



도정에 따른 쌀과 보리의 기능성 성분의 함량 및 항산화 활성 변화

신희윤¹ · 최용민² · 최정민¹ · 김영화^{1,*}

¹경성대학교 식품생명공학과, ²국립농업과학원 농식품자원부 식생활영양과

Changes in the Functional Ingredient Content and Antioxidant Activity of Rice and Barley according to the Milling Process

Heeyoon Shin¹, Youngmin Choi², Jung-Min Choi¹, Younghwa Kim^{1,*}

¹Department of Food Science and Biotechnology, Kyungsoong University

²Food and Nutrition Division, National Institute of Agricultural Sciences

Abstract

This study aimed to evaluate the changes in the content of functional components and antioxidant activity of rice and barley according to the milling process used. A considerable amount of γ -oryzanol was observed in unmilled rice and barley. However, γ -oryzanol was not detected in the rice and barley after the milling process. The highest content of γ -aminobutyric acid (GABA) was observed in the unmilled Keunabori-1-ho barley. The contents of biotin in all samples also decreased in the milled grains compared to the unmilled grains. The highest content of total polyphenols and flavonoids was observed in the Heuksujeongchal barley, and the highest radical scavenging activity was also found in this grain. The milling process led to a decrease in the content of functional components, including γ -oryzanol, GABA, biotin, polyphenols, and flavonoids in both rice and barley. These results may be useful in the development of processed foods using cereal grains.

Key Words : Grain, milling process, gamma-oryzanol, gamma-aminobutyric acid, biotin, antioxidant activity

1. 서론

양곡은 미곡(쌀), 맥류, 잡곡, 두류, 서류와 이를 원료로 한 분쇄물, 가루, 전분류 등을 일컫는 것으로(KLIC 2017), 2021년도의 양곡 생산량이 4,180,458톤으로 보고되었다(KOSIS 2021a). 양곡 중 우리나라에서 가장 소비가 많이 되는 것은 미곡으로 2020년도 기준 연간 1인당 소비량은 미곡은 57.7 kg, 보리는 1.4 kg, 잡곡의 경우엔 1.1 kg인 것으로 보고되어 있다(KOSIS 2021b). 이 중 쌀은 세계적으로 주요한 식량 자원으로 1차 에너지 공급원이며, 최근에는 쌀의 생리적 기능에 관한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 또한 보리는 옥수수, 밀, 벼와 함께 세계 4대 곡물 중 하나로 amylopectin과 식이섬유가 풍부하여 체내 혈중 콜레스테롤 수치 저하, 심장질환 예방, 체지방 축적 예방 등의 효과가 큰 것으로 보고되어 있다(Newman et al. 1989). 보리는 보통 알곡 형태로 섭취하며, β -glucan, tocopherols, tocotrienols 등 생리활성 물질이 풍부하게 포함되어 있다. 하지만 이런 생리활성 물질은 도정으로 인하여 호분층이 포함된 도정겨, 배아 및 기타 파쇄립 등이 제거되면서 다량의 생리활성 물

질이 파괴된다고 알려져 있다(Seog et al. 2002; Baik & Ullrich 2008).

도정은 현미, 보리 등과 같은 곡물의 과피, 종피, 외배유, 호분층 등을 벗기는 조작을 말하며(Cho et al. 2011), 도정이 되지 않은 쌀의 겨층은 소화효소에 대한 방어 역할을 하기 때문에 도정된 백미는 현미에 비하여 소화 속도가 빠르고 혈당지수를 빠르게 높이는 것으로 알려져 있다(Kim 2009). 또한 현미에는 식이섬유, 칼슘, 철, γ -aminobutyric acid (GABA), γ -oryzanol 및 inositol 등과 같은 기능성 성분이 풍부하다고 알려져 있으나, 도정을 거치게 되면 기능성 성분 중 많은 양이 파괴되는 것으로 보고되어 있다(Kim et al. 2012; Pascual et al. 2013). 도정을 하지 않은 멥쌀, 찰쌀 및 보리에 다량 함유되어 있는 GABA는 기능성 물질로 brain food라고도 불리며 포유류의 뇌나 척수에 존재하는 신경전달 물질로, 비단백질 아미노산의 일종이다(Lim & Kim 2009). 또한 뇌의 혈류를 도와 기억 기능을 개선하며 우울 장애에 효과가 있다고 보고되어 있다(Kalueff & Nutt 1996). 도정이 되지 않은 상태에서의 쌀과 보리의 섭취는 심혈관계 질환, 암과 같은 질병에 대한 보호 효과가 있다고 알려져 있다

*Corresponding author: Younghwa Kim, Department of Food Science and Biotechnology, Kyungsoong University, Busan, 48434, Republic of Korea
Tel: +82-51-663-4652 Fax: +82-51-622-4986 E-mail: younghwakim@ks.ac.kr

(Chatenoud et al. 1998; Anderson 2003). 또한 γ -oryzanol은 항염증, 항고지혈증, 콜레스테롤 감소 및 혈소판 응집 억제 등의 작용을 한다고 보고되어 있다(Lerma-García et al. 2009). Biotin은 포도당, 아미노산 및 지방산의 대사에 필수적인 역할을 하는 4개의 carboxylase에 대한 조효소 역할을 하는 수용성 비타민으로, 결핍 시 세포 증식 속도 감소, 면역 기능 손상 및 비정상적인 태아 발달을 유발할 수 있다고 알려져 있다(Rodríguez-Melendez & Zemleni 2003).

활성산소종(reactive oxygen species, ROS)은 산소가 불완전하게 환원되어 형성되는 화학종을 총칭하는 것으로 superoxide anion radicals, peroxide, hydrogen peroxide, hydroxyl radicals 및 hydroxyl ion 등이 이에 해당된다(Yang et al. 2019). 이는 호흡 과정 중 지속해서 생성되며 다양한 생리학적 및 병리학적 과정에 관여하며, 과도하게 생성될 경우 세포나 조직이 손상될 수 있다(Halliwell et al. 1992; Medzhitov 2008). 이처럼 체내에서 발생하는 ROS로 인한 손상을 방어할 수 있는 물질을 항산화제(antioxidant)라고 한다. 특히, 토코페롤 및 폴리페놀과 같은 천연 항산화제는 부작용이 적고 소비자들이 안전하다고 받아들여 합성 항산화제에 비하여 주목받고 있는 실정이다(Jang et al. 2016).

