐에 따른 것이라 보고한 바와 같은 결과라 생각된다. 이상의 결과로 파로의 당화 처리는 55°C, 50 rpm에

서 240분에 적절하다고 생각된다. 색도 변화에서는 1단계 액화 60분 처리 파로 발효물은 L값 50.1, a값 2.1 및 b값 22.9였으나, 당화 처리(STC)는 시간에 관계없이 거의 차이를 나타내지 않았다. 쌀의 당화에 의한 색은 당의 종류, 당화 온도 및 pH 등에 의해서 영향을 많이 받는다고 알려져 있다(Hwang 등, 2011).

#### 3.2.2. 파로의 당화 조건에 따른 총식이섬유 함량 변화

적정 액화 조건을 바탕으로 하여, 당화 조건을 설정하기 위해  $\beta$ -amylase 0.1%(w/w)를 혼합하여 55°C, 50 rpm에서 당화 처리시간(STC\_120, 240, 360분)에 따른 총식이섬유 함량 변화를 조사한 결과는 Table 7과 같다. 액화 처리 60분(LTC\_60) 처리시 4.53 mg/100 g은 당화 처리시간(STC)에 따라 총식이섬유 함량은 STC\_240 4.40 mg/100 g까지는 유의적 변화가 없었으나 STC\_360처리 시 3.95 mg/100 g에서는 유의적으로 감소하였다( $p < 0.05$ ). 이는 STC\_240까지의 수용성 식이섬유 및 불용성 식이섬유 함량 변화 역시 미미하였으나, STC\_360에는 수용성 식이섬유(2.55 mg/100 g에서 2.25 mg/100 g) 및 불용성 식이섬유 함량(1.98 mg/100 g에서 1.69 mg/100 g)으로 감소하는 것으로 240분의 당화 효소 처리를 하는 것이 적절하다고 생각된다( $p < 0.05$ ). 곡류에는 수용성 식이섬유보다 불용성 식이섬유 함량이 매우 높으며, 전곡립(whole grains)에는 arabinoxylans와 cellulose과 같은 불용성 식이섬유 비율이 높아, 변비 해소 효과가 있다(Napolitano 등, 2006). 효소적 처리 방법은 식이섬유의 조직 구조를 수용화 함으로써 수용성 식이섬유 함량을 증가시킬 수 있어 혈중 콜레스테롤 함량 감소 등 생리활성 효과를 기대할 수 있다(Yoon 등, 2022).

#### 3.2.3. 파로의 당화 조건에 따른 유리당 함량 변화

적정 액화 조건인  $\alpha$ -amylase 0.1%(w/w)를 혼합한 후 95°C,

**Table 6.** Changes in quality of farro according to saccharification treatment conditions

Sample <sup>1)</sup>	LTC	STC (min)			F-value <sup>4)</sup>	
		120	240	360		
pH	5.93±0.01 <sup>2)ab3)</sup>	5.93±0.03 <sup>a</sup>	5.94±0.02 <sup>a</sup>	5.85±0.01 <sup>b</sup>	12.538 <sup>**</sup>	
°Brix	9.7±0.47 <sup>d</sup>	16.8±0.25 <sup>c</sup>	18.2±0.40 <sup>a</sup>	19.0±0.01 <sup>a</sup>	481.419 <sup>***</sup>	
Hunter' color value	L	50.1±1.37 <sup>a</sup>	46.7±1.57 <sup>b</sup>	47.3±0.44 <sup>b</sup>	46.2±0.81 <sup>b</sup>	9.842 <sup>**</sup>
	a	2.1±0.31 <sup>a</sup>	0.9±0.64 <sup>b</sup>	1.7±0.91 <sup>a</sup>	1.6±0.32 <sup>ab</sup>	4.715 <sup>*</sup>
	b	22.9±0.60 <sup>a</sup>	21.9±0.21 <sup>b</sup>	22.7±0.47 <sup>ab</sup>	21.9±0.31 <sup>b</sup>	4.276 <sup>*</sup>

<sup>1)</sup>LTC, liquefaction treatment conditions for 60 min; STC, saccharification treatment condition; 120, saccharification for 120 min; 240, saccharification for 240 min; 360, saccharification for 360 min.

