국내 육성 잡곡에 함유된 Thiamine, Riboflavin 및 Niacin 함량

전진수¹ · 이상훈² · 최용민² · 정명근¹

¹강원대학교 생약자원개발학과

²농촌진흥청 국립농업과학원 농식품자원부 식생활영양과

Thiamine, Riboflavin, and Niacin Content in Korean Minor Cereals

Jinsoo Jeon¹, Sang Hoon Lee², Young Min Choi², and Myoung-Gun Choung¹

¹Department of Herbal Medicine Resource, Kangwon National University

²Department Agrofood Resources, National Academy of Agricultural Sciences,
Rural Development Administration

ABSTRACT Although many studies have been conducted worldwide on various nutritional benefits of minor cereals, there is insufficient information on the content of water-soluble vitamins in Korean minor cereal (barley, foxtail millet, maize, oat, proso millet, and sorghum) cultivars. This study therefore quantitatively analyzed the content of water-soluble vitamins, like thiamine, riboflavin, and niacin contained in Korean minor cereals using an high-performance liquid chromatography (HPLC), and the classification characteristics were reviewed through principal component analysis (PCA). Foxtail millet used in this study had the highest thiamine and riboflavin content, and barley contained the most niacin among minor cereals. Among the minor cereals reviewed in this study, maize had the lowest thiamine and niacin. Thereafter, as a result of a PCA review, it was possible to confirm the classification of thiamine, riboflavin, and niacin and to separate them into different groups according to the kinds of minor cereals. However, maize was a minor cereal with a large variation in riboflavin and niacin content depending on the cultivar, and its classification overlapped with proso millet. The results of this study provide a database necessary for the publication of the 10th edition of the Korean Food Composition Table.

Key words: minor cereal, thiamine, riboflavin, niacin, vitamin B

서 론

전 세계적으로 영양학적 측면에서 중요한 위치를 차지하는 곡물들은 필수 지방산, 비타민, 미네랄, 항산화 성분 및 생리활성 물질을 다량 함유한 것으로 알려져 있으며, 또한 풍부한 식이섬유와 단백질의 공급원으로서의 역할도 수행하고 있다(Kishorgoliya 등, 2018). 이러한 영양학적 측면에서 중요한 위치를 차지하고 있는 곡물 중 잡곡은 우리나라에서는 쌀을 제외한 조, 옥수수, 보리, 기장, 귀리 및 수수 등을 의미하며, 앞서 언급한 바와 같이 다량의 식이섬유를 함유하고 저항전분 및 올리고당을 다량 함유하여 우수한 영양학적 이점을 가지고 있는 것으로 보고되어 있다(Woo 등, 2017). 과거 잡곡은 쌀에 비해 영양적으로 열등한 작물로 여겨져 왔으나, 현재에는 영양학적 특수성 및 우수한 생리활

성 물질의 존재로 인해 식생활 개선을 위한 보조식량으로 이용될 수 있음이 증명되고 있다(Kim과 Lee, 2006). 그러나 현대사회는 식생활의 서구화 및 개인의 기호도에 따라 쌀을 포함한 곡물의 소비는 감소하고 육류, 유제품, 유지류 및 당류 등의 소비가 점차 증가하면서 만성적 질환의 발병률도 증가하고 있는 실정이다(Kim 등, 2014b). 이러한 문제로 건강에 대한 관심이 증대되어 노화 관련 질병들에 대한 치료 및 예방을 목적으로 잡곡의 소비 및 관심도 증가하고 있다(Kim 등, 2014b).

유럽에서는 잡곡의 유전적 기반을 다양화하고 환경 스트레스의 저항성, 농경학적 관리, 영양 및 가공 품질 개선에 대한 중요성이 강조된 바 있으며(Janovská 등, 2017), 식품 산업에서도 잡곡을 이용하여 빵, 쿠키, 파스타, 국수 및 음료 등 광범위한 활용을 위한 다양한 연구가 수행된 바 있다

Received 2 September 2021; Revised 12 October 2021; Accepted 13 October 2021

Corresponding author: Myoung-Gun Choung, Department of Herbal Medicine Resource, Kangwon National University, 346, Jungang-ro, Samcheok-si, Gangwon 25913, Korea, E-mail: cmg7004@kangwon.ac.kr

Author information: Jinsoo Jeon (Graduate student), Myoung-Gun Choung (Professor)

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

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

(Malik 등, 2015; Jing 등, 2018; Fernandes 등, 2019; Kamble 등, 2019).