최근에는 체내 생리활성을 고려한 곡류의 소비가 이뤄지고 있으나, 멥쌀, 찰쌀 및 보리의 대표적인 기능성 성분인 GABA, γ -oryzanol과 미량 비타민 중 하나인 biotin의 함량 정보는 부족한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 곡류의 도정에 의한 GABA, γ -oryzanol, biotin와 같은 기능성 성분의 함량 및 항산화 활성 변화를 확인하고자 하였다.

II. 연구 내용 및 방법

1. 실험재료 및 시약

본 실험에 사용된 시료는 제10개정판 국가표준식품성분표의 작성을 위해 국립농업과학원에서 선정한 시료이며, 이는 2019년에 국립식량과학원에서 재배 및 수확된 멥쌀 14종, 찰쌀 3종, 보리 3종을 제공받아 본 연구에 사용하였다. 곡류 중 도정을 하지 않은 것은 제현기(Model SY88-TH, Ssangyong Ltd., Incheon, Korea)를 이용하여 탈각시킨 상태로 실험에 사용하였고, 도정을 한 곡류는 도정기(Model MC-90A, Wakayama Co. Ltd., Wakayama, Japan)를 이용하여 10분 도미로 도정된 것을 사용하였다. 실험에 사용된 곡류는 분쇄기(HBL-3500S, ELEXION, Korea)로 갈아 균질화된 가루로 만들었으며 이를 -20°C 냉동 보관하며 사용하였다. GABA, NADP⁺, GABase, biotin 표준품과 추출용매 제조 시 사용되는 sodium dihydrogen phosphate monohydrate와 disodium hydrogen phosphate heptahydrate, Folin-Ciocalteu's reagents, α, α -diphenyl- β -picrylhydrazyl (DPPH), 2,2'-azino-bis(3-ethylbenzthiazoline-6-sulfonic acid)(ABTS)는 Sigma-Aldrich Co. (St. Louis, MO, USA)에서 구입 후 사용하였다. Methanol

은 Burdick & Jackson사(Muskegon, MI, USA)에서 구매하여 실험에 사용하였고, 이동상으로 사용되는 *o*-phosphoric acid는 Merck사(Darmstadt, Germany)에서 구매한 후 실험에 사용하였다. 또한 acetonitrile은 Thermo Fisher Scientific (Portsmouth, NH, USA)에서 구입하여 실험에 사용하였다. 이밖에 사용된 시약은 high-performance liquid chromatography (HPLC)등급 및 특급 시약으로 사용하였다.

2. γ -Oryzanol 함량 측정

γ -Oryzanol 함량 측정은 Lilitchan et al. (2008)의 부분 추출 방법을 변형하여 실험하였다. 2개의 15 mL conical tube에 시료 0.5 g을 각각 취하여 헥산을 6 mL와 12 mL를 가하였다. 시약이 가해진 tube는 30초씩 4번 vortexing을 한 후, 2,500 rpm으로 10분간 원심분리를 하였다. 추출물의 상등액을 분광광도계(Thermo Scientific Ltd., Lafayette, CO., USA)를 사용하여 314 nm의 파장에서 측정하였다. 표준물질로는 γ -oryzanol을 사용하였으며, 시료의 총 γ -oryzanol의 농도는 다음과 같이 계산하였다.

$$\gamma\text{-Oryzanol의 함량(mg/100 g)} = \frac{x_1 x_2}{2x_1 - x_2}$$

x_1 : 헥산 6 mL로 추출한 곡류의 γ -oryzanol 함량

x_2 : 헥산 12 mL로 추출한 곡류의 γ -oryzanol 함량

3. GABA 함량 측정

곡류의 GABA 함량 측정은 Zhang & Bown(1996)의 방법을 참고하여 일부 수정해 실험을 진행하였다. 곡류 0.1 g을 칭량하여 methanol 400 μL 를 첨가한 후 80°C 항온수조에 1시간 정도 견고한 시료에 70 mM lanthanum chloride 1 mL를 혼합하여 4,000 rpm에서 5분 동안 원심분리하였다. 원심분리한 시료의 상등액 700 μL 에 1 M KOH 160 μL 를 첨가하여 4,000 rpm에서 5분 동안 원심분리를 시켜 상등액만 사용하였다. GABA 함량 측정은 GABase를 이용하였고, ELISA reader (Thermo Scientific Ltd., Lafayette, CO, USA)를 이용하여 340 nm에서 흡광도를 측정하였다.

4. Biotin 함량 측정

본 실험에 사용된 biotin 추출 방법으로는 Joseph et al. (2016)의 방법을 변형하여 실시하였다. 50 mL conical tube에 균질화 된 시료 5 g을 칭량한 다음 0.15 M sodium phosphate buffer 25 mL를 가하여 121°C 에서 25분 동안 추출하였다. 추출을 마친 용액은 방랭한 후, 0.15 M sodium phosphate buffer를 이용하여 50 mL로 정용하였다. 추출액은 원심분리하여 Whatman No. 2 여과지(GE Healthcare, Amersham Place, UK)를 사용해 여과한 후 사용하였다. Immunoaffinity column (Easi-Extract biotin, r-Biopharm, Glasgow, UK)을 이용하여 추출액의 biotin을 농축시켜 분석

하였다. 분석기기는 5000 Hitachi Chromaster serise (Hitachi, Tokyo, Japan)를 사용했으며, 분석용 column은 Kinetex Phenyl-Hexyl (150 mm×4.6 mm, 2.6 μm, Phenomenex, Torrance, CA, USA)을 이용하였다. 컬럼 오븐 온도는 40°C로 유지하였으며, Biotin의 검출은 UV detector를 이용하여 200 nm에서 검출하였다.

5. 총 폴리페놀 및 총 플라보노이드 함량 측정

각 시료의 총 폴리페놀 함량은 Folin & Denis(1912)의 방법을 변형하여 측정하였다. Methanol로 추출한 시료 50 μL에 2% NaHCO₃ 1 mL를 첨가한 다음, 1 N Folin-Ciocalteu's phenol reagent 100 μL를 가하여 상온인 암소에서 5분간 방치하였다. 각 시료를 200 μL씩 취해서 96 well plate에 옮겨 ELISA reader를 사용하여 750 nm에서 흡광도를 측정하였다. Gallic acid를 표준품으로 사용하였으며, gallic acid의 검량선과 비교하여 100 g sample에 대한 mg gallic acid equivalents (GAE)로 나타내어 총 폴리페놀 함량을 구하였다.