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

<sup>3)</sup>Different superscript letters (<sup>a-d</sup>) in the same row indicate significant differences ( $p < 0.05$ ) by Duncan's multiple range test.

<sup>4)</sup>The significance of each coefficient was determined using both the F-value (Fisher test value) and p-value (<sup>\*</sup>Significant at  $p < 0.1$ ; <sup>\*\*</sup>Significant at  $p < 0.05$ ; <sup>\*\*\*</sup>Significant at  $p < 0.01$ ).

**Table 7. Changes in total dietary fiber content of farro according to saccharification conditions (g/100 g)**

Sample <sup>1)</sup>	LTC	STC (min)			F-value <sup>4)</sup>
		120	240	360	
Total dietary fiber content	4.53±0.16 <sup>2)a3)</sup>	4.51±0.02 <sup>a</sup>	4.40±0.03 <sup>a</sup>	3.95±0.03 <sup>b</sup>	30.043 <sup>***</sup>
Soluble fiber content	2.55±0.13 <sup>a</sup>	2.53±0.01 <sup>a</sup>	2.47±0.01 <sup>a</sup>	2.25±0.01 <sup>b</sup>	12.591 <sup>**</sup>
Insoluble fiber content	1.98±0.04 <sup>a</sup>	1.98±0.01 <sup>a</sup>	1.92±0.01 <sup>b</sup>	1.69±0.01 <sup>c</sup>	96.271 <sup>***</sup>

<sup>1)</sup>LTC, liquefaction treatment conditions for 60 min; STC, saccharification treatment condition; 120, saccharification for 120 min; 240, saccharification for 240 min; 360, saccharification for 360 min.

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

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

<sup>4)</sup>The significance of each coefficient was determined using both the F-value (Fisher test value) and p-value (<sup>^</sup>Significant at p<0.1; <sup>\*\*</sup>Significant at p<0.05; <sup>\*\*\*</sup>Significant at p<0.01).

50 rpm, 60분 처리 조건을 바탕으로 하여, 당화 조건을 설정하기 위해  $\beta$ -amylase 0.1%(w/w)를 혼합하여 55°C, 50 rpm에서 당화 처리시간(120, 240, 360분)에 따른 유리당 함량 변화를 조사한 결과는 Table 8과 같다. 파로 곡물은 1단계 액화(95°C, 50 rpm, 60분) 후 2단계 당화 시간(STC\_120, 240, 360분)에 따른 fructose의 함량은 감소하였으나, glucose, maltose 및 sucrose 함량은 유의적으로 증가하여(p<0.05) 총유리당 함량은 증가하는 경향을 나타내었다. 이와 같은 결과는 액화 처리 전(PET) 파로 시료의 유리당 함량은 fructose 8.75 mg/g, glucose 18.78 mg/g, maltose 23.81 mg/g 및 sucrose 0.98 mg/g이나, STC\_120(0.93, 5.52, 458.49 및 5.18 mg/g), STC\_240(0.31, 7.80, 477.37 및 5.56 mg/g), STC\_360(0.71, 8.61, 511.04 및 5.44 mg/g)으로 높은 함량으로, 액화 처리시간이 길어질수록, fructose 함량은 많이 감소하였으며, sucrose 함량이 가장 많이 증가하였다. 파로의 소재화를 위해 당화 처리시 사용되는 효소인  $\beta$ -amylase는 전분 또는 amylose의  $\alpha$ -1.4 결합을 비환원성인 maltose 단위로 가수분해하는 exo-type 효소로서, 발효당을 생산하는 역할(An,

2018)을 하는 것에서 기인된 것으로 보여진다. 따라서, 곡류 전분의 액화와 당화 과정은 열에 안정한  $\alpha$ -amylase와 90-95°C의 고온에서 증자함으로써 호화된 전분(gelatinized starch)은 80°C에서  $\alpha$ -amylase에 의해 액화(liquified)되는 것으로 알려져 있다(Aschengreen 등, 1979). 곡류 전분은 분해되어 맥아당(maltose)으로 전환되며, 이는 꿀이나 설탕과는 또 다른 단맛을 낸다. 맥아당은 두 분자의 포도당(glucose)이 결합하여 만들어진 것으로 단맛은 설탕의 약 1/3 정도이고 발효 공정에서 생성된다(Se 등, 2021). 이상의 결과를 바탕으로, 파로 소재화를 위한 당화 처리는 55°C, 50 rpm에서 240분 이상 하는 것이 적절하다고 사료된다.

