

## 국내에서 재배된 밀 유전자원의 통밀에서 단백질 및 아라비노자일란 함량 분석

양진우<sup>1</sup> · 박진희<sup>2</sup> · 손재한<sup>1</sup> · 김경훈<sup>2</sup> · 김경민<sup>2</sup> · 정한용<sup>2</sup> · 강천식<sup>2</sup> · 손지영<sup>3</sup> · 박태일<sup>3</sup> · 최창현<sup>2,†</sup>

### Protein and Arabinoxylan Contents of Whole Grains from Wheat Genetic Resources Cultivated in Korea

Jinwoo Yang<sup>1</sup>, Jinhee Park<sup>2</sup>, Jae-Han Son<sup>1</sup>, Kyeong-Hoon Kim<sup>2</sup>, Kyeong-Min Kim<sup>2</sup>, Han-Yong Jeong<sup>2</sup>, Chon-Sick Kang<sup>2</sup>, Ji-Young Son<sup>3</sup>, Tae-Il Park<sup>3</sup>, and Changhyun Choi<sup>2,†</sup>

**ABSTRACT** Recently, phytochemicals in whole grains have received increasing attention because the increased consumption of whole grains and whole grain products has been associated with a reduced risk of chronic diseases. Among the phytochemicals in whole wheat, arabinoxylan influences various physiological activities and can aid the treatment of numerous health conditions, either directly or indirectly. In this study, 614 wheat germplasms, collected from the world, were cultivated in 2018 and harvested in 2019 in South Korea. The qualities of these whole grains, including seed protein content, were evaluated using the NIR spectrophotometric method, and arabinoxylan content was determined using enzymatic methods. The ash content was 0.36 to 2.80% and protein content was 7.66 to 20. The SDS-sedimentation for gluten complex ability ranged from 26.85 to 80.63 mL, and protein content showed a high correlation with SDS-sedimentation in the germplasms. Verify the result of the enzymatic method of arabinoxylan, the reliability of the experimental method was determined through repeatability, reproducibility, and recovery. The average value of the 614 resources was 51.64 mg/g of whole grain, and when classified according to the country of origin, the South Korean origin resources tended to have a higher content compared to the genetic resources of other countries. These results are expected to be used as basic data for setting standards for whole grain quality in wheat breeding systems.

**Keywords** : arabinoxylan, NIR, wheat, whole grain

**최근** 통곡물(whole grain)은 신체 건강에 도움이 되고 대사질환을 개선할 수 있는 효과가 있는 것으로 알려져 그 수요가 증가하고 있다. 통곡물은 신체 건강에 도움을 줄 수 있는 식이섬유(dietary fiber), 비타민(vitamines), 무기질(minerals) 및 다양한 생리활성 물질(phytochemicals)을 정제된 곡물보다 많이 함유하고 있는 것으로 보고되고 있으며(Okarter & Liu, 2010) 관련 연구에서는 통곡물의 섭취가 당뇨, 암, 고혈압, 심혈관 질환과 같은 만성 및 노인성 질환에 효과가 있는 것으로 보고된 바 있다(Albertson *et al.*, 2016; Marventano

*et al.*, 2017). 통곡물에 다량 함유되어 있는 식이섬유는 탄수화물 중 신체의 소장에서 소화 효소에 의해 소화, 흡수되지 않는 물질을 의미하며 일반적으로 대부분의 식이섬유는 대장에서 장내미생물에 의하여 부분적으로 분해되고 흡수된다(Tieri *et al.*, 2020).

이러한 식이섬유는 최근 항암, 면역강화, 항염증 및 항균 활성 등 다양한 체내 생리활성에 관여하는 것으로 보고되고 있으며(Schatzkin *et al.*, 2008), 특히 밀과 같은 벼과 식물의 종자 외피에는 자일로스(xylose) 그리고 아라비노스(arabinose)

<sup>1</sup>농촌진흥청 국립식량과학원 밀연구팀 박사 후 연구원 (Post Doctorate Researcher, Wheat Research Team, National Institute of Crop Science, RDA, Wanju 55365, Korea)

<sup>2</sup>농촌진흥청 국립식량과학원 밀연구팀 농업연구사 (Agriculture Researcher, Wheat Research Team, National Institute of Crop Science, RDA, Wanju 55365, Korea)

<sup>3</sup>농촌진흥청 국립식량과학원 밀연구팀 농업연구관 (Agriculture Senior Researcher, Wheat Research Team, National Institute of Crop Science, RDA, Wanju 55365, Korea)

<sup>†</sup>Corresponding author: Changhyun Choi; (Phone) +82-63-238-5454; (E-mail) [chchhy@korea.kr](mailto:chchhy@korea.kr)

<Received 25 November, 2020; Revised 12 January, 2021; Accepted 1 February, 2021>

와 같은 5탄당으로 이루어진 아라비노자일란(arabinoxylan)이 다량 존재하는 것으로 알려져 있으며(Lu *et al.*, 2000), 아라비노자일란은 곡류 세포벽 비전분 성분의 다당류로 약 2~8% 포함되어 있으며, 배유(endosperm)와 호분층(aluconlayer)에는 전체 아라비노자일란 함량 중 약 60~70%를 함유하고 있다(Han, 2000). 대부분의 밀에 함유된 아라비노자일란은 제분과정에서 제거되지만 밀가루에 잔존하는 아라비노자일란은 제빵특성과 노화에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(Biliaderis *et al.*, 1995). 일부 연구에서 수용성 아라비노자일란은 제빵과정에서 강한 보습력을 통해 반죽의 점도를 높여 반죽의 가스 보유능(gas-holding network)을 향상시키고 글루텐 결합에 영향을 미쳐 빵의 부피를 증가시킨다는 연구결과가 있다(Gudmundsson *et al.*, 1991; Kiszonas *et al.*, 2013). 이러한 결과를 토대로 불용성 아라비노자일란을 수용화시켜 제빵 특성을 개선시키기 위한 많은 연구들이 수행되었다(Courtin & Delcour, 2002; Niño-Medina *et al.*, 2010). 또한 밀가루에 포함된 아라비노자일란은 높은 보습력을 가지는 특성으로 인하여 노화를 억제한다는 연구결과들이 보고 되고 있으며 이러한 연구결과들은 밀가루에 일정량 함유된 아라비노자일란은 밀가루의 가공성을 개선시킬 수 있는 것으로 보고되고 있다(Lappi *et al.*, 2010; Knez *et al.*, 2014).