각 시료의 총 플라보노이드의 함량 측정은 Zhishen et al. (1999)의 방법을 사용하였다. 추출물 250 μL에 증류수 1,250

μL를 가하고 5% NaNO₂ 75 μL를 넣어 6분간 암소에서 반응시켰다. 10% AlCl₃·6H₂O를 150 μL 취하여 암소에 5분간 방치한 뒤 1 M NaOH 1 mL를 넣은 후 교반하여 ELISA reader로 510 nm 파장에서 흡광도를 측정하였다. Catechin을 표준물질로 이용하여 작성한 표준곡선으로 총 플라보노이드 함량을 구하였으며, 100 g sample에 대한 mg catechin equivalent (CE)로 나타내었다.

6. ABTS 및 DPPH 라디칼 소거활성

각 시료의 ABTS 라디칼 소거활성은 Re et al. (1999)의 실험방법을 참고하여 실험하였다. 7.4 mM ABTS 용액과 2.6 mM potassium persulfate를 혼합 후 상온의 암소에서 24시간 동안 반응시켰다. 735 nm에서 흡광도가 1.000±0.1이 되도록 증류수로 희석하였다. 추출물 25 μL에 희석된 ABTS 용액 0.5 mL를 첨가하여 30분간 암소에서 방치시킨 후, 200 μL씩 96 well plate에 옮겨 735 nm에서 흡광도를 측정하였다. DPPH 라디칼 소거활성은 Blois(1958)의 방법을 이용하여 측정하였다. 추출물 25 μL에 0.2 mM DPPH 용액 500 μL를 첨가하고 암소에서 30분간 반응시켜 ELISA reader로

<Table 1> γ-Oryzanol and GABA contents in milled and unmilled grains

Sample	Cultivar	γ-Oryzanol (mg/100 g)		GABA (mg/100 g)	
		unmilled	milled	unmilled	milled
Non-glutinous rice	Dodamssal	485.203±7.640 ^{de}	ND ¹⁾	1.321±0.075 ^{Ad}	0.576±0.030 ^{Bde}
	Goami2ho	585.947±0.959 ^b	ND	2.253±0.227 ^{Ac}	1.230±0.048 ^{Bc}
	Haedeul	471.485±0.195 ^{ef}	ND	1.342±0.085 ^{Ad}	0.623±0.014 ^{Bd}
	Haepum	476.544±2.336 ^{ef}	ND	0.327±0.011 ^{Aef}	0.054±0.001 ^{Bi}
	Haiami	495.628±0.143 ^d	ND	0.611±0.011 ^{Aef}	0.275±0.014 ^{Bf}
	Ilpum	317.657±1.112 ^{ij}	ND	0.266±0.040 ^{Aef}	0.167±0.003 ^{Agh}
	Mipum	392.777±2.449 ^g	ND	1.445±0.250 ^{Ad}	0.528±0.062 ^{Be}
	Odae	374.434±1.420 ^h	ND	0.591±0.079 ^{Aef}	0.216±0.001 ^{Bfg}
	Palbangbi	290.595±1.195 ^k	ND	0.164±0.010 ^{Af}	0.121±0.025 ^{Aghi}
	Saeilmi	331.895±0.800 ⁱ	ND	0.383±0.002 ^{Aef}	0.131±0.011 ^{Bghi}
	Samgwang	310.946±0.762 ^j	ND	0.345±0.017 ^{Aef}	0.115±0.011 ^{Bhi}
	Seolgaeng	366.552±0.601 ^h	ND	0.283±0.027 ^{Aef}	0.161±0.008 ^{Bgh}
	Sindongjin	384.220±0.244 ^{gh}	ND	0.589±0.059 ^{Aef}	0.263±0.007 ^{Bf}
Ungwang	477.900±0.405 ^{def}	ND	1.315±0.148 ^{Ad}	0.300±0.014 ^{Bf}	
Glutinous rice	Baegokchal	634.729±2.957 ^a	ND	1.857±0.137 ^{Ac}	0.576±0.033 ^{Bde}
	Baekjinju	459.771±4.368 ^f	ND	0.336±0.042 ^{Aef}	0.133±0.003 ^{Bghi}
	Boramchal	529.961±0.871 ^c	ND	0.678±0.021 ^{Ac}	0.151±0.010 ^{Bgh}
Barley	Heuksujeongchal	4.877±0.029 ⁿ	ND	1.273±0.040 ^{Ad}	0.625±0.001 ^{Bd}
	Hyeyang	59.075±8.522 ^m	ND	3.160±0.539 ^{Ab}	1.371±0.145 ^{Bb}
	Keunalbori1ho	96.512±33.981 ^l	ND	5.378±0.540 ^{Aa}	2.860±0.046 ^{Ba}

All results were expressed as the mean±standard deviation of duplicate determination.

^{a-n}Means with different small letters in the same column are significantly different by Duncan's multiple range test at p<0.05.

^{A-B}Means with different capital letters within a row of each sample under γ-oryzanol or GABA are significantly different by Duncan's multiple range test at p<0.05.

¹⁾ND: not detected.

520 nm에서 흡광도를 측정하였다. 표준품으로 gallic acid를 사용하여 검량선을 작성하였고, mg GAE (gallic acid equivalent antioxidant capacity)/100 g sample로 라디칼 소거활성을 나타내었다.

7. 통계분석

각 기능성 성분의 함량 및 항산화 활성을 분석한 결과의 통계분석은 SAS 9.4 (Statistical Analysis System, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA)를 이용하여 진행하였으며, 평균값과 표준편차로 나타내었다. 각 결과의 유의성 검증을 위하여 일원배치분산분석(one-way ANOVA)과 Duncan's multiple range test로 시료 간의 차이를 정하였다(p<0.05).

III. 결과 및 고찰

1. 곡류의 도정에 따른 γ -oryzanol, GABA 및 biotin 함량 변화

본 연구에서는 곡류의 도정에 따른 γ -oryzanol, GABA 및 biotin 함량 변화를 알아보았으며, 그 결과를 <Table 1>에 나타내었다. γ -Oryzanol의 경우 도정을 한 곡류에서는 검출되지 않았으나, 도정을 하지 않은 곡류의 경우 4.877-634.729 mg/100 g 범위로 모두 검출되었다. 도정을 하지 않은 찹쌀의 백옥찰(634.729 mg/100 g)이 유의적으로 가장 높은 함량을 나타내었으며, 멬쌀과 보리는 각각 585.947 mg/100 g의 함량을 가진 고아미2호와 96.512 mg/100 g인 큰알보리1호가 가장 높았다. γ -Oryzanol은 쌀의 미강에 존재하는 성분으로 ferulic acid esters의 혼합물이며 주로 cycloartenol, β -sitosterol, 2,4-methylenecycloartenol 및 campesterol과 같은 식물성 스테롤로 구성되어 있다(Kozuka et al. 2013). 또한 Oh et al. (2010)은 벼에 함유된 γ -oryzanol의 함량이 품종에 따라 차이가 있다고 보고하였으며, 본 연구에서 측정된 γ -oryzanol의 함량의 경향 또한 품종 간의 차이를 보였다. 이전 연구에 따르면 보리의 γ -oryzanol의 함량은 3.96 mg/100 g으로 본 연구에서 분석한 보리의 흑수정찰과 유사한 값을 나타냈으며, 귀리(0.53 mg/100 g)와 같은 곡류에도 γ -oryzanol이 소량 함유되어있는 것으로 보고되었다(Tsuzuki et al. 2018).