### 3.2.4. 파로의 당화 조건에 따른 수용성 아라비노자일란 및 페롤산 함량 변화

1단계 적정 액화 조건[ $\alpha$ -amylase 0.1%(w/w), 95°C, 50 rpm, 60분]을 바탕으로 하여, 당화 조건을 설정하기 위해  $\beta$ -amylase 0.1%(w/w)를 혼합하여 55°C, 50 rpm에서 당화 시간(STC\_120,

**Table 8. Changes in free sugar content of farro according to saccharification conditions (mg/g)**

Sample <sup>1)</sup>	LTC	STC (min)			F-value <sup>4)</sup>
		120	240	360	
Fructose	1.82±0.18 <sup>2)a3)</sup>	0.93±0.12 <sup>b</sup>	0.31±0.06 <sup>c</sup>	0.71±0.07 <sup>b</sup>	80.609 <sup>***</sup>
Glucose	4.14±0.29 <sup>d</sup>	5.52±0.42 <sup>c</sup>	7.80±0.21 <sup>b</sup>	8.61±0.22 <sup>a</sup>	140.497 <sup>***</sup>
Maltose	360.40±7.14 <sup>d</sup>	458.49±5.25 <sup>c</sup>	477.37±6.51 <sup>b</sup>	511.04±7.75 <sup>a</sup>	357.650 <sup>***</sup>
Sucrose	0.68±0.06 <sup>b</sup>	5.18±0.38 <sup>a</sup>	5.56±0.1 <sup>a</sup>	5.44±0.18 <sup>a</sup>	338.263 <sup>***</sup>
Total free sugar	367.04±7.38 <sup>d</sup>	470.12±4.86 <sup>c</sup>	491.04±6.58 <sup>b</sup>	525.80±7.76 <sup>a</sup>	407.877 <sup>***</sup>

<sup>1)</sup>LTC, liquefaction treatment conditions for 60 min; STC, saccharification treatment condition; 120, saccharification for 120 min; 240, saccharification for 240 min; 360, saccharification for 360 min.

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

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

<sup>4)</sup>The significance of each coefficient was determined using both the F-value (Fisher test value) and p-value (<sup>^</sup>Significant at p<0.1; <sup>\*\*</sup>Significant at p<0.05; <sup>\*\*\*</sup>Significant at p<0.01).