최근 아라비노자일란은 가공성에 영향을 미칠 뿐만 아니라 체내에서 다양한 기능성 효과가 있는 것으로 보고 되고 있다. 특히 아라비노자일란과 같은 일부 다당류는 면역세포에서 신호전달의 역할을 수행하는 것으로 보고되고 있으며 이 경로를 통해 면역세포의 활성을 증가시킨다는 연구결과가 보고되고 있다(Choi *et al.*, 2002). 아라비노자일란은 대식세포에서 면역반응에 중요하게 작용하는 염증반응의 지표 물질인 일산화질소(Nitrate, NO)의 생성량을 증가시키고 이와 관련된 사이토카인(cytokine)의 발현을 증가시켜 면역 및 염증반응을 활성화시키는 것으로 보고되고 있다(Mendis *et al.*, 2016). 특히 이러한 면역반응의 활성의 증가는 종양의 증식과 전이 억제와 매우 밀접한 관련이 있는 것으로 알려져 있어 더욱 중요한 활성으로 인식되고 있다(Umezawa, 2006). 일부 연구에서는 아라비노자일란은 기억력 개선과 같은 인지능력 개선에 대한 효과가 있는 것으로 보고됨에 따라서, 밀에 다량 함유된 아라비노자일란은 노인성 및 대사 질환에 있어서 기능성을 가지고 있음 보고됨에 따라서 그 관심도는 지속적으로 증가하고 있다(Elsaid *et al.*, 2020; Lee *et al.*, 2015).

하지만 국내에서 생산된 밀 자원에 대한 아라비노자일란의 함량에 대한 연구는 매우 미비한 실정이며 특히 통밀가

루 형태로서 아라비노자일란의 함량에 대한 정보는 매우 부족한 실정이다. 따라서 이 연구를 통해 국내에서 수집되고 재배되고 있는 밀 자원들에 대한 통밀의 아라비노자일란 함량을 데이터베이스화를 통해 아라비노자일란을 고함량을 가지고 있는 자원을 선별하고 이를 활용하여 고기능성 통밀용 품종 육종을 위한 기초적 자료로 활용 될 수 있을 것으로 예상된다.

## 재료 및 방법

### 실험재료

본 연구에 사용된 밀 자원은 국내 및 국외에서 수집된 614 종을 2019년 국립식량과학원 전작 포장(전주, 한국)에서 생산된 종자를 사용하였다. 각 시료는 저온창고에서 보관하였으며, 아라비노자일란 분석 시 Grinder를 이용하여 분쇄 후 체(No.50, 대한과학, 한국)를 통과시켜 균일화 후 분석 시료로 이용하였다. 분쇄 후, 실험에 이용하기 전까지 냉장조건(4°C)에서 보관하였다.

### 근적외선(Near Infrared Reflectance, NIR) 분광분석기를 통한 밀 품질 분석

밀 종자를 정선 후 측정병에 완전립 3 g을 취하여 근적외선 분광분석기(Bruker, MPA)를 이용하여 분석을 실시하였다. 각 시료는 3 반복 실험을 진행하였다. NIR을 이용하여 수분, 회분, 단백질 그리고 SDS-침전가(sodium dodecyl sulfate-sedimentation value)를 분석하였다. 각 항목 별 파장대는 수분은 9311.1~4474.3 nm이었으며, 회분은 8794.3~5191.7과 4597.7~4134.8 nm이었다. 단백질 파장 영역대는 9588.8~8100.0, 7644.8~6518.6, 6001.7~5392.3 및 4960.3~4489.7 nm이었다. 단백질의 특성을 나타내는 침전가의 파장 영역대는 8886.8~8076.8, 7621.7~5986.3, 5361.4~4991.1 및 4505.1~4158.0 nm 이었다. 각 항목은 이전 연구결과를 통해 얻은 검량선을 이용하여 각 정량을 실시하였다(Kim *et al.*, 2019). 정선된 밀 종자 시료를 측정병에 3 g을 취하여 근적외선 분광분석기를 이용하여 조사 후 스펙트럼을 얻었으며 각 시료당 3회 반복하여 분석을 실시하였다. 이때 스펙트럼에 대하여 검량선을 적용하여 각 항목에 대하여 정량을 실시하였다.

### 아라비노자일란 함량 분석

마쇄된 통밀 0.5 g을 취한 후 5 mL의 1.0 M HCl과 교반하여 100°C에서 2 시간 동안 반응 후 5 mL의 1.0 M NaOH를 이용하여 중화시켜 xylose 함량을 측정하였다. 자일로스

함량은 xylose assay kit (K-XYLOSE, Megazyme, Ireland)를 이용하였으며 제공된 실험법에 따라서 실험을 진행하였다. 중화시킨 시료를 원심분리기를 이용하여 상등액을 분리한 후 적정량으로 희석한 후 실험에 사용하였으며 자일로스의 정량은 자일로스 탈수소효소(xylose dehydrogenase)를 이용하여 자일로스의 산화과정에서 형성된 NADH의 양을 340 nm에서 측정함으로써 xylose의 함량을 측정하였다. 자일로스 표준물질을 이용하여 검량선을 작성하여 정량을 실시하였다. 분석법에 대한 검증 및 정확도를 높이기 위해 밀에서 추출한 아라비노자일란을 표준물질로 이용하여 반복성과 재현성을 측정하였다.