본 연구에서 측정된 곡류의 GABA 함량은 0.054-5.378 mg/100 g의 범위로 나타났으며, 도정을 하지 않은 곡류 중 보리의 큰알보리1호(5.378 mg/100 g)에서 가장 높았다. 도정 전, 후 곡류의 GABA 손실 정도는 멬쌀에서는 26-83%, 찹쌀에서는 60-78% 감소하였으며, 보리에서는 47-57%가 감소하였다. 본 연구에서 사용한 도정 곡류는 모두 10분 도미이기에, 시료 간의 GABA 손실 정도 차이는 곡류에 따라 차이가 나는 것으로 생각된다. GABA는 쌀이 발아가 진행됨에 따라 증가하는 성분이며 건강에 대한 관심 증대로 GABA의 함량을 증가시킨 발아 현미 등이 시중에 판매되고 있다(Esa et al. 2013). Roohinejad et al. (2011)의 연구에 따르면 GABA는 주로 곡류 도정 시 제거되는 배아 및 겨층에 존재

<Table 2> Biotin contents in milled and unmilled grains

Sample	Cultivar	Biotin (μ g/100 g)		
		unmilled	milled	
Non-glutinous rice	Dodamssal	1.425 \pm 0.025 ^{Ah}	0.545 \pm 0.001 ^{Bc}	
	Goami2ho	2.124 \pm 0.148 ^{Ae}	1.085 \pm 0.079 ^{Bc}	
	Haedeul	1.720 \pm 0.030 ^{Ag}	0.564 \pm 0.025 ^{Bc}	
	Haepum	1.211 \pm 0.065 ^{Ai}	0.920 \pm 0.045 ^{Bd}	
	Haiami	1.075 \pm 0.030 ⁱ	ND ¹⁾	
	Ilpum	1.536 \pm 0.088 ^h	ND	
	Mipum	1.047 \pm 0.020 ^{Ai}	0.524 \pm 0.032 ^{Bc}	
	Odae	1.957 \pm 0.054 ^f	ND	
	Palbangbi	1.044 \pm 0.029 ⁱ	ND	
	Saeilmi	2.533 \pm 0.054 ^d	ND	
Glutinous rice	Samgwang	2.723 \pm 0.018 ^{Ac}	1.287 \pm 0.103 ^{Bb}	
	Seolgaeng	1.170 \pm 0.105 ⁱ	ND	
	Sindongjin	2.467 \pm 0.003 ^d	ND	
	Ungwang	1.052 \pm 0.043 ^{Ai}	0.573 \pm 0.025 ^{Bc}	
	Baegokchal	1.150 \pm 0.013 ^{Ai}	0.293 \pm 0.015 ^{Bf}	
	Baekjinju	0.883 \pm 0.020 ^{Aj}	0.502 \pm 0.026 ^{Bc}	
	Boramchal	0.875 \pm 0.001 ^{Aj}	0.337 \pm 0.030 ^{Bf}	
	Heuksujeongchal	2.763 \pm 0.188 ^{Ac}	1.184 \pm 0.063 ^{Bbc}	
	Barley	Hyeayang	4.649 \pm 0.039 ^{Aa}	1.537 \pm 0.063 ^{Ba}
		Keunalbori1ho	3.210 \pm 0.117 ^{Ab}	1.546 \pm 0.009 ^{Ba}

All results were expressed as the mean \pm standard deviation of duplicate determination.

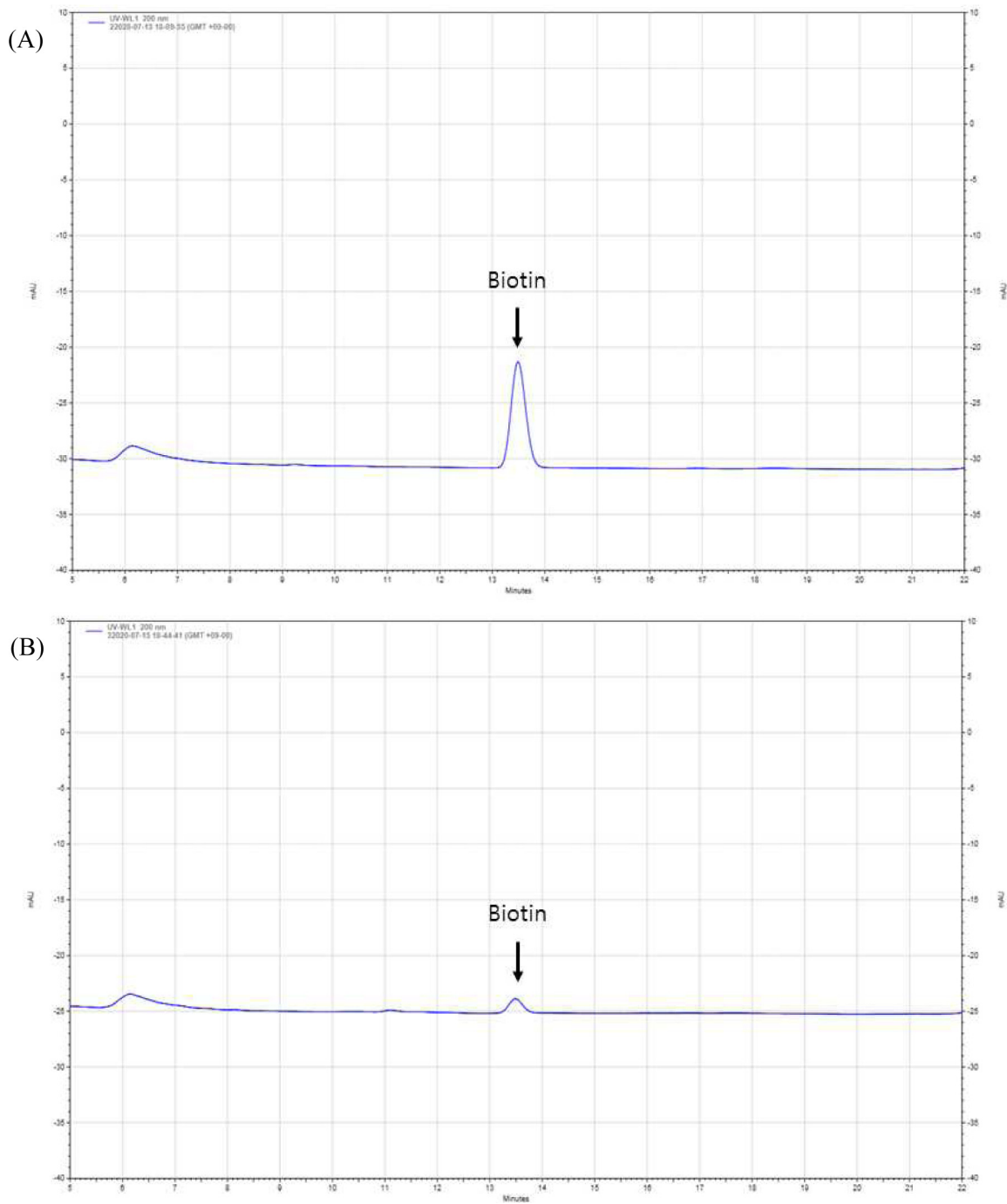
^{a-j}Means with different small letters in the same column are significantly different by Duncan's multiple range test at p<0.05.