국내에서는 다양한 잡곡이 육성된 바 있는데, 큰알보리 1호의 경우 겉보리 중 정부 보급종으로 가장 많이 보급되고 있는 품종으로 가공용 및 취반용으로 적합하며, 밀양 43호와 올보리를 교배하여 2002년에 육성하였고 올보리보다 빠르게 성숙하는 특성이 있다고 보고된 바 있다(Hyun 등, 2002; RDA, 2021). 황색 계열 차조 품종인 황미찰은 우리나라 전역에서 안정적으로 재배 가능한 조 품종으로 2016년에 육성되었다(RDA, 2021). 옥수수 품종 중 간식용 풋옥수수인 황금맛찰은 2017년 농촌진흥청 국립식량과학원에서 KY37 및 KY29를 교잡하여 육성한 교배종으로 생산량이 우수하며, 제주도를 제외한 전국에서 재배가 가능하고 carotenoid 함량이 우수하다고 보고된 바 있다(Lee 등, 2020). 귀리 품종인 대양은 2007년에 육성되었으며 우수한 겨울철 내건성 및 수확량을 통해 일평균기온 -4°C 이상의 지역에서 가을 파종 작물로 이용될 수 있다(Han 등, 2009). 이 밖에도 국내에서 여러 잡곡 품종이 육성된 바 있고, 이들 품종을 재료로 한 연구가 수행되어진 바 있으나 thiamine, riboflavin 및 niacin 함량에 대한 정보는 전무한 실정이다.

한편, 수용성 비타민 B군 중 가장 먼저 발견된 thiamine은 비타민 B₁으로도 불리는데, pyruvate dehydrogenase, transketolase 및 α -ketoglutarate 등 탄수화물의 대사과정에 중요한 역할을 하는 효소와 밀접한 연관이 있으며, thiamine의 결핍 시 우울증, 불면증 및 건망증 등의 원인이 될 수 있다(Song과 Kim, 2002; Kwak 등, 2006; Cho 등, 2020). Riboflavin은 비타민 B₂로 불리며, 당과 지질의 대사 및 산화 환원 반응 등 대사과정에서 필요한 다양한 효소 반응의 조효소로 작용하는 수용성 비타민으로 결핍 시 성장기 아동의 성장 저해의 원인이 될 수 있다고 보고된 바 있다(Ei-Hazmi와 Warsy, 1987). 비타민 B₃는 nicotinic acid 및 nicotinamide를 총칭하며 niacin으로도 불리는데, niacin의 결핍은 펠라그라와 같은 피부병, 점막의 손상 및 흑혈병과 같은 위험에 노출될 수 있다고 보고된 바 있다(Jeon 등, 2020).

수용성 비타민 thiamine, riboflavin 및 niacin의 중요성을 고려했을 때, 여러 식품 산업에서 활용되고 있는 잡곡에 함유된 정보는 중요하다고 할 수 있으나, 국내에서 육성된 다양한 잡곡 품종에 함유된 thiamine, riboflavin 및 niacin 함량 및 다양성에 대한 정보는 극히 미비한 실정이다. 따라서 본 연구는 국내에서 잡곡으로 주로 활용되는 조, 옥수수, 보리, 기장, 귀리 및 수수에 함유된 수용성 비타민 thiamine, riboflavin 및 niacin 함량을 high performance liquid chromatography(HPLC)를 이용하여 정량적 함량 평가를 실시하였다. 본 연구의 결과는 향후 국가표준식품성분표 제 10개정판 출간의 기초 데이터로 사용될 것이며, 대국민 식생활 개선을 위한 정보로 활용될 수 있을 것이다.

재료 및 방법

실험재료

본 연구에 사용된 국내 육성 잡곡별 품종들은 농촌진흥청 국립농업과학원으로부터 분양받았으며, 수수 3품종(동안메, 남풍찰, 소담찰), 조 7품종(경관 2호, 다황메, 단아메, 삼다메, 삼다찰, 조황메, 황미찰), 기장 3품종(이백찰, 한라찰, 황실찰), 옥수수 6품종(단옥 3호, 고당옥 1호, 고당옥, 황금막찰, 일미찰, 찰옥 4호), 보리 3품종(큰알보리 1호, 혜양, 흑수정찰) 및 귀리 2품종(대양, 조양)을 분석 시료로 사용하였다.

추출 및 HPLC 이동상에 사용된 초순수 증류수 및 methanol은 J.T. Baker Co.(Phillipsburg, NJ, USA)에서 구매하였으며, sodium phosphate monobasic, sodium 1-hexanesulfonate 및 triethylamine은 Sigma-Aldrich Co.(St. Louis, MO, USA), acetic acid는 Daejung Chemicals & Metals Co., Ltd.(Busan, Korea)에서 구입하였다. 분석용 표준시약 thiamine hydrochloride, riboflavin, riboflavin-5'-phosphate(FMN), riboflavin-5'-adenosine diphosphate(FAD), nicotinic acid 및 nicotinamide는 Sigma-Aldrich Co.로부터 구매하여 사용하였다.

추출 및 전처리

잡곡 시료에 함유된 수용성 비타민 thiamine 및 niacin을 추출하기 위하여 Kim 등(2014a)의 방법을 이용하여 동시 추출 및 분석하였다. 즉, 검체인 잡곡 분말 2 g을 정확히 칭량한 후 5 mM sodium 1-hexanesulfonate(acetic acid 7.5 mL/L + triethylamine 0.2 mL/L) 용액 25 mL를 가하고 37°C 조건에서 30분간 초음파 추출(JAC 4020, KoDo Technical Research Co., Hwaseong, Korea)하였다. 이후 추출액을 5°C 에서 14,000 rpm으로 10분간 원심분리(1730MR, Gyrozen, Daejeon, Korea)한 뒤, 상정액을 0.45 μm syringe filter(Whatman Inc., Maidstone, UK)를 이용하여 여과하고 여액을 분석하였다.