**통계처리**

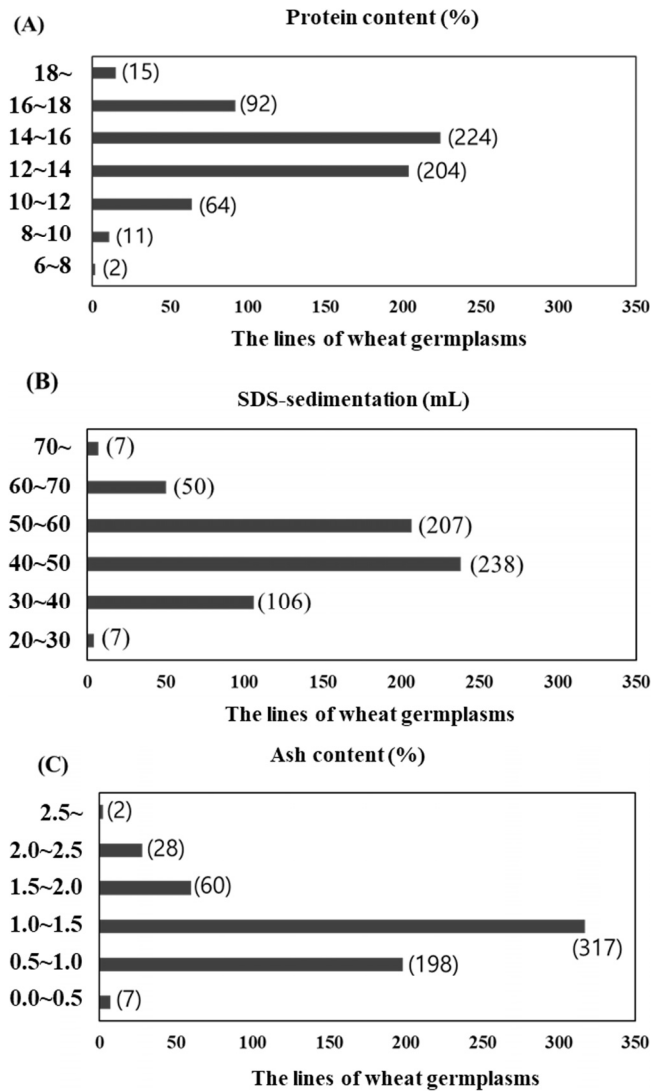
실험결과에 대한 통계 처리는 SAS program (Statistical Analytical System V9.4, SAS Institute Inc., Carry, NC, USA)을 이용하여 분석을 실시하였으며, 항목들 간의 유의성 검정은  $p < 0.05$  수준으로 ANOVA one-way Test (Duncan's test)방식을 이용하여 분석하였다. 또한 각 항목간의 상관관계를 규명하기 위하여 Pearson's 법을 이용하여  $p < 0.05$  수준으로 유의성을 검증하였다.

**결과 및 고찰**

**근적외선(Near Infrared Reflectance, NIR) 분광분석기를 이용한 밀 품질 분석**

최근 농업에서는 종자를 비롯한 농산물에 대한 빠른 품질 분석 시스템에 대한 요구가 증가하며 그 중 비파괴 검사법에 대한 관심이 증가하고 있다. 비파괴 검사법 중 하나인 근적외선 분광분석기는 가시광선과 중적외선 사이의 파장으로 주로 적외선에서 유래되는 등의 -CH, -NH, -OH 작용기의 분자진동 에너지를 결합대와 배음대로 나타내어 분석에 대한 정보를 제공한다(Chung & Kim, 2000). 최근 근적외선 분광분석기를 이용한 분석법은 농산물이 가지는 특성을 비파괴적으로 단 시간에 분석이 가능하고 시료를 재사용할 수 있어 곡류 등 다양한 농산물의 품질 분석에 적합한 것으로 알려져 있다(Magwaza *et al.*, 2012; Wu *et al.*, 2013). 본 연구에서는 밀의 주요 품질 지표인 회분, 단백질 그리고 침전가에 대해 근적외선 분광광도계를 활용해 수집된 614 자원에 대하여 분석을 실시하였다(Fig. 1). 분석 결과, 회분은 614 자원에 대하여 1.17%의 평균값을 가지고 있었으며 표준편차는 0.37이었다. 최소 회분 함량을 가지고 있는 자원은 국내에서 수집된 재래종으로 그 함량은 0.36%이었으며 최대 회분 함량을 가지고 있는 자원은 국내 개발 자

원인 수원221호로 그 함량은 2.80% 였다. 이러한 회분의 함량에 영향을 미치는 요인으로는 주로 토양의 상태와 매우 밀접한 연관성을 가지고 있으며 또한 밀기울의 함량에 따라서 영향을 받는다고 알려져 있다(Morris *et al.*, 2009; Shi *et al.*, 2017). 따라서 통밀에 대한 회분의 정확한 함량을 분석하기 위해서는 추가적으로 토양분석 및 밀 종자에 대한 제분율 측정 등을 통해 보다 정확한 회분 함량 분석이 필요할 것으로 판단된다. 회분함량은 국내 시장에서 밀가루의 품질을 평가하는 지표 중 하나로서 정제된 밀가루를 기준으로 0.6% 이하일 때 2등급 그리고 0.4%이하 일 때 1등급 밀가루로 표기한다(한국산업규격, KS H 2012). 하지만 이



**Fig. 1.** The distribution of ash and protein content, and SDS-sedimentation value of collected 614 wheat germplasm determined using NIR spectrophotometric method. (A) Protein, (B) SDS-sedimentation value, and (C) Ash.