^{A-B}Means with different capital letters within a row of each sample under biotin are significantly different by Duncan's multiple range test at p<0.05.

¹⁾ND: not detected.

한다고 하였으며, 이는 본 연구에서 분석한 곡류의 GABA 함량이 도정했을 때 감소하는 이유를 뒷받침하는 것으로 사료된다.

곡류의 도정에 따른 biotin 함량은 <Table 2>에 나타내었으며, <Figure 1>은 biotin 표준물질과 infant formula (Imperial dream XO, Namyang, Seoul, Korea)에서 얻은 크로마토그램을 나타내었다. 본 연구에서 분석한 곡류의 biotin 함량은 0.293-4.649 μ g/100 g의 범위로 검출되었으며, 도정을 한 멬쌀의 하이아미, 일품, 오대, 팔방비, 새일미, 설갱, 신동진 품종에서는 검출되지 않았다. 가장 높은 biotin 함량을 나타낸 곡류는 도정을 하지 않은 보리의 혜양(4.649 μ g/100 g)이었으며, 멬쌀과 찹쌀의 경우에는 각각 도정을 하지 않은 멬쌀의 삼광(2.723 μ g/100 g)과 찹쌀인 백옥찰(1.150 μ g/100 g)이 가장 높은 함량을 나타내었다. 일본 문부과학성의 MEXT(2015)에 의하면 곡류를 도정하였을 때 biotin의 함량이 감소하는 것으로 나타났고, 이는 본 연구 결과와 유



<Figure 1> HPLC chromatogram of biotin standard (A) and infant formula (B).

사한 결과를 나타내었다. 본 연구 결과 곡류에 함유된 γ -oryzanol은 도정에 의해 크게 소실될 수 있음을 확인할 수 있었으며, GABA 및 biotin의 함량은 모두 도정을 하지 않은 곡류에서 더 높은 함량을 나타내었다.

2. 곡류의 도정에 따른 총 폴리페놀 및 총 플라보노이드 함량 변화

곡류의 도정에 따른 총 폴리페놀 및 총 플라보노이드 함

량을 분석한 결과는 <Table 3>과 같다. 본 연구에서 분석한 총 폴리페놀의 함량은 4.000-137.248 GAE mg/100 g의 범위로 나타났으며, 총 플라보노이드 함량은 1.916-18.407 CE mg/100 g의 범위로 나타났다. 멥쌀 및 찰쌀의 총 폴리페놀 함량은 도정을 하지 않은 고아미2호(21.869 GAE mg/100 g)와 도정을 하지 않은 백옥찰(20.473 GAE mg/100 g)에서 유의적으로 높은 함량을 나타냈다. 총 플라보노이드의 함량이 가장 높은 멥쌀 및 찰쌀은 도정을 하지 않은 멥쌀의 하이하

<Table 3> Total polyphenol and flavonoid contents of methanol extract from milled and unmilled grains

Sample	Cultivar	Total polyphenol (GAE mg/100 g) ¹⁾		Total flavonoid (CE mg/100 g) ²⁾	
		unmilled	milled	unmilled	milled
Non-glutinous rice	Dodamssal	15.077±0.173 ^{Aij}	5.492±0.052 ^{Bfg}	6.936±0.318 ^{Ajk}	2.235±0.126 ^{Bgh}
	Goami2ho	21.869±0.522 ^{Ad}	7.998±0.308 ^{Bd}	7.897±0.190 ^{Afg}	2.611±0.087 ^{Bc}
	Haedeul	14.691±0.301 ^{Aj}	5.831±0.068 ^{Bf}	6.742±0.273 ^{Akl}	2.245±0.020 ^{Bgh}
	Haepum	19.391±0.562 ^{Af}	5.466±0.136 ^{Bfg}	8.106±0.091 ^{Af}	2.149±0.035 ^{Bghi}
	Haiami	19.410±0.288 ^{Af}	7.574±0.045 ^{Bd}	8.712±0.400 ^{Ae}	2.677±0.108 ^{Bc}
	Ilpum	16.319±0.238 ^{Ah}	5.483±0.127 ^{Bfg}	7.351±0.053 ^{Ahi}	2.090±0.075 ^{Bhi}
	Mipum	16.069±0.323 ^{Ah}	4.662±0.026 ^{Bh}	7.695±0.089 ^{Ag}	2.003±0.040 ^{Bij}
	Odae	14.336±0.065 ^{Aj}	5.049±0.092 ^{Bgh}	6.549±0.052 ^{Al}	2.159±0.053 ^{Bghi}
	Palbangbi	17.855±0.400 ^{Ag}	5.787±0.089 ^{Bf}	7.117±0.124 ^{Aij}	2.196±0.033 ^{Bgh}
	Saeilmi	16.562±0.186 ^{Ah}	4.791±0.109 ^{Bh}	4.789±0.179 ^{An}	2.004±0.052 ^{Bij}
	Samgwang	17.578±0.129 ^{Ag}	5.057±0.051 ^{Bgh}	5.143±0.136 ^{Am}	2.179±0.053 ^{Bghi}
	Seolgaeng	15.099±0.284 ^{Aij}	5.951±0.045 ^{Bf}	7.079±0.052 ^{Aijk}	2.315±0.073 ^{Bfg}
	Sindongjin	17.954±0.066 ^{Ag}	4.000±0.078 ^{Bi}	7.656±0.053 ^{Ag}	1.916±0.173 ^{Bj}
	Ungwang	15.726±0.611 ^{Ahi}	5.495±0.091 ^{Bfg}	7.075±0.103 ^{Aijk}	2.285±0.090 ^{Bg}
Glutinous rice	Baegokchal	20.473±0.343 ^{Ae}	6.567±0.076 ^{Be}	8.932±0.122 ^{Ade}	2.663±0.059 ^{Be}
	Baekjinju	18.424±0.369 ^{Ag}	7.559±0.142 ^{Bd}	9.204±0.053 ^{Ad}	3.169±0.214 ^{Bd}
	Boramchal	19.962±0.130 ^{Aef}	4.912±0.026 ^{Bh}	8.859±0.362 ^{Ae}	2.453±0.126 ^{Bf}
Barley	Heuksujeongchal	137.248±1.223 ^{Aa}	36.464±0.592 ^{Ba}	18.407±0.191 ^{Aa}	7.823±0.050 ^{Ba}
	Hyeyang	115.250±0.579 ^{Ab}	25.982±0.468 ^{Bc}	15.794±0.105 ^{Ab}	7.271±0.088 ^{Bc}
	Keunalbori1ho	100.094±1.354 ^{Ac}	34.432±0.981 ^{Bb}	13.273±0.280 ^{Ac}	7.607±0.101 ^{Bb}