Riboflavin의 경우에도 Kim 등(2014a)의 방법을 이용하여 추출 및 분석하였다. 즉, 잡곡 분말 2 g을 칭량한 후 50 mL 초순수 증류수를 가하고 80°C 수욕조(LEB-106D, Daihan LabTech Co., Namyangju, Korea)에서 30분간 환류 추출 하였다. 이후 추출액은 5°C 조건에서 14,000 rpm으로 10분간 원심분리하고 0.45 μm syringe filter로 여과하여 분석샘플로 사용하였다.

수용성 비타민의 HPLC 분석

잡곡 시료에 함유된 thiamine 및 niacin은 diode array detector(DAD)를 검출기로 사용하는 Agilent사(Wilmington, DE, USA)의 1200 series를 이용하였으며, 검출파장은 270 nm로 설정하였고, column은 YMC사의 YMC-Pack ODS AM(250 mm $\times$ 4.6 mm, 5 μm , YMC Co., Kyoto, Japan)을 사용하고 column oven으로 40°C 를 유지하였다. 이동상 용

매는 5 mM sodium 1-hexanesulfonate(acetic acid 7.5 mL/L + triethylamine 0.2 mL/L; A 용매) 및 methanol(B 용매)을 이용하여 gradient elution 하였다. Gradient profile은 A 용매를 기준으로 다음과 같다: 0분-100%, 8분-100%, 20분-75%, 30분-55%, 31분-100%, 45분-100%.

Riboflavin의 경우, Agilent 1260 infinity series HPLC에 fluorescence detector(FLD)를 검출기로 사용하여 분석하였다. 검출기의 여기파장(excitation)은 445 nm, 방출파장(emission)은 530 nm로 측정하였고, YMC-Pack PRO C₁₈ RS column(250 mm×4.6 mm, 5 µm, YMC Co.)을 이용하였다. HPLC 분석 중 column 온도는 40°C로 유지하였으며, 이동상 용매는 10 mM sodium phosphate monobasic(pH 5.5)과 methanol을 75:25(v/v) 비율로 혼합하여 isocratic elution 하였다.

HPLC 분석법 검증

추출법 및 분석조건의 타당성을 검토하기 위하여 분석법의 재현성, column의 분리 효율, 직선성, 분석감도, 정확성 및 정밀성을 평가하였다. 재현성을 검토하기 위하여 강화분유를 일내(intra-day) 10회, 일간(inter-day) 15회 반복 추출하여 분석법의 재현성을 평가하였으며, column의 분리 효율은 이론단수(N), 이론단 높이(HETP), 분리능(Rs) 및 피크의 대칭성(S)을 확인하였고, signal : noise 비율(s/n 비)이 10이 될 때의 농도를 정량한계(limit of quantification; LOQ)로 설정하고, s/n 비가 3일 때의 농도를 검출한계(limit of detection; LOD)로 설정하였다(Kim 등, 2017). 검량선의 직선성은 1,000 µg/mL thiamine, nicotinic acid 및 nicotinamide 표준용액을 여러 농도로 희석하여 각 성분의 LOD 농도 ~20 µg/mL 범위의 검량선의 결정계수를 측정하였으며, FAD, FMN 및 riboflavin의 각 표준용액도 LOD 농도 ~10 µg/mL 수준으로 희석하여 작성한 검량선의 결정계수를 측정하였다. 또한, 분석법의 정확성을 평가하기 위하여 certified reference material(BCR-485, BCR-487 및 BCR-431)을 정량 분석하고 측정값과 표준값을 비교하였으며, 측정값의 상대표준편차를 계산하여 검토하였다.

Thiamine, riboflavin 및 niacin의 함량 평가

잡곡 시료에 함유된 thiamine, riboflavin 및 niacin의 함량은 아래의 식을 이용하여 계산하였다.

$$\text{Vitamin B의 함량 (mg/100 g)} = \frac{S \times a \times b}{\text{검체 채취량(g)}} \times \frac{100}{1,000}$$

S: 시험용액 중의 비타민 B의 농도(µg/mL)

a: 시험용액의 전량(mL)

b: 시험용액의 희석배수

통계처리

Thiamine, riboflavin 및 niacin의 함량 평가는 3 반복으로 수행되었으며, 처리 평균 간 유의성 평가는 SAS 9.4 (Statistical Analysis System, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA)를 이용하였고, 주성분분석(Principal component analysis, PCA)은 Microsoft Excel 2013 add in multibase 2015 package(Numerical Dynamics, Tokyo, Japan) 프로그램으로 수행되었다. 또한, box-whisker plot은 MS office Excel(Microsoft, Redmond, WA, USA) 프로그램으로 작성하였다.