러한 기준을 통밀에 적용할 경우에는 모두 등급 외의 낮은 등급의 밀가루로 분류 됨에 따라 이러한 기준을 통밀에 적용시키기 위해서는 밀가루 이외에 통밀에 대한 기준 마련이 필요할 것으로 판단된다. 통밀에 대한 규격 설정은 품종에 따라 밀기울(bran) 함량과 그 특성 등 다양한 요인이 관여함에 따라 통밀에 대한 표준화를 위한 기준을 마련하는 것이 쉽지 않으나, 국내외에서 수집되고 재배되고 있는 밀 자원에 대한 지속적인 회분함량 분석과 데이터베이스화를 통해 통밀에 대한 회분 기초자료를 마련하는 것이 가능할 것으로 판단되며 이를 토대로 통밀에 대한 회분 함량 기준을 설정할 수 있을 것으로 판단된다.

밀가루를 비롯한 통밀가루의 단백질 함량은 가공 특성을 결정하는 중요한 요인으로 그 함량에 따라서 박력분, 중력분과 강력분으로 구분되어 사용된다. 일반적으로 통밀은 정제된 밀가루보다 높은 조단백질 함량을 나타내는 것으로 알려져 있으며(Kang *et al.*, 2010) 이는 밀기울에 함유된 단백질 이외의 다른 질소원으로 인한 것으로 알려져 있다. 특히 밀기울에는 종자 외피의 세포벽을 구성하는 다양한 구조 단백질을 함유하고 있어 기존의 정제된 밀가루 보다 높은 조단백질 함량을 보유하고 있는 것으로 보고되고 있다(Balandrán-Quintana *et al.*, 2015; Barros *et al.*, 2010; Javed *et al.*, 2012). 본 연구에서 614자원에 대하여 근적외선 분광분석기를 이용해 단백질 함량을 분석한 결과, 10.54의 평균값을 가지고 있었으며, 표준편차는 1.42였다. 한국산업규격(한국산업규격, KS H 2012)에서는 밀가루의 조단백질 함량에 따라 강력분(10.5% 이상), 중력분(9.5~10.5%) 그리고 박력분(9.5% 이하)으로 구분한다. 근적외선 분광분석기를 통해 단백질을 분석한 결과 박력분 기준으로 8 자원, 중력분으로 10 자원 그리고 강력분으로 596 자원으로 나타났다. 통밀을 분석한 결과 거의 대부분이 강력분 수준의 단백질 함량을 보유하고 있는 것으로 나타났는데 이는 밀기울에 함유된 다양한 질소 함유 물질에 의한 것으로 판단된다. 따라

서 보다 정확한 단백질 함량을 규명하기 위해서는 밀기울을 완전히 제거 한 후 정제된 밀가루 형태의 단백질 함량에 대한 분석이 필요 할 것으로 판단된다. 하지만 제분 후 단백질 함량의 측정은 많은 시간과 경비가 소요됨에 따라서, 본 연구에서는 이러한 문제점을 보완하고자 단백질의 질적 특성을 나타내는 지표인 침전가(SDS-sedimentation value)를 근적외선 분광분석기를 통해 분석하였다. 침전가는 밀가루에 함유된 단백질 중 글루텐의 질적 특성을 나타내는 지표로서 밀가루를 물 속에서 팽윤시켜 침전양을 측정한다. 이 수치가 높을 수록 강력분과 유사한 특성을 나타내는 것으로 알려져 있으며, 제빵 공정 중 빵의 부피와 질감 형성에 매우 밀접한 연관성이 있는 것으로 알려져 있다(Deyong *et al.*, 2012). 침전가가 가장 낮은 자원은 국내에서 개발된 밀양10호로 26.85 ml의 침전가를 가지고 있었으며 가장 높은 자원은 인도에서 수집된 인도164호로 그 값은 78.03 ml였다. 측정되지 않은 2 자원을 제외하고 전체 612자원에 대한 평균 침전가는 47.99 ml이었다.

#### 효소를 이용한 아라비노자일란(Arabinoxylan) 함량 분석법 검증

기존의 아라비노자일란 분석법은 아라비노자일란을 산성(acidic) 조건에서 가수분해 한 후 생성된 오탄당을 phloroglucinol과 반응하여 발색반응을 통해 오탄당을 검출하고 이를 통해 아라비노자일란의 함량을 유추하는 방법을 이용하였다(Kang *et al.*, 2013). 하지만 효소를 이용하여 xylose를 검출한 후 아라비노자일란을 환산하는 방법은 효소의 기질특이성으로 인하여 더 높은 신뢰도를 확보 할 수 있다(Dodevska *et al.*, 2013; Hu *et al.*, 2020). 따라서 본 연구에서는 효소를 이용하여 아라비노자일란의 함량을 측정하였다. 아라비노자일란의 함량 분석법에 대한 신뢰도를 확보하기 위하여 정밀도(precision)와 정확도(accuracy)를 평가하였다. 실험법 검증을 위해서 밀에서 추출한 아라비자일

**Table 1.** Precision and accuracy for arabinoxylan analysis by enzymatic method.

Parameter	Precision		Accuracy <sup>1)</sup>
	Repeatability <sup>2)</sup>	Reproducibility <sup>3)</sup>	Recovery (%)
Mean <sup>4)</sup>	1,013.85	959.96	104.44
Standard deviation	35.29	38.00	5.20
Coefficient of variation	3.48	3.96	4.98

<sup>1)</sup> Accuracy is a measure of the closeness of the analytical result to the true value determined by analyzing a spiked sample.