All results were expressed as the mean±standard deviation of triplicate determination.

¹⁾GAE: gallic acid equivalents.

²⁾CE: catechin equivalents.

^{a-n}Means with different small letters in the same column are significantly different by Duncan's multiple range test at $p<0.05$.

^{A-B}Means with different capital letters within a row of each sample under total polyphenol or total flavonoid are significantly different by Duncan's multiple range test at $p<0.05$.

미(8.712 CE mg/100 g)와 도정을 하지 않은 찰쌀의 백진주(9.204 CE mg/100 g)였다. 본 연구에서 도정에 따른 총 폴리페놀의 감소 정도는 최소 59%에서 최대 78%였으며, 총 플라보노이드의 감소율은 43-75%로 나타났다. Liu et al. (2015)의 연구에 따르면 도정 시간에 따른 자포니카 쌀의 총 폴리페놀 함량은 도정 전 65.6 mg GAE/100 g이었고, 30분간 도정을 한 경우에는 31.7 mg GAE/100 g으로 약 52% 감소한다고 보고하였다. 동일한 연구에서 총 플라보노이드 함량도 도정 전(42.6 mg GAE/100 g)과 30분간 도정을 한 경우(11.8 mg GAE/100 g)를 비교하였을 때 약 72%가 감소하였다. 본 연구에서 사용된 백미의 경우 10분 도미로 도정되었으며, 총 폴리페놀(60-78%) 및 총 플라보노이드(58-75%) 함량의 감소폭은 Liu et al. (2015)의 연구와 유사한 결과를 나타냈다. 보리 중 총 폴리페놀 함량 및 총 플라보노이드 함량이 가장 높은 것은 도정을 하지 않은 흑수정찰이었으며, 각각 137.248 GAE mg/100 g, 18.407 CE mg/100 g의 함량을 나타내었다. Lee et al. (2010)의 연구에서 보리의 총 폴리페놀 함량을 123 mg GAE/100 g으로 보고하였으며 이는

본 연구 결과와 비슷한 값을 나타냈다. 하지만 동일한 연구에서 총 플라보노이드 함량은 29 mg CE/100 g으로 보고하였으며, 이는 본 연구에서 사용한 보리의 품종과 다르기 때문에 본 연구의 결과와 차이가 나는 것으로 생각된다. 곡류에 존재하는 주요 페놀 화합물은 페놀산인 *p*-coumaric, synapic 및 caffeic acid가 있으며, 플라보노이드와 탄닌도 존재한다고 알려져 있다(Wang et al. 2014). 이러한 페놀 화합물들은 곡물의 기율 분획에 다량 함유되어 있어, 이들 화합물은 도정에 의해 제거될 수 있다고 보고되어 있다(Adom et al. 2005). 따라서, 곡류를 도정 시 제거되는 외피에 더 많은 폴리페놀 및 플라보노이드가 포함되어 있어, 모든 품종에서 도정을 한 곡류보다 도정을 하지 않은 곡류의 총 폴리페놀 함량 및 총 플라보노이드 함량이 유의적으로 높게 나타난 것으로 보인다.

3. 곡류의 도정에 따른 ABTS 및 DPPH 라디칼 소거활성

도정 전과 후의 곡류에 대한 ABTS 및 DPPH 라디칼 소거활성을 측정된 결과는 <Table 4>와 같다. 모든 시료의

<Table 4> ABTS and DPPH radical scavenging activities of methanol extract from milled and unmilled grains