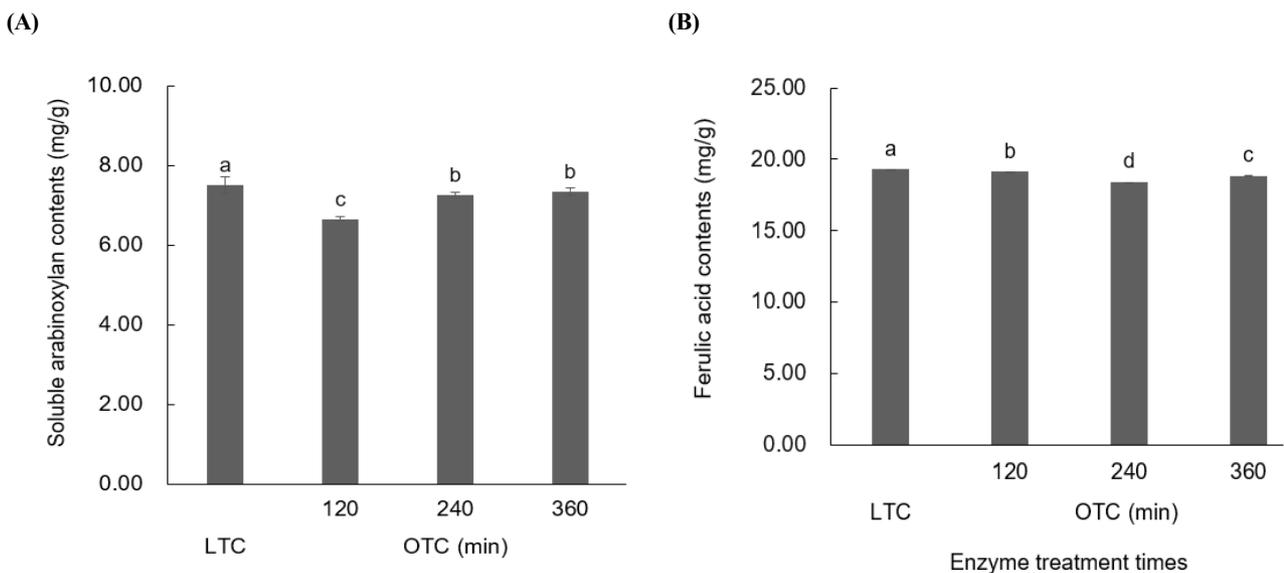
240, 360분)에 따른 수용성 아라비노자일란 및 페룰산 함량 변화를 조사한 결과는 Fig. 2와 같다. 수용성 아라비노자일란 함량은 액화 처리 60분에서 7.54 mg/g이었고, 당화 처리 120분에는 6.54 mg/g으로 조금 감소하였으나, 당화 처리시간(STC\_240, 360분)이 길어질수록 7.15 및 7.24 mg/g으로 증가하였다. 5탄당으로 이루어진 아라비노자일란은 비전분 성분으로 배유 및 호분층에 전체의 60-70%정도 함유되어 있으며(Han, 2000), 면역세포의 활성 증가, 노인성 및 대사질환 등 기능성 효과가 있고, 밀가루의 가공적성에 영향을 미치는 것으로 알려져 활용 방법에 대한 관심이 증가되고 있는 물질 중의 하나이다(Elsaid 등, 2020). 이와 같은 결과는 Wang 등(2014)의 밀기울에 효소 처리하였을 때, 50°C에서 추출 및 추출 시간이 증가할수록 높은 수율을 나타내었다는 보고와 비슷한 경향을 나타내었다. 파로 곡물을 이용한 액화 및 당화 시간에 따른 수용성 아라비노자일란의 함량이 증가하는 것으로 사료되며, 액화 온도 및 시간에 따라 당류의 변화와 관련이 있는 것으로 생각되며, 추가 연구가 필요하다고 판단된다.

페룰산 함량은 파로 곡물의 1단계 적정 액화 조건(95°C, 50 rpm, 60분, LTC)에서는 19.29 mg/g이었다. 2단계 당화 처리에서는 시간(STC\_120, 240, 360분)별로 각각 19.14, 17.89 및 18.65 mg/g으로써, 당화 240분까지는 감소하다가 360분 당화 과정에서 조금 증가하는 경향을 나타내었으나( $p < 0.05$ ), 2단계 당화 시간에 따른 변화는 크게 나타나지 않았다. 페룰산은 식물의 세포벽에서 발견되는 식물성 폴리페놀의 일종으로 도정하

지 않은 곡물, 사탕수수, 바나나, 가지, 커피 등에 다량 함유되어 있다(Mori 등, 2017). 이상의 결과로, 2단계 파로의 당화 조건은 95°C, 50 rpm에서 240분이 적합하며, 추가 연구가 필요하다고 사료된다.

#### 4. 요약

본 연구는 고대 곡물 파로의 건강기능 소재화를 위하여 적정 액화 및 당화 조건 설정을 위해 각 공정에 따른 품질특성 변화를 조사하였다. 1단계 액화 처리하였을 때, 액화 전(PET) 시료의 pH는 6.05였으나 처리시간이 길어질수록 pH 5.96 및 pH 5.93으로 감소하는 경향이였다. 당도는 PET는 4.4 °Brix, 90분 액화 후(LTC\_90)는 12.6 °Brix로 증가하였으며, 유리당은 maltose 함량이 증가하는 경향을 나타내었다. 파로 곡물에 함유된 총무기질 함량 및 총식이섬유 함량은 액화 여부에 따른 유의적 함량 변화는 없었다. 수용성 아라비노자일란 함량은 PET 시료에서 8.52 mg/g, 액화(LTC) 시간(30, 60, 90분)에는 각각 9.49 mg/g, 7.45 mg/g 및 7.72 mg/g으로 유의적으로 증가하다가 감소하는 경향이였다( $p < 0.05$ ). 또한, 페룰산 함량은 PET 시료는 0.77 mg/g으로 매우 낮은 함량이였으나, LTC 시간에 따라 각각 7.57 mg/g, 19.29 mg/g 및 18.69 mg/g으로 매우 높게 증가하였다( $p < 0.05$ ). 이상의 결과를 바탕으로 1단계의 적정 액화 공정(95°C, 50 rpm, 60분)을 설정한 다음, 2단계 당화 공정은 55°C, 50 rpm에서 시간별(120, 240, 360분)로 품질 특성을 조