결과 및 고찰

분석법 검증

분석법의 감도, column의 분리 효율 및 직선성을 검토한 결과를 Table 1에 나타내었다. 분석 감도를 평가한 결과, nicotinic acid, nicotinamide 및 thiamine의 LOD는 각 0.024, 0.029 및 0.012 µg/mL 수준이었으며, FAD, FMN 및 riboflavin은 각 0.008, 0.001 및 0.002 µg/mL로 충분한 분석 감도임을 확인하였다. 표준 검량식의 직선성은 결정계수로 평가하였는데, nicotinic acid, nicotinamide 및 thiamine은 0.03~20 µg/mL 범위의 검량선을 작성하였고, FAD, FMN 및 riboflavin은 0.01~10 µg/mL 범위의 검량선을 작성하였으며, 모든 성분이 R²=0.999 이상임을 확인하여 우수한 직선성을 나타내었다. Column의 분리 효율을 검토하기 위해 표준용액 및 대표 샘플의 크로마토그램을 Fig.

Table 1. Comparison of the sensitivity, selectivity, and linearity of the HPLC method

Vitamin	Sensitivity		Selectivity				Linearity	
	LOD ¹⁾ (µg/mL)	LOQ ²⁾ (µg/mL)	N ³⁾	HETP ⁴⁾	S ⁵⁾	Rs ⁶⁾	Calibration curve	R ²
Nicotinic acid	0.024	0.079	11,635	0.00215	0.951	—	y = 1,974.22x - 3.03	0.999
Nicotinamide	0.029	0.095	79,069	0.00032	0.953	27.8	y = 1,581.25x - 2.92	0.999
Thiamine	0.012	0.041	274,906	0.00009	0.973	50.4	y = 1,681.83x - 0.24	0.999
FAD	0.008	0.026	21,496	0.00163	0.965	—	y = 636.45x + 0.08	0.999
FMN	0.001	0.005	43,614	0.00057	0.963	14.49	y = 5,933.26x - 0.57	0.999
Riboflavin	0.002	0.007	52,966	0.00047	0.961	19.54	y = 8,577.97x - 0.71	0.999

¹⁾Limit of detection. ²⁾Limit of quantitation.

³⁾Number of theoretical plate. ⁴⁾Height equivalent to theoretical plate. ⁵⁾Peak symmetry. ⁶⁾Peak resolution.

Fig. 1. Representative HPLC chromatograms of thiamine, riboflavin, and niacin. FAD: riboflavin-5'-adenosine diphosphate, FMN: riboflavin-5'-phosphate.

1에 나타내었으며, 각 peak의 이론단수, 이론단 높이, peak 대칭성 및 분리능을 수치로 나타내어 column의 분리 효율을 평가한 결과, 모든 parameter에서 충분한 수준임을 확인하였고 크로마토그램에서도 분리능이 우수한 양상임을 알 수 있었다.

분석법의 재현성 및 정확성을 평가한 결과는 Table 2에 나타내었다. 재현성을 검토하기 위하여 강화분유를 일내에 10회 및 일간 15회 반복 추출 및 분석한 결과, 모든 성분의 상대표준편차가 5% 이하를 나타내어 재현성이 우수함을 확인하였다. 또한, 정확성을 검토하기 위해 표준인증물질을 이용하여 측정된 값을 표준값과 비교하여 정확성을 평가한 결

과, 모든 성분의 측정값이 표준값 범위 내에 위치함을 확인하였으며 97.09~99.48%의 회수율을 나타내었고, 상대표준편차는 0.42~2.11%를 나타내어 정확성 및 재현성이 우수하였음을 알 수 있었다. 결론적으로 본 분석법에 대한 감도, column의 분리 효율, 직선성, 재현성, 정확성 및 정밀성 등 분석법 검증을 수행한 결과 분석법의 추가적인 개선이 필요하지 않음을 확인하였다.

잡곡 시료에 함유된 thiamine, riboflavin 및 niacin 함량 평가

잡곡 시료에 함유된 thiamine, riboflavin 및 niacin 함량

Table 2. Precision and accuracy of HPLC method on thiamine, riboflavin, and niacin

Vitamin	Precision		Accuracy				
	RSD (%) ¹⁾		Content (mg/kg)			Recovery (%)	RSD (%)
	Intra-day (n=10)	Inter-day (n=15)	Material	Reference value	Analysis value		
Thiamine	2.164	1.129	BCR-485	3.07±0.34	2.98±0.06	97.09	2.11
Riboflavin	1.145	1.317	BCR-487	106.8±5.6	105.23±0.60	98.53	0.57
Niacin	1.007	1.103	BCR-431	43±3	42.78±0.18	99.48	0.42

¹⁾Relative standard deviation.

을 Table 3에 나타내었다. 조에 함유된 thiamine 함량은 9.492 ± 0.835 mg/kg($8.248 \sim 10.531$ mg/kg)으로 잡곡 중 가장 높은 함량을 나타내었으며, 다음으로 기장이 7.065 ± 0.689 mg/kg($6.325 \sim 7.719$ mg/kg)의 함량을 나타내었다. 조 품종 중 삼다찰이 10.470 ± 0.087 mg/kg으로 가장 높았으며, 단아메(10.138 ± 0.047 mg/kg), 경관 2호(9.965 ± 0.017 mg/kg) 및 삼다메(9.937 ± 0.204 mg/kg) 순이었는데, 이들 중 단아메, 경관 2호 및 삼다메는 서로 간에 통계적으로 유의한 차이를 나타내지 않았다. 기장 품종 중에서는 황실찰이 7.691 ± 0.040 mg/kg으로 가장 높았으며, 이백찰 7.177 ± 0.051 mg/kg, 할라찰이 6.327 ± 0.004 mg/kg이었다. Lebiedzińska와 Szefer(2006)의 연구에 의하면, millet flour에 함유된 thiamine 함량은 0.307 ± 0.013 mg/100 g이었으며, United States Department of Agriculture-Agricultural Research Service(USDA-ARS, 2010)에서는