<sup>2)</sup> Repeatability was evaluated using five independent analyses of replicate sample performed on a given day.

<sup>3)</sup> Reproducibility was evaluated using five independent analyses of replicate sample performed on different days.

<sup>4)</sup> n=5, mg/g sample on raw weight basis.

란(95%) 표준물질(Arabinoxylan, Megazyme, Ireland)을 시료를 이용하였다. 정밀도의 지표는 반복성(repeatability)과 재현성(reproducibility)을 측정하였으며 반복성은 하루에 동일한 시료를 5번 반복 실험에 대한 결과를 표준 물질과 비교하였으며, 재현성은 5일 동안 동일한 시료를 반복 분석하여 표준물질과 비교하여 실험방법에 대한 정밀도를 평가하였다. 정확도를 평가하기 위해 회수율(recovery)을 이용해 실험법에 대한 검증을 실시하였다(Table 1). 회수율은 표준물질과 동일한 매트릭스를 가지고 있는 시료를 이용하여 실험과정 중 표준물질을 혼합한 후 최종 결과에 검출되는 양을 비교하는 spiking 방법을 이용하였으며, 본 실험에 이용된 모든 지표는 변이계수 5% 이하 일 때, 신뢰도 높은 실험방법으로 판단된다(Kim *et al.*, 2014).

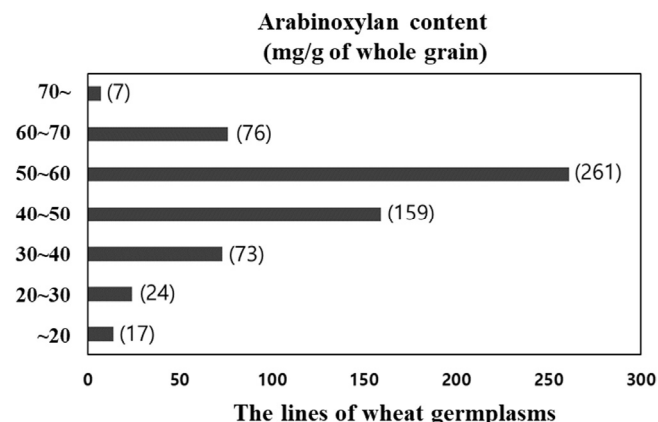
그 결과, 반복성과 재현성은  $1,013.85 \pm 35.29$  mg/g, 그리고  $959.99 \pm 38.00$  mg/g으로 설정값인 950 mg/g에 매우 유사한 값을 나타내는 것을 확인 할 수 있었다. 분석법의 신뢰도의 기준인 변이계수(coefficient of variation)의 값이 5% 이하의 값을 나타내는 것을 통해 실험법에 대한 신뢰도를 확보 할 수 있었다. 또한 회수율을 측정할 결과 104.44%으로 신뢰도 높은 데이터를 얻을 수 있었다. 효소법을 이용하여 아라비노자일란을 분석 할 경우, 표준물질의 설정값보다 높은 측정값을 나타내는 경향을 나타내었는데 이는 실험에 사용한 효소인 자일로스 탈탄산효소(xylose dehydrogenase)가 자일로스에 대한 높은 기질특이성을 가지고 있지만 구조적으로 유사한 아라비노스의 산화에 일부 영향을 미쳐 설정값보다 높은 결과값을 나타내는 것으로 예상된다(Kim *et al.*, 1998).

**효소를 이용한 아라비노자일란(Arabinoxylan) 함량 분석 및 데이터베이스화**

밀의 종자 외피에는 다양한 성분이 함유되어 있는 것으로 보고되고 있으며, 특히 배유와 전분질에는 부족한 다량의 식이섬유와 무기질 그리고 비타민E을 함유하고 있는 것으로 보고되고 있다(Kumar *et al.*, 2011). 특히, 밀의 식이섬유에는 생리활성이 높다고 알려진 베타-글루칸( $\beta$ -glucan)과 아라비노자일란이 다량 함유되어진 것으로 알려져 있다(Stevenson *et al.*, 2012). 이 중 아라비노자일란은 최근 다양한 생리활성을 비롯하여 밀을 이용한 식품의 가공적성에 관여하는 것으로 보고됨에 따라서 그 관심도가 증가하고 있다(Fadel *et al.*, 2018; Hemdane *et al.*, 2016). 본 연구에서는 수집된 614 자원에 대하여 아라비노자일란 함량을 분석하고 이를 데이터베이스화 하고자 하였다(Fig. 2). 614 자원에 대한 전체 아라비노자일란의 평균 함량은 51.64 mg/g

of whole grain으로 나타났으며, 최대 함량을 갖는 자원으로는 호주에서 수집된 Insignia (85.98 mg/g)이었으며 국내에서 수집된 자원인 Chuukoku Zairai (74.90 mg/g), 익산 309호(71.01 mg/g), 밀양8호(70.66 mg/g), 재래소맥(70.46 mg/g), 수원220호(69.62 mg/g) 등의 자원들이 높은 아라비노자일란의 함량을 보유하고 있었다. 반면, 낮은 함량을 갖는 자원으로는 중국에서 수집된 yv 00-2 (9.83 mg/g)이었으며 이외에도 중국에서 수집된 yv 99-69 (14.55 mg/g), yv 99-73 (14.79 mg/g), yv 99-60 (14.84) 등의 자원들이 낮은 아라비노자일란의 함량을 나타내었다. 이러한 아라비노자일란 함량과 근적외선 분광분석기 데이터들 간의 상관관계를 분석한 결과 유의성을 나타내지 않았다.