**Fig. 2.** Changes in soluble arabinoxylan (A) and ferulic acid contents (B) of farro according to saccharification conditions. LTC, liquefaction treatment conditions for 60 min; STC, saccharification treatment condition; 120, saccharification for 120 min; 240, saccharification for 240 min; 360, saccharification for 360 min, All values are mean $\pm$ SD (n=3). Different superscript letters (<sup>a-d</sup>) on the bars indicate significant differences ( $p < 0.05$ ) by Duncan's multiple range test. The significance of each coefficient was determined using both the F-value (Fisher test value) and p-value (\*Significant at  $p < 0.1$ ; \*\*Significant at  $p < 0.05$ ; \*\*\*Significant at  $p < 0.01$ ).

사하였을 때 pH, 색도 및 총식이섬유 함량은 변화가 미미하였다. 당화 처리시간이 경과함에 따라 당도는 9.70 °Brix에서 19.00 °Brix로, maltose 함량이 360.40 mg/g에서 511.04 mg/g으로 크게 증가하였다( $p < 0.05$ ). 수용성 아라비노자일란 및 페룰산 함량은 감소하는 경향을 나타내었다. 이상의 결과에서 고대 곡물 파로를 활용한 다양한 건강기능 소재 개발을 위해서는, 설정된 1단계 적정 액화 조건(95°C, 50 rpm, 60분) 바탕에서의 2단계의 당화 처리(55°C, 50 rpm, 240분)가 적절하다고 생각되지만, 보다 적합한 당화 처리 조건 설정을 위해서는 유리당 함량, 수용성 아라비노자일란 및 페룰산 함량 등 주요 성분 변화에 대한 추가 연구가 필요하다.

### Funding

None.

### Acknowledgements

None.

### Conflict of interests

The authors declare no potential conflicts of interest.

### Author contributions

Conceptualization: Kim SH, Jeong YJ, Kwon JH. Methodology: Oh SY, Jeong YJ. Validation: Kim SH, Kwon JH. Writing - original draft: Kim SH, Jeong YJ. Writing - review & editing: Kim SH, Jeong YJ, Kwon JH.

### Ethics approval

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

### ORCID

Sun Hwa Kim (First author)

<https://orcid.org/0000-0002-7786-9236>

Shin Young Oh

<https://orcid.org/0009-0008-4988-6320>

Yong-Jin Jeong (Corresponding author)

<https://orcid.org/0000-0002-5712-2856>

Joong-Ho Kwon (Corresponding author)

<https://orcid.org/0000-0002-3875-1438>

### References

An JO. Characteristic of Korean rice liquor made from different rice pre-treatments. Ph D Thesis, Sejong

University, Korea, p 34-44 (2018)

AOAC, Official Methods of Analysis. 15th ed, Association of Official Analytical Chemists, Washionton DC, USA, p 115 (1996)

Aschengreen NH, Nielsen BH, Rosendal P, Østergaard J. Liquefaction, saccharification and isomerization of starches from sources other than maize. *Starch/Stärke*, 31, 64-66 (1979)

Baek SG, Kim SS, Jang JY, Kim JS, Lee TRS. Ferulic acid content of barley and wheat grains and head blight resistance. *Res Plant Dis*, 26, 250-255 (2020)

Bandyopadhyay K, Misra G, Ghosh S. Preparation and characterisation of protein hydrolysates from Indian defatted rice bran meal. *J Oleo Sci*, 57, 47-52 (2008)