0.413 mg/100 g($0.35 \sim 0.51$ mg/100 g)이라고 보고된 바 있어, 잡곡류의 종류 및 품종에 따라 thiamine 등 수용성 비타민의 함량 차이가 있음을 알 수 있다. 또한, Malleshi와 Klopfenstein(1998)은 수수 품종인 SPV 475에 함유된 thiamine 함량은 277 µg/100 g이었는데, 본 연구에서 수수 품종(동아메, 남풍찰 및 소담찰)의 평균 thiamine 함량은 5.301 ± 0.947 mg/kg으로 SPV 475 품종보다 높은 양상임을 확인하였다. 한편, riboflavin이 가장 많이 함유된 잡곡은 thiamine의 경우와 마찬가지로 조(1.285 ± 0.079 mg/kg)이며, 옥수수(0.803 ± 0.189 mg/kg), 보리(0.789 ± 0.135 mg/kg), 기장(0.675 ± 0.121 mg/kg), 귀리(0.540 ± 0.049 mg/kg) 및 수수(0.204 ± 0.050 mg/kg) 순이었다. Bandyopadhyay 등(2017)의 연구에 의하면, 조에 함유된 일반적인 riboflavin 함량은 0.11 mg/100 g으로 본 연구결과와 유사한 수준임을 확인하였으나, 옥수수의 경우에는 0.200 mg/100

Table 3. Comparison of thiamine, riboflavin, and niacin contents in Korean minor cereals (mg/kg)

Cereal	Cultivar	Thiamine	Total riboflavin ¹⁾	Total niacin ²⁾
Barley	Heuksoojeongchal	$4.671 \pm 0.029^{b3)}$	0.877 ± 0.003^a	18.569 ± 0.038^a
	Hyeyang	3.631 ± 0.017^c	0.634 ± 0.002^c	17.836 ± 0.084^b
	Keunalbori1	4.836 ± 0.038^a	0.857 ± 0.000^b	18.523 ± 0.004^a
	Average	$4.379 \pm 0.653^{E4)}$	0.789 ± 0.135^C	18.309 ± 0.410^A
Foxtail millet	Dahwangmae	8.639 ± 0.072^d	1.238 ± 0.009^d	7.027 ± 0.046^a
	Danamae	10.138 ± 0.047^b	1.388 ± 0.002^a	6.837 ± 0.042^b
	Hwangmichal	8.302 ± 0.076^e	1.159 ± 0.003^e	6.655 ± 0.001^c
	Johwangmae	8.996 ± 0.117^c	1.356 ± 0.028^b	6.978 ± 0.065^a
	Keongkwan2	9.965 ± 0.017^b	1.235 ± 0.005^d	7.029 ± 0.034^a
	Samdachal	10.470 ± 0.087^a	1.308 ± 0.003^c	7.009 ± 0.049^a
	Samdamae	9.937 ± 0.204^b	1.313 ± 0.002^c	7.053 ± 0.039^a
	Average	9.492 ± 0.835^A	1.285 ± 0.079^A	6.941 ± 0.145^E
Maize	Chalok4	2.060 ± 0.008^b	0.810 ± 0.001^{bc}	9.110 ± 0.074^b
	Danok3	2.181 ± 0.055^b	0.815 ± 0.008^b	3.082 ± 0.296^c
	Godangok	1.776 ± 0.070^c	0.724 ± 0.003^d	9.483 ± 0.018^a
	Godangok1	1.775 ± 0.024^c	1.125 ± 0.002^a	2.940 ± 0.111^e
	Hwanggeummatchal	2.590 ± 0.063^a	0.802 ± 0.005^c	3.837 ± 0.106^d
	Limichal	2.506 ± 0.020^a	0.541 ± 0.001^e	6.025 ± 0.134^c
	Average	2.148 ± 0.349^F	0.803 ± 0.189^B	5.746 ± 2.966^F
Oat	Daeyang	$4.659 \pm 0.018^{ns5)}$	0.506 ± 0.006^b	12.106 ± 0.049^a
	Joyang	4.664 ± 0.012	0.575 ± 0.001^a	11.768 ± 0.068^b
	Average	4.661 ± 0.003^D	0.540 ± 0.049^E	11.937 ± 0.239^C
Proso millet	Hallachal	6.327 ± 0.004^c	0.537 ± 0.010^b	8.056 ± 0.091^{ns}
	Hwangsilchal	7.691 ± 0.040^a	0.724 ± 0.010^a	8.097 ± 0.004
	Ibeakchal	7.177 ± 0.051^b	0.763 ± 0.008^a	8.158 ± 0.022
	Average	7.065 ± 0.689^B	0.675 ± 0.121^D	8.103 ± 0.051^D
Sorghum	Donganmae	4.287 ± 0.053^c	0.257 ± 0.000^a	15.949 ± 0.036^b
	Nampungchal	5.451 ± 0.106^b	0.196 ± 0.001^b	17.732 ± 0.139^a
	Sodamchal	6.164 ± 0.052^a	0.158 ± 0.003^c	15.925 ± 0.256^b
	Average	5.301 ± 0.947^C	0.204 ± 0.050^F	16.535 ± 1.036^B

¹⁾Total riboflavin: $FAD \times 0.4537 + FMN \times 0.7869 + \text{riboflavin}$.