본 연구에서는 수집된 밀 원곡의 기본 특성과 아라비노자일란 함량의 상관관계를 분석하였다. 그 결과 대부분의 지표들에 있어서 유의적인 상관관계를 나타내지 않았지만, 침전가와 단백질 함량 간의 상관관계를 분석한 결과  $r=0.912$ 로 매우 높은 유의성이 있는 것을 확인할 수 있었다(Table 2). 이 상관관계를 통해 근적외선 분광분석기를 이용하여 통밀의 품질을 분석하였을 때 단백질 함량이 높을수록 측정되는 현상을 밀 단백질의 질적특성을 나타내는 침전가를 이



**Fig. 2.** The distribution of arabinoxylan content of whole wheat flour of collected 614 wheat germplasm determined using enzymatic method.

**Table 2.** Correlation of ash and protein contents, SDS-sedimentation, and arabinoxylan content in whole wheat.

	Ash	Protein	SDS-sedimentation
Protein	0.171	-	-
SDS-sedimentation	0.110	0.912** <sup>1)</sup>	-
Arabinoxylan	0.032	-0.108	-0.110

<sup>1)</sup> \*\* means a significant correlation of  $p < 0.01$ .

용하여 보완할 수 있음을 확인 할 수 있었다. 밀가루의 침전가는 다양한 요소에 영향을 받는 것으로 알려져 있으며 그 중에서도 밀가루의 단백질의 양과 단백질을 구성하는 글루텐 및 비글루텐의 조성 및 그 함량에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(Kang *et al.*, 2010). 따라서 단백질의 함량뿐만 아니라 그 질적 특성 평가를 통해 통밀에 대한 단백질 데이터를 보완 할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 추가적인 연구를 통해 구축된 아라비노자일란의 데이터를 활용하여 근적외선 분광분석기를 이용한 아라비노자일란 함량 분석을 위한 연구를 통해 NIR 만으로도 밀의 전체적인 품질 평가를 위한 분석법 확립이 필요할 것으로 판단된다. 근적외선 분광광도계를 이용한 밀 종자의 비파괴 검사를 통해 단 시간 동안 많은 시료를 분석하고 종자의 특성을 데이터베이스 구축에 있어서 유용한 방법으로 이용 될 수 있으며, 이 결과를 토대로 자원의 선별 및 육종시스템에 활용 가능할 것으로 판단된다.

### 효소를 이용한 아라비노자일란(Arabinoxylan) 의 원산지별 함량 비교

본 연구에서는 자원의 수집된 지역에 따른 아라비노자일란의 함량의 차이를 알아보기 위하여 614 자원을 아시아, 유럽, 아메리카, 아프리카 오세아니아 등 대륙 별로 분류하여 그 차이를 분석하였고 또한 국내 자원과 비교를 실시하였다(Table 3). 614자원 중 원산지가 표기된 자원을 분류하였을 때, 국내에서 수집된 자원을 제외한 아시아 14개국 95자원, 아프리카 6개국 39자원, 아메리카 6개국 180자원, 유럽 20개국 109자원, 오세아니아 1개국 4자원을 국내 130 자원의 아라비노자일란의 함량과 비교하였다. 그 결과 오세아니아의 1개 지역인 호주에서 수집된 자원이 가장 높은 59.30 mg/g of whole grain의 함량을 나타내었으나, 이는 표본의 수가 적어 추가적인 수집 및 분석이 필요할 것으로

판단된다. 그 다음으로는 국내에서 수집된 자원들이 56.91 mg/g으로 가장 높은 함량을 나타내었으며 아프리카, 아메리카 그리고 유럽 3개 지역의 아라비노자일란의 함량은 유사한 함량을 보유하고 있음을 확인할 수 있었다. 한국을 제외한 아시아 지역의 아라비노자일란의 함량이 낮고 그 편차가 큼을 확인할 수 있었는데 이는 아시아 지역의 넓은 지형과 다양한 기후조건으로 인하여 국가별 큰 편차가 발생한 것으로 유추 할 수 있다. 이 결과를 통해 국내에서 수집된 자원의 높은 아라비노자일란의 함량을 밝혀내기 위하여 국내 기후조건 및 생육환경 등의 재배환경과의 상관관계 규명 및 원산지 따른 밀 자원에 대한 유전적 분석을 통하여 아라비노자일란 함량에 영향을 미치는 유전적 차이를 밝히는 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

## 적 요

본 연구는 국내외서 수집된 614 자원의 밀 자원에 대하여 근적외선 분광분석기를 이용하여 품질을 평가하고 통밀의 아라비노자일란의 함량을 분석하여 고품질의 밀 자원의 개발을 위한 데이터베이스를 구축하고자 하였다. 근적외선 분광분석기를 이용한 밀 종자의 품질 분석법을 이용하여 빠른 시간 안에 종자의 단백질, 회분, 그리고 단백질의 특성은 침전가를 분석할 수 있었으며 단백질과 SDS-침전가가 매우 높은 상관관계를 지니고 있음을 확인할 수 있었다. 또한 원산지별 비교를 실시하였을 때, 자원간의 유전적 차이가 더 중요하게 작용하는 것을 확인할 수 있었다. 통밀의 아라비노자일란의 함량을 측정하기 위하여 효소법을 이용하여 측정하였으며, 실험법을 검증하기 위하여 반복성, 재현성 그리고 회수율을 측정하여 실험법에 대한 검증 및 신뢰도를 확보하였다. 이후 검증된 효소법을 이용하여 아라비노자일란 함량을 측정하였다. 국내외에서 수집 및 개발된 자원이 다른 국가에서 수집된 자원과 비교하였을 때 비교적 높은 함량을 보유하고 있음을 확인할 수 있었으며, 이를 통해 국내 밀 자원이 영양 및 기능적으로 우수함을 알 수 있었다. 이러한 결과를 통해 밀 자원에 대한 품질 및 주요 성분 에 대한 데이터베이스를 구축함으로써 고품질 및 고기능성의 밀 자원 육종에 유용하게 이용 될 수 있을 것으로 기대한다.