Sample	Cultivar	ABTS radical scavenging activity		DPPH radical scavenging activity	
		unmilled	milled	unmilled	milled
Non-glutinous rice	Dodamssal	5.209±0.212 ^{Ag}	2.261±0.076 ^{B^{ghij}}	5.182±0.312 ^{Ag}	1.245±0.107 ^{B^{hij}}
	Goami2ho	8.861±0.958 ^{Ad}	3.482±0.054 ^{Bcd}	7.204±0.391 ^{Acde}	2.470±0.123 ^{Bd}
	Haedeul	4.212±0.156 ^{Ah}	2.406±0.062 ^{Be^{ghi}}	4.485±0.136 ^{Ag}	1.380±0.059 ^{B^{ghi}}
	Haepum	7.053±0.274 ^{Ae}	2.463±0.077 ^{Be^{ghi}}	7.024±0.252 ^{Acde}	1.468±0.150 ^{B^{gh}}
	Haiami	7.311±0.263 ^{Ae}	3.130±0.097 ^{Bd}	6.848±0.434 ^{Acde}	1.800±0.177 ^{B^g}
	Ilpum	5.722±0.356 ^{A^{fg}}	2.516±0.081 ^{Be^{gh}}	4.958±0.215 ^{Ag}	1.507±0.129 ^{B^{gh}}
	Mipum	5.451±0.114 ^{A^{fg}}	1.854±0.066 ^{B^{jk}}	5.463±0.040 ^{A^{fg}}	0.948±0.143 ^{B^{ij}}
	Odae	5.093±0.356 ^{A^{gh}}	2.053±0.142 ^{B^{ij}}	4.587±0.029 ^{Ag}	1.326±0.244 ^{B^{hij}}
	Palbangbi	5.666±0.533 ^{A^{fg}}	2.633±0.151 ^{Be^{fg}}	6.244±0.198 ^{Ae^f}	1.909±0.250 ^{Be^f}
	Saeilmi	6.404±0.159 ^{Ae^f}	2.166±0.032 ^{B^{hij}}	6.231±0.177 ^{Ae^f}	1.112±0.181 ^{B^{hij}}
	Samgwang	7.339±0.209 ^{Ae}	2.174±0.068 ^{B^{hij}}	6.494±0.244 ^{Ade}	1.531±0.055 ^{B^{gh}}
	Seolgaeng	5.414±0.100 ^{Ag}	2.720±0.059 ^{Be}	5.145±0.058 ^{Ag}	1.578±0.192 ^{B^{gh}}
	Sindongjin	7.186±0.447 ^{Ae}	1.505±0.025 ^{B^k}	6.728±0.170 ^{Acde}	0.913±0.170 ^{B^j}
	Ungwang	4.935±0.156 ^{A^{gh}}	2.229±0.070 ^{B^{ghij}}	5.098±0.219 ^{Ag}	1.409±0.036 ^{B^{ghi}}
Glutinous rice	Baegokchal	8.705±0.281 ^{Ad}	2.706±0.100 ^{Be^f}	7.535±0.391 ^{Ac}	1.266±0.171 ^{B^{hij}}
	Baekjinju	7.023±0.139 ^{Ae}	3.389±0.065 ^{Bcd}	6.185±0.080 ^{Ae^f}	2.233±0.172 ^{Bde}
	Boramchal	8.479±0.320 ^{Ad}	1.580±0.045 ^{B^k}	7.290±0.264 ^{Ac^d}	1.288±0.090 ^{B^{hij}}
Barley	Heuksujeongchal	46.031±0.854 ^{Aa}	10.316±0.652 ^{Ba}	46.620±1.292 ^{Aa}	13.669±0.672 ^{Ba}
	Hyeyang	33.467±0.860 ^{Ab}	3.639±0.429 ^{B^c}	32.100±1.716 ^{Ab}	4.098±0.084 ^{B^c}
	Keunalbori1ho	30.752±1.437 ^{Ac}	7.601±0.665 ^{B^b}	32.062±0.501 ^{Ab}	10.996±0.558 ^{B^b}

GAE mg/100 g¹⁾

All results were expressed as the mean±standard deviation of triplicate determination.

¹⁾GAE: gallic acid equivalents.

^{a-k}Means with different small letters in the same column are significantly different by Duncan's multiple range test at p<0.05.

^{A-B}Means with different capital letters within a row of each sample under ABTS radical scavenging activity or DPPH radical scavenging activity are significantly different by Duncan's multiple range test at p<0.05.

ABTS 라디칼 소거활성의 범위는 1.505-46.031 GAE mg/100 g이었으며, DPPH의 라디칼 소거활성의 범위는 0.913-46.620 GAE mg/100 g으로 나타났다. 도정을 하였을 때 ABTS 라디칼 소거활성은 도정하지 않은 곡류에 비해 43-89% 정도 감소하였으며, DPPH 라디칼 소거활성은 약 64-87% 가량 감소하였다. 멥쌀의 ABTS 및 DPPH 라디칼 소거활성은 도정을 하지 않은 고아미2호에서 각각 8.861 GAE mg/100 g, 7.204 GAE mg/100 g으로, 유의적으로 가장 높았으며, 찰쌀은 도정을 하지 않은 백옥찰(8.705 GAE mg/100 g, 7.535 GAE mg/100 g)에서 유의적으로 가장 높은 함량을 나타내었다. 또한 본 연구에서 측정된 ABTS 및 DPPH 라디칼 소거활성이 유의적으로 가장 높았던 곡류는 보리 중 도정을 하지 않은 흑수정찰이었으며, 각각 46.031 GAE mg/100 g, 46.620 GAE mg/100 g의 소거활성을 나타내었다. Dudonné et al. (2009)에 따르면 ABTS, DPPH 라디칼 소거활성은 총 폴리페놀 함량과 높은 상관관계를 나타낸다고 보고되어 있다. 유색미의 겨층에는 다른 곡류들에 비해 색소 성분인 anthocyanin이 풍부하게 함유되어 있으며, anthocyanin

의 주성분으로는 cyanidin-3-glucoside, peonidin 3-glucoside 및 cyanidin 3-rutinoside 등이 항산화 활성이 뛰어나다고 알려져 있다(Zhang et al. 2010). 따라서 본 연구에서 측정된 곡류 중 보리의 흑수정찰은 유색 곡류로 anthocyanin 성분들이 다량 포함되어 있어, 다른 곡류에 비해 ABTS 및 DPPH 라디칼 소거활성이 가장 높았던 것으로 생각된다.

도정 전, 후 곡류의 ABTS 및 DPPH 라디칼 소거활성은 도정을 하지 않은 곡류가 도정을 한 곡류보다 유의적으로 높았으며, 이는 총 폴리페놀 및 총 플라보노이드의 함량이 도정에 의해 많이 소실될 수 있음을 확인할 수 있었다.

IV. 요약 및 결론

본 연구에서는 멥쌀 14종, 찰쌀 3종, 보리 3종의 도정에 따른 기능성 성분의 함량 및 항산화 활성 변화에 대해 알아 보았다. γ -oryzanol은 도정을 하지 않은 곡류 20종에서 4.877-634.729 mg/100 g의 범위로 나타났으며, 도정을 한 곡류에서는 검출되지 않았다. GABA는 일품과 팔방비를 제외

한 모든 곡류에서 도정을 하지 않은 곡류가 도정을 한 곡류보다 유의적으로 높은 함량을 나타내었으며, 도정하지 않은 보리의 큰알보리 1호(5.378 mg/100 g)가 가장 높은 함량을 나타내었다. Biotin 같은 경우 일부 도정을 한 곡류에서 검출되지 않았으며, 도정을 하지 않은 보리의 헤양에서 4.649 µg/100 g으로 가장 높은 함량을 나타내었다. 총 폴리페놀 및 총 플라보노이드 함량 같은 경우 도정에 따라 각각 59-78, 43-75% 범위로 감소하였으며, 함량이 가장 높은 곡류는 도정을 하지 않은 보리의 흑수정찰(137.248 GAE mg/100 g, 18.407 CE mg/100 g)이었다. ABTS 및 DPPH 라디칼 소거 활성 또한 도정을 하지 않은 보리의 흑수정찰이 각각 46.031 GAE mg/100 g, 46.620 GAE mg/100 g으로 유의적으로 높은 라디칼 소거활성을 나타내었다. 또한 ABTS 라디칼 소거 활성은 곡류를 도정하였을 때 최소 43%에서 최대 89% 감소하는 경향을 보였으며, DPPH 라디칼 소거활성은 도정 전에 비하여 도정 후에 64-87% 감소하였다. 따라서 본 연구에서 분석한 맵쌀 14종, 찰쌀 3종, 보리 3종은 도정을 하지 않았을 때 더 높은 기능성 성분의 함량 및 항산화 활성을 나타내었으며, 이러한 결과는 생리활성을 증대시킨 곡류 가공식품 개발의 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