²⁾Total niacin: nicotinic acid + nicotinamide.

³⁾Different letters (a-e) indicate significant differences by Duncan's multiple range test at $P < 0.05$.

⁴⁾Each letter (A-F) is indicated by the least significant difference method at $P < 0.05$.

⁵⁾Not significant.

g으로 본 연구결과보다 약 2배 이상 높은 결과를 나타내었다. 반면, USDA-ARS(1989)에서는 옥수수 분말에 0.08 mg/100 g이 함유되었다고 보고되어, 본 연구결과와 유사한 수준임을 확인하였다. 한편, Choe와 Youn(2005)은 보리 3 품종에 함유된 영양성분에 대한 분석에서, 두산 8호의 함량은 0.07 ± 0.01 mg/100 g으로 본 연구에 사용된 보리 품종 ($0.634 \sim 0.877$ mg/kg)과 유사한 함량이었으나, 진미참쌀 (0.09 ± 0.01 mg/100 g) 및 서둔찰 (0.11 ± 0.01 mg/100 g)의 경우 함량이 다소 높은 것을 확인하였다.

Niacin의 경우, 보리가 18.309 ± 0.410 mg/kg으로 가장 높았으며, 수수(16.535 ± 1.036 mg/kg) 및 귀리(11.937 ± 0.239 mg/kg) 순이었다. 보리 품종 중 흑수정찰은 18.569 ± 0.038 mg/kg으로 가장 높은 niacin 함량을 보였으며, 금알보리 1호(18.523 ± 0.004 mg/kg) 및 혜양(17.836 ± 0.084 mg/kg) 순이었으나, 흑수정찰과 금알보리 1호 간에는 통계적으로 유의한 차이를 나타내지 않았다. Choe와 Youn(2005)의 연구에 의하면 보리 3 품종의 niacin 함량은 1.21~1.44 mg/100 g으로 본 연구의 niacin 함량보다 낮은 수준임을 확인하였다. 반면, 농촌진흥청 국립농업과학원 국가표준식품성분표(RDA, 2016)에 명시된 보리에 함유된 niacin 함량은 압맥과 할맥이 각각 2.017 및 0.995 mg/100 g으로 품종 혹은 가공 방법에 따라 2배 이상의 차이가 있음을 확인할 수 있으며, Catak(2019)은 터키 현지 시장에서 구입한 보리에 함유된 niacin 함량이 4.523 mg/100 g이라고 보고하였는데, 이는 결국 보리의 품종 및 재배 환경에 따라 niacin 함량 변이가 심하게 발생한다는 것을 예상할 수 있다. 한편, McElroy와 Simonson(1948)의 연구에서 귀리의 품종 중

하나인 Victory의 niacin 함량은 13.5 mg/kg이라고 보고된 바 있는데, 본 연구에 사용된 귀리 품종인 대양은 12.106 ± 0.049 mg/kg이었으며, 조양의 경우에는 11.768 ± 0.068 mg/kg으로 확인되어 유사한 수준임을 확인하였다. Inglett 등(2016)은 테프와 귀리를 혼합하여 조제한 쿠키를 대상으로 물성, 성상 및 영양적 측면의 검토를 수행하였으며, 그 결과 단순 밀가루 반죽으로 조제한 쿠키보다 개선된 수분 보유력을 나타내어 식품 산업에서 널리 이용될 수 있는 가능성을 제곱함과 동시에 영양학적 우수성으로 인해 높은 이용 가치가 있음을 주장하여 잡곡의 활용성에 대해 보고한 바 있다.

국내 육성 잡곡류 및 품종별 함량 특성 비교

국내 육성 잡곡의 종류와 품종에 따른 수용성 비타민 thiamine, riboflavin 및 niacin 각 성분의 함량 변이 및 특성을 검토하기 위하여 Fig. 2에서 box-whisker plot으로 비교 평가하였다. 그 결과, 옥수수의 riboflavin은 품종 간 최대값과 최소값의 범위가 다른 잡곡에 비해 특이적으로 넓은 것을 확인할 수 있었으며 niacin의 경우, box-range가 넓어 품종에 따라 약 3배 이상이 차이가 발생함을 확인하였다. 반면, 조의 경우에는 7품종으로 가장 많은 품종을 검토하였음에도 niacin 함량 변이가 다른 잡곡들보다 작아 조 품종 간의 niacin 함량 변이가 극히 낮음을 알 수 있다.

잡곡류의 수용성 비타민 함량 분포를 총괄적으로 검토하기 위하여 주성분분석을 수행하였다(Fig. 3). Loading plot의 주성분 1(PC 1; principal component 1)은 50.1%였으며, 주성분 2(PC 2)는 19.7%였는데, FAD, nicotinic acid, nicotinamide 및 total niacin은 주성분 1이 음(-)의 값을

Fig. 2. Box-whisker plots of thiamine, riboflavin, and niacin contents in Korean minor cereals.