Cho JH. Effects of growing climatic environment on growth, soluble sugar, and enzyme activity changes in asian pear fruits. Ph D Thesis, Chonnam National University, Korea, p 4-8 (2023)

Choe JS, Youn JY. The chemical composition of barley and wheat varieties. *J Korean Soc Food Sci Nutr*, 34, 223-229 (2005)

Christopher A, Sarkar D, Zwinger S, Shetty K. Ethnic food perspective of North Dakota common emmer wheat and relevance for health benefits targeting type 2 diabetes. *J Ethnic Foods*, 5, 66-74 (2018)

Davies G, Henrissat B. Structure and mechanism of glycosyl hydrolases. *Structure*, 3, 853-859 (1995)

Dhanavath S, Prasada Rao UJS. Nutritional and nutraceutical properties of *Triticum Dicocum* wheat and its health benefits: An overview. *J Food Sci*, 82, 2243-2250 (2017)

Douglas SG. A rapid method for the determination of arabinoxylans in wheat flour. *Food Chem*, 7, 139-145 (1981)

Elsaid AF, Fahmi RM, Shaheen M, Ghoneum M. The enhancing effects of Biobran/MGN-3, an arabinoxylan rice bran, on healthy old adults' health-related quality of life: A randomized, double-blind, placebo-controlled clinical trial. *Qual Life Res*, 29, 357-367 (2020)

Han JY. Structural characteristics of arabinoxlan in barley, malt, and beer. *Food Chem*, 70, 131-138 (2000)

Harlan JR, de Wet MJM. Toward a rational classification of cultivated plants. *Taxon*, 20, 509-517 (1971)

Hwang IG, Yang JW, Kim JY, Yoo SM, Kim GC, Kim JS. Quality characteristics of saccharified rice gruel prepared with different cereal *Koji*. *J Korean Soc Food Sci Nutr*, 40, 1617-1622 (2011)

Jung IK. Quality characteristics of Jeung-Pyun added wity saccharified solution of various rice cultivars. Ph D Thesis, Suncheon National University, Korea, p 46-60 (2023)

Kang HM, Oh SY, Kang HM, Kwon JH, Jeong YJ. Quality characteristics of *in vitro* luwak coffee produced using