저자 정보

신희윤(경성대학교 일반대학원 식품생명공학과, 석사과정 대학원생, 00000-0002-1328-5354)

최용민(국립농업과학원, 농업연구사, 0000-0002-8633-4671)

최정민(경성대학교 식품생명공학과, 교수, 0000-0003-2450-3916)

김영화(경성대학교 식품생명공학과, 교수, 0000-0003-4186-887X)

감사의 글

이 논문은 2020년도 농촌진흥청 연구사업(세부과제번호: PJ013398042020)의 지원에 의하여 연구되었고, 일부 2020년도 Brain Busan 21 플러스사업에 의하여 지원되었으며, 이에 감사드립니다. 또한 시료를 제공해 준 국립식량과학원에 감사드립니다.

Conflict of Interest

No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

References

Adom KK, Sorrells ME, Liu RH. 2005. Phytochemicals and antioxidant activity of milled fractions of different wheat

varieties. *J. Agric. Food Chem.*, 53(6):2297-2306

Anderson JW. 2003. Whole grains protect against atherosclerotic cardiovascular disease. *Proc. Nutr. Soc.*, 62(1):135-142

Baik BK, Ullrich SE. 2008. Barley for food: characteristics, improvement, and renewed interest. *J. Cereal Sci.*, 48(2): 233-242

Blois MS. 1958. Antioxidant determinations by the use of a stable free radical. *Nature*, 181(4617):1199-1200

Chatenoud L, Tavani A, Vecchia CL, Jacobs DR Jr, Negri FL, Franceschi S. 1998. Whole grain food intake and cancer risk. *Int. J. Cancer*, 77:24-28

Cho YS, Kim YN, Kim SY, KIM JB, Kim HW, Kim SN, Kim SY, Park HJ, Kim JH. 2011. Changes in fatty acid composition of grain after milling. *Korean J. Environ. Agric.*, 30(4):409-413

Dudonné S, Vitrac X, Coutière P, Woillez M, Mérillon JM. 2009. Comparative study of antioxidant properties and total phenolic content of 30 plant extracts of industrial interest using DPPH, ABTS, FRAP, SOD, and ORAC assays. *J. Agric. Food Chem.*, 57(5):1768-1774

Esa NM, Kadir KKA, Amom Z, Azlan A. 2013. Antioxidant activity of white rice, brown rice and germinated brown rice (in vivo and in vitro) and the effects on lipid peroxidation and liver enzymes in hyperlipidaemic rabbits. *Food Chem.*, 141(2):1306-1312

Folin O, Denis W. 1912. On phosphotungstic-phosphomolybdic compounds as color reagents. *J. Biol. Chem.*, 12(2):239-243

Halliwell B, Gutteridge JMC, Cross CE. 1992. Free radicals, antioxidants and human disease: where are we now?. *J. Lab. Clin. Med.*, 119(6):598-620

Jang TW, Nam SH, Park JH. 2016. Antioxidant activity and inhibitory effect on oxidative DNA damage of ethyl acetate fractions extracted from cone of red pine (*Pinus densiflora*). *Korean J. Plant Res.*, 29(2):163-170

Joseph G, Devi R, Marley EC, Leeman D. 2016. Determination of biotin by liquid chromatography coupled with immunoaffinity column cleanup extraction: single-laboratory validation, first action 2016.02. *J. AOAC Int.*, 99(4):1110-1112

Kalueff A, Nutt D. 1996. Role of GABA in memory and anxiety. *Depress. Anxiety*, 4:100-110

Kim IJ. 2009. Glycemic index revisited. *Korean Diabetes J.*, 33(4):261-266

Kim JM, Yu M, Shin M. 2012. Effect of mixing ratio of white and germinated brown rice on the physicochemical properties. *Korean J. Food Cook. Sci.*, 28(6):813-820

Kozuka C, Yabiku K, Takayama C, Matsushita M, Shimabukuro M, Masuzaki H. 2013. Natural food science based novel approach toward prevention and treatment of obesity and type 2 diabetes: Recent studies on brown rice and γ -oryzanol. *Obes. Res. Clin. Pract.*, 7(3):165-172

Lee HK, Hwang IG, Kim HY, Woo KS, Lee SH, Woo SH, Lee J, Jeon HS. 2010. Physicochemical characteristic and

- antioxidant activities of cereals and legumes in Korea. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.*, 39(9):1399-1404
- Lerma-García MJ, Herrero-Martínez JM, Simó-Alfonso EF, Mendonça CRB, Ramis-Ramos G. 2009. Composition, industrial processing and applications of rice bran γ -oryzanol. *Food Chem.*, 115(2):389-404
- Lilitchan S, Tangprawat C, Aryasuk K, Krisnangkura S, Chokmoh S, Krisnangkura K. 2008. Partial extraction method for the rapid analysis of total lipids and γ -oryzanol contents in rice bran. *Food Chem.*, 106(2):752-759
- Lim SD, Kim KS. 2009. Effects and utilization of GABA. *J. Dairy Sci. Biotechnol.*, 27(1):45-51
- Liu L, Guo J, Zhang R, Wei Z, Deng Y, Guo J, Zhang M. 2015. Effect of degree of milling on phenolic profiles and cellular antioxidant activity of whole brown rice. *Food Chem.*, 185:318-325
- Medzhitov R. 2008. Origin and physiological roles of inflammation. *Nature*, 454:428-432
- Newman RK, Lewis SE, Newman CW, Boik RJ, Ramage RT. 1989. Hypocholesterolemic effect of barley foods on healthy men. *Nutr. Rep. Int.*, 39(4):749-760
- Oh SK, Kim DJ, Chun AR, Yoon MR, Kim KJ, Lee JS, Hong HC, Kim YK. 2010. Antioxidant compounds and antioxidant