Fig. 3. Principal component analysis of thiamine, riboflavin, and niacin in Korean minor cereals. A: loading plot, B: score plot. FAD: riboflavin-5'-adenosine diphosphate, FMN: riboflavin-5'-phosphate.

나타내었고, 그 외의 성분들은 양(+)의 값을 나타내었다. 또한, 주성분 2값이 음(-)인 성분은 nicotinic acid뿐이었으며, 이에 따라 잡곡에 함유된 수용성 비타민은 thiamine, FMN, riboflavin 및 total riboflavin이 서로 근접한 주성분 값을 나타내었고, 반면 FAD, nicotinamide 및 total niacin이 유사한 주성분 값을 확인하였다. 주성분분석의 score plot을 검토하였을 때, 대부분의 잡곡은 수용성 비타민의 조성 및 함량에 따라 형성된 그룹이 서로 간 명확하게 분리되는 것을 확인하였다. 한편, 앞서 수행된 box-whisker plot에서 옥수수는 품종에 따라 riboflavin 및 niacin 함량 변이가 다른 잡곡에 비해 큰 잡곡이었으며, 주성분분석에서도 옥수수 그룹의 범위가 다른 잡곡과 비교하여 특이적으로 넓은 양상임을 알 수 있다. 옥수수 품종 중 고단옥 1호는 본 연구에 사용된 다른 옥수수 품종에 비해 thiamine 및 ribo-

flavin 함량이 특이적으로 높은 품종이었으며, 이로 인해 옥수수 그룹을 벗어난 outlier에 위치하여 기장 그룹과 overlap 되는 것을 확인할 수 있다. 또한, 기장 품종 중 한라찰은 다른 기장 품종과 비교하였을 때, thiamine 및 riboflavin 함량 측면에서 비교적 열등한 품종이었으며, 이에 따라 기장 품종 중 한라찰과 옥수수 품종 중 고단옥 1호가 각각 기장 및 옥수수 두 그룹 간 판별 시 overlap 되는 원인을 제공한 것으로 판단된다.

본 연구의 결과로 제공된 잡곡류 함유 수용성 비타민 thiamine, riboflavin 및 niacin 함량 정보는 국가표준식품성분표 제10개정판 출간에 필요한 데이터베이스로 활용될 것이며, 이는 향후 대국민 식생활 개선 및 건강 증진에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

요 약

잡곡은 영양학적 이점으로 인해 많은 연구가 수행되고 있으나, 국내에서 육성된 잡곡류의 수용성 비타민 함량 정보는 부족한 실정이다. 따라서 본 연구는 국내 육성 잡곡류에 함유된 수용성 비타민 thiamine, riboflavin 및 niacin 함량을 HPLC를 이용하여 정량 분석하였으며, 주성분분석을 통해 분류 특성을 검토하였다. Thiamine 및 riboflavin이 가장 많이 함유된 잡곡은 기장이었으며, niacin이 가장 많이 함유된 잡곡은 보리였다. 반면 옥수수는 thiamine 및 niacin 함량이 가장 낮은 잡곡이었다. 본 결과를 주성분분석으로 검토한 결과, 잡곡류의 종류에 따라 서로 다른 그룹으로 구분이 되는 것을 확인하였다. 다만, 옥수수는 품종에 따른 riboflavin 및 niacin 함량 변화가 큰 잡곡이었으며, 기장과 그룹이 overlap 되는 양상임을 확인하였다. 본 연구결과는 향후 국가표준식품성분표 제10개정판 출간에 필요한 데이터베이스로 활용될 것이다.

감사의 글

본 연구결과의 일부는 농촌진흥청 연구사업(PJ01339820 21)의 지원에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