- enzyme and microbial complexes. *Korean J Food Preserv*, 30, 287-299 (2023)
- Kang JE, Choi HS, Kim JW, Kim CW, Yeo SW, Jeong ST. Quality characteristics of Yakju with Nuruk extracts. *Korean J Food Sci Technol*, 48, 223-230 (2016)
- Kim CT, Cho SJ, Hwang JK, Kim CJ. Composition of amino acids, sugars and mineral of domestic wheat varieties. *J Korean Soc Food Nutr*, 26, 229-235 (1997)
- Kim MC, Lee KS, Lee BJ, kwon BG, Ju JI, Gu JH, Oh MJ. Changes on the physicochemical characteristics of green wheat during maturation. *J Korean Soc Food Sci Nutr*, 36, 1307-1313 (2007)
- Korean Food Composition Table. National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development of Administration, 10th Revision. p 46 (2021)
- Kwon JH, Kim YS, Kim HJ, Park KH, Park YK, Lee KT. *Food Chemistry*. Shinkwang Press, Seoul, p 65-68 (2017)
- Lacchman J, Orsák M, Pivec V, Jirů K. Antioxidant activity of grain of einkorn (*Triticum monococcum* L.), emmer (*Triticum dicoccum* Schuebl[Schrank]) and spring wheat (*Triticum aestivum* L.) varieties. *Plant Soil Environ*, 58, 15-21 (2012)
- Leeds AR, Judd PA. Dietary fiber and weight management in dietary fiber, endocrine and metabolism effects, Lente carbohydrate. Plenum Press, 69, 335-342 (1992)
- Luo MC, Yang ZL, You FM, Kawahara T, Waines JG, Dvorak J. The structure of wild and domesticated emmer wheat populations, gene flow between them, and the site of emmer domestication. *Theor Appl Genet*, 114, 947-959 (2007)
- Martinek K, Semenov AN. Enzyme catalysis in organic synthesis. *Russian Chemical Reviews*, 50, 718-734 (1981)
- Michniewicz J, Bilideris CG, Bushuk W. Effect of added pentosans on some physical and technological characteristics of dough and gluten. *Cereal Chem*, 68, 252-258 (1991)
- Mori T, Koyama N, Tan J, Segawa T, Maeda M, Town T. Combination therapy with octyl gallate and ferulic acid improves cognition and neurodegeneration in a transgenic mouse model of Alzheimer's disease. *J Biol Chem*, 292, 11310-11325 (2017)
- Napolitano A, Lanzuise S, Ruocco M, Arlotti G, Ranieri R, Knutsen SH, Lorito M, Fogliano V. Treatment of cereal products with a tailored preparation of Tricoderma enzymes increases the amount of soluble dietary fiber. *J Agric Food Chem*, 54, 7863-7869 (2006)
- Oh SY, Seo JH, Choi JS, Kim TH, Oh SH. Effects of harvestion time on yield and forage value of a winter wheat cultivar 'Cheongwoo'. *Korean J Agri Fore Meteo*, 25, 172-181 (2023)
- Park EJ. *Sikhye* standard specification. *Bulletin Food Tech*, 8, 124-129 (1995)
- Sathiyavani E, Prabakaran NK, Surendar KK. Role of mineral nutrition on root growth of crop plants. *Int J Curr Microbiol App Sci*, 6, 2810-2837 (2017)
- Se GH, Se JS, Lee SK, Jeong HS, Yoon ER, Lee YJ. *New Nutrition*. Jigu Cult. Co. Ltd, Paju, Korea, p 32-51 (2021)
- Shewry PR, Hey S. Do ancient wheat species differ from modern bread wheat in their contents of bioactive components. *J Cereal Sci*, 65, 236-243 (2015)
- Shin KO. Analysis of the general and mineral compositions of Kamut powder and effect of Kamut (*Triticum turanicum* Jakubz) powder and its effect on blood parameters in mice fed a high-fat diet supplement. *Korean J Food Nutr*, 30, 1157-1163 (2017)
- Stehno Z. Emmer wheat rudico can extend the spectra of cultivated plants. *Czech J Genet Plant Breed*, 43, 113-115 (2007)
- Stuper-Szablewska K, Kurasiak-Popowska D, Nawracala J, Perkowski J. Study of metabolite profiles in winter wheat cultivars induced by Fusarium infection. *Cereal Res Commun*, 44, 572-584 (2016)
- Suh HJ, Chung SH, Whang JH. Characteristics of Sikhye-produced with malt of naked barley, covered barley and wheat. *Korean J Food Sci Technol*, 29, 716-721 (1997)
- Tilay A, Bule M, Kishenkumar J, Annature U. Preparation of ferulic acid from agricultural wastes: Its improved extraction and purification. *J Agric Food Chem*, 56, 7644-7648 (2008)
- Vinkx CJA, Stevens I, Gruppen H, Grobet PJ, Delcour JA. Physicochemical and functional properties of rye non-starch polysaccharides.-VI. Variability in the structure of water-unextractable arabinoxylans. *Cereal Chem*, 72, 411-418 (1995)
- Wang J, Sun B, Liu Y, Zhanag H. Optimisation of ultrasound-assisted enzymatic extraction of arabinoxylan from wheat bran. *Food Chem*, 150, 482-488 (2014)
- Wang M, Hamer RJ, Vliet T, Gruppen H, Marseille H, Weegles PL. Effect of water unextractable solid on gluten formation and properties: Mechanistic considerations. *J Cereal Sci*, 37, 55-64 (2003)
- Watts EJ, Shen Y, Lansky EP, Nevo E, Bobe G, Traber MG. High environmental stress yields greater tocotrienol content while changing vitamin E profiles of wild emmer wheat seeds. *J Med Food*, 18, 216-223 (2015)
- Yoon JE, Lee KY, Lee HG. Physicochemical properties of enzyme treated-dietary fibers from whole grain and the quality characteristics of cakes. *Korean J Food Sci Technol*, 54, 490-497 (2022)
- Zaharieva M, Ayana NG, Hakimi AA, Misra SC, Monneveux P. Cultivated emmer wheat (*Triticum dicoccon* Schrank), an old crop with promising future: A review. *Genet Resour Crop Evol*, 57, 937-962 (2010)