## 사 사

본 연구는 농촌진흥청 연구사업(세부과제명: 밀 기능성분 분석법 확립 및 영양성분 특성 검증, 세부과제번호: PJ01502703)에 의해 이루어진 것임.

**Table 3.** Comparison of arabinoxylan content according to continental classification of wheat germplasm.

Origin	Lines of germplasm	Arabinoxylan (mg/g of whole grain) <sup>1)</sup>
South Korea	130	56.91 ± 7.84 <sup>a</sup>
Asia	95	42.75 ± 15.69 <sup>c</sup>
Africa	39	48.99 ± 9.30 <sup>b</sup>
America	180	47.45 ± 10.26 <sup>bc</sup>
Europe	109	49.11 ± 8.76 <sup>b</sup>
Oceania	4	59.30 ± 18.65 <sup>a</sup>

<sup>1)</sup> Different letters means statistical significance at  $p < 0.05$ .

## 인용문헌(REFERENCES)

- Albertson, A. M., M. Reicks, N. Joshi, and C. K. Gugger. 2015. Whole grain consumption trends and associations with body weight measures in the United States: results from the cross sectional National Health and Nutrition Examination Survey 2001-2012. *Nutr. J.* 15(1) : 8.
- Baladrán-Quintana, R. R., J. N. Mercado-Ruiz, and A. M. Mendoza-Wilson. 2015. Wheat bran proteins: a review of their uses and potential. *Food Rev. Int.* 31(3) : 279-293.
- Barros, F., J. N. Alviola, and L. W. Rooney. 2010. Comparison of quality of refined and whole wheat tortillas. *J. Cereal Sci.* 51(1) : 50-56.
- Biliaderis, C. G., M. S. Izydorczyk, and O. Rattan. 1995. Effect of arabinoxylans on bread-making quality of wheat flours. *Food Chem.* 53(2) : 165-171.
- Choi, E. M., T. S. Lim, H. L. Lee, and J. K. Hwang. 2002. Immune cell stimulating activity of wheat arabinoxylan. *Korean J. Food Sci. Technol.* 34(3) : 510-517.
- Chung, H. I. and H. J. Kim. 2000. Near-infrared spectroscopy: principles. *Anal. Sci. Technol.* 13(1) : 1001-1014.
- Courtin, C. M. and J. A. Delcour. 2002. Arabinoxylans and endoxylanases in wheat flour bread-making. *J. Cereal Sci.* 35(3) : 225-243.
- Deyong, Z. H. A. O., W. A. N. G. Lei, and L. E. I. Yunting. 2012. Correlation among SDS sedimentation value, swelling index of glutenin and solvent retention capacity of spring wheat. *Not. Sci. Biol.* 4(2) : 132-135.
- Dodevska, M. S., B. I. Djordjevic, S. S. Sobajic, I. D. Miletic, P. B. Djordjevic, and V. S. Dimitrijevic-Sreckovic. 2013. Characterisation of dietary fibre components in cereals and legumes used in Serbian diet. *Food Chem.* 141(3) : 1624-1629.
- Elsaid, A. F., R. M. Fahmi, M. Shaheen, and M. Ghoneum. 2020. 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(2) : 357-367.
- Fadel, A., A. Plunkett, W. Li, Y. Ranneh, V. E. T. Gyamfi, Y. Salmon, R. R. Nyaranga, and J. Ashworth. 2018. Arabinoxylans from rice bran and wheat immunomodulatory potentials: a review article. *Nutr. Food Sci.* 48(1) : 97-110.
- Gudmundsson, M., A. C. Eliasson, S. Bengtsson, and P. Aman. 1991. The effects of water soluble arabinoxylan on gelatinization and retrogradation of starch. *Starch-Stärke.* 43(1) : 5-10.
- Han, J. Y. 2000. Structural characteristics of arabinoxylan in barley, malt, and beer. *Food Chem.* 70(2) : 131-138.
- Hemdane, S., P. J. Jacobs, E. Dornez, J. Verspreet, J. A. Delcour, and C. M. Courtin. 2016. Wheat (*Triticum aestivum* L.) bran in bread making: a critical review. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.* 15(1) : 28-42.
- Hu, G., S. Ellberg, C. Burton, C. Evans, K. Satterfield, and H. Bockelman. 2020. Application of an orcinol-ferric chloride colorimetric assay in barley and wheat accessions for water-extractable and total arabinoxylan. *J. Cereal Sci.* 102962.
- Javed, M. M., S. Zahoor, S. Shafaat, I. Mehmooda, A. Gul, H. Rasheed, S. A. I. Bukhari, M. N. Aftab, and I. Haq. 2012. Wheat bran as a brown gold: nutritious value and its biotechnological applications. *Afr. J. Microbiol. Res.* 6(4) : 724-733.
- Kang, C., K. Kim, S. Shin, J. Son, J. Hyun, K. Kim, and C. Park. 2013. Influences of Cultivar and Environment on Arabinoxylan Content in Korean Wheat. *Korean J. Breed. Sci.* 45(2) : 81-95
- Kang, C., C. Park, J. Park, H. Kim, Y. Cheong, K. Kim, K. Kim, K. Park, and J. Kim. 2010. Flour characteristics and end-use quality of Korean wheat cultivars: I. Flour characteristics. *Korean J. Breed. Sci.* 42(1) : 61-74.
- Kim, J. H., K. W. Lee, M. Oh, and H. S. Park. 2019. Evaluation of Feed Values for Whole Crop Rice Using Near Infrared Reflectance Spectroscopy. *J Korean Soc Grassl Forage Sci.* 39(4) : 292-297.
- Kim, H., Y. Choi, Y. S. Cho, J. Sung, H. Ham, and J. Lee. 2014. Comparison of extraction methods for determination of vitamin K1 in vegetables. *Korean J. Food & Nutr.* 43(11) : 1791-1795.
- Kim, S. T., W. K. Huh, B. H. Lee, and S. O. Kang. 1998. D-Arabinose dehydrogenase and its gene from *Saccharomyces cerevisiae*. *Biochim. Biophys. Acta.* 1429(1) : 29-39.
- Kiszonas, A. M., E. P. Fuerst, and C. F. Morris. 2013. Wheat arabinoxylan structure provides insight into function. *Cereal Chem.* 90(4) : 387-395.
- Knez, M., C. Abbott, and J. C. Stangoulis. 2014. Changes in the content of fructans and arabinoxylans during baking processes of leavened and unleavened breads. *Eur. Food Res. Technol.* 239(5) : 803-811.
- Kumar, P., R. K. Yadava, B. Gollen, S. Kumar, R. K. Verma, and S. Yadav. 2011. Nutritional contents and medicinal properties of wheat: a review. *Life Sci Med Res.* 22 : 1-10.
- Lappi, J., E. Selinheimo, U. Schwab, K. Katina, P. Lehtinen, H. Mykkänen, M. Kolehmainen, and K. Poutanen. 2010. Sourdough fermentation of wholemeal wheat bread increases solubility of arabinoxylan and protein and decreases postprandial glucose and insulin responses. *J. Cereal Sci.* 51(1) : 152-158.
- Lee, C., G. H. Park, J. W. Lee, and J. H. Jang. 2015. Protective effect of wheat bran extract against  $\beta$ -amyloid-induced cell death and memory impairment. *Korea J. Herbol.* 30(1) : 67-75.
- Lu, Z. X., K. Z. Walker, J. G. Muir, T. Mascara, and K. O'Dea. 2000. Arabinoxylan fiber, a byproduct of wheat flour processing, reduces the postprandial glucose response in normoglycemic subjects. *Am. J. Clin. Nutr.* 71(5) : 1123-1128.
- Magwaza, L. S., U. L. Opara, H. Nieuwoudt, P. J. Cronje, W. Saeys, and B. Nicolai. 2012. NIR spectroscopy applications for internal and external quality analysis of citrus fruit—a review. *Food Bioproc Tech.* 5(2) : 425-444.
- Marventano, S., C. Vetrani, M. Vitale, J. Godos, G. Riccardi, and