REFERENCES

- Bandyopadhyay T, Jaiswal V, Prasad M. The foxtail millet genome. In: Prasad M, editor. Nutrition Potential of Foxtail Millet in Comparison to Other Millets and Major Cereals. Springer, Basingstoke, UK. 2017. p 123-135.
- Catak J. Determination of niacin profiles in some animal and plant based foods by high performance liquid chromatography: association with healthy nutrition. *J Anim Sci Technol*. 2019. 61:138-146.
- Cho JJ, Hong SJ, Boo CG, Shin EC. Investigation of water-soluble vitamin (B₁, B₂, and B₃) contents in rice, noodles, and sauces. *J Food Hyg Saf*. 2020. 35:398-410.
- Choe JS, Youn JY. The chemical composition of barley and wheat varieties. *J Korean Soc Food Sci Nutr*. 2005. 34:223-229.
- El-Hazmi MA, Warsy AS. Riboflavin status in a Saudi population – a study in Riyadh. *Ann Nutr Metab*. 1987. 31:253-258.
- Fernandes CG, Sonawane SK, Arya SS. Optimization and modeling of novel multigrain beverage: effect of food additives on physicochemical and functional properties. *J Food Process Preserv*. 2019. 43:e14151. <https://doi.org/10.1111/jfpp.14151>
- Han OK, Park HH, Heo HY, Park T, Seo JH, Park KH, et al. A new naked oat cultivar for human food, “Daeyang” with high-yielding and good-quality. *Korean J Breed Sci*. 2009. 41:56-60.
- Hyun JN, Kweon SJ, Park DS, Ko JM, Han SI, Suh DY, et al. A new large grain, high quality and yielding barley variety “Keunalbori 1” with lodging resistance. *Korean J Breed*. 2002. 34:138-139.
- Inglett G, Chen D, Liu S. Physical properties of gluten free sugar cookies containing teff and functional oat products. *J Food Res*. 2016. 5:72. <http://dx.doi.org/10.5539/jfr.v5n3p72>
- Janovská D, Chrpová J, Eiseltová M, Huta M, Chour V, Bilborrow PE, et al. An integrated approach to diversify the genetic base, improve stress resistance, agronomic management and nutritional/processing quality of minor cereal crops for human nutrition in Europe. *Impact*. 2017. 2017:72-74.
- Jeon J, Lee SH, Choi YM, Choung MG. Contents of water-soluble vitamins as thiamine, riboflavin, and niacin in husked and milled rice of Korean new bred cultivars. *J Korean Soc Food Sci Nutr*. 2020. 49:961-968.
- Jing Q, Yingguo L, Yuanhui W, Jie C, Panfeng H. Formula and quality study of multigrain noodles. *Grain Oil Sci Technol*. 2018. 1:157-162.
- Kamble DB, Singh R, Rani S, Kaur BP, Upadhyay A, Kumar N. Optimization and characterization of antioxidant potential, in vitro protein digestion and structural attributes of microwave processed multigrain pasta. *J Food Process Preserv*. 2019. 43:e14125. <https://doi.org/10.1111/jfpp.14125>
- Kim GP, Hwang YS, Choung MG. Analysis of water soluble vitamin B₁, B₂, and B₃ contents in Korean traditional holiday foods. *J Korean Soc Food Sci Nutr*. 2017. 46:944-951.
- Kim GP, Lee J, Ahn KG, Hwang YS, Choi Y, Chun J, et al. Differential responses of B vitamins in black soybean seeds. *Food Chem*. 2014a. 153:101-108.
- Kim JM, Park JY, Kim KW, Yoon KY. Nutritional composition and functionality of mixed cereals powder. *Korean J Food Preserv*. 2014b. 21:388-395.
- Kim YS, Lee GC. A survey on the consumption and satisfaction degree of the cooked rice mixed with multi-grain in Seoul·Kyeonggi and Kangwon area. *Korean J Food Cult*. 2006. 21: 661-669.
- Kishorgoliya N, Mehra M, Goswami P. Nutritional quality of the developed multigrain flour and cookies. *J Pharm Phyt*. 2018. 7:2886-2888.
- Kwak BM, Kim SH, Kim KS, Lee KW, Ahn JH, Jang CH. Composition of vitamin A, E, B₁ and B₂ contents in Korean cow's raw milk in Korea. *Korean J Food Sci Anim Resour*. 2006. 26:245-251.
- Lebiedzińska A, Szefer P. Vitamins B in grain and cereal – grain food, soy-products and seeds. *Food Chem*. 2006. 95:116-122.
- Lee JS, Bae HH, Kim JT, Son BY, Baek SB, Kim SL, et al. ‘Hwanggeummatchal’, a single cross hybrid waxy corn with high carotenoid content and good eating quality. *Korean J Breed Sci*. 2020. 52:467-472.
- Malik H, Nayik GA, Dar BN. Optimisation of process for development of nutritionally enriched multigrain bread. *J Food Process Technol*. 2015. 7:544. doi: 10.4172/2157-7110.1000544.
- Malleshi NG, Klopfenstein CF. Nutrient composition, amino acid and vitamin contents of malted sorghum, pearl millet, finger millet and their rootlets. *Int J Food Sci Nutr*. 2009. 49:415-422.
- McElroy LW, Simonson H. The niacin content of wheat, barley, and oats grown in different soil zones in alberta. *Canadian J Res*. 1948. 26:201-207.
- RDA. Korean Food Composition Table. 9th rev. Rural Development Administration, Wanju, Korea. 2016. p 32-33.
- RDA. Cultivar Information Integrated Service. 2021 [cited 2021 Oct 8]. Available from: <http://www.nongsaro.go.kr/portal/ps/psa/psab/psabf/spciesRsrchLst.ps?menuId=PS65425>
- Song S, Kim M. Case study on insomniac, melancholiac, schizophrenic patients taking well-balanced nutrition & vitamin B group. *Journal of the Korean Society of Body, Mind, Spirit Science*. 2002. 6:11-28.
- USDA-ARS. Food Data Central. 1989 [cited 2021 Aug 25]. Available from: <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/>

170290/nutrients
USDA-ARS. Food Data Central. 2010 [cited 2021 Aug 25]. Available from: <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/172023/nutrients>

Woo KS, Kim HJ, Kim MJ, Sim EY, Ko JY, Lee CK, et al. Quality and antioxidant characteristics of cooked rice with various mixed grains in Korea. *Korean J Crop Sci.* 2017. 62: 352-360.