- G. Grosso. 2017. Whole grain intake and glycaemic control in healthy subjects: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Nutrients*. 9(7) : 769.
- Mendis, M., E. Leclerc, and S. Simsek. 2016. Arabinoxylan hydrolyzates as immunomodulators in lipopolysaccharide-induced RAW264. 7 macrophages. *Food Funct*. 7(7) : 3039-3045.
- Morris, C. F., S. Li, G. E. King, D. A. Engle, J. W. Burns, and A. S. Ross. 2009. A comprehensive genotype and environment assessment of wheat grain ash content in Oregon and Washington: analysis of variation. *Cereal Chem*. 86(3) : 307-312.
- Niño-Medina, G., E. Carvajal-Millán, A. Rascon-Chu, J. A. Marquez-Escalante, V. Guerrero, and E. Salas-Munoz. 2010. Feruloylated arabinoxylans and arabinoxylan gels: structure, sources and applications. *Phytochem Rev*. 9(1) : 111-120.
- Okarter, N. and R. H. Liu. 2010. Health benefits of whole grain phytochemicals. *Crit Rev Food Sci Nutr*. 50(3) : 193-208.
- Schatzkin, A., Y. Park, M. F. Leitzmann, A. R. Hollenbeck, and A. J. Cross. 2008. Prospective study of dietary fiber, whole grain foods, and small intestinal cancer. *Gastroenterology*. 135(4) : 1163-1167.
- Shi, R. Y., J. Y. Li, N. Ni, K. Mehmood, R. K. Xu, and W. Qian. 2017. Effects of biomass ash, bone meal, and alkaline slag applied alone and combined on soil acidity and wheat growth. *J. Soils Sediments*. 17(8) : 2116-2126.
- Stevenson, L. E. O., F. Phillips, K. O'sullivan, and J. Walton. 2012. Wheat bran: its composition and benefits to health, a European perspective. *Int J Food Sci Nutr*. 63(8) : 1001-1013.
- Tieri, M., F. Ghelfi, M. Vitale, C. Vetrani, S. Marventano, A. Lafranconi, J. Godos, L. Titta, A. Gambera, G. Alonze, S. Sciacca, G. Riccaridi, S. Buscemi, D. D. Rio, S. Ray, F. Galvano, E. Beck, and S. Sciacca. 2020. Whole grain consumption and human health: an umbrella review of observational studies. *Int J Food Sci Nutr*. 71(6) : 668-677.
- Umezawa, K. 2006. Inhibition of tumor growth by NF- $\kappa$ B inhibitors. *Cancer Sci*. 97(10) : 990-995.
- Wu, J. Z., S. N. Wu, C. L. Liu, X. H. Chen, and F. Gao. 2013. Explorations of wheat grain protein content predication using NIR and hyperspectrum technology. *Microsyst Technol*. 32(2) : 60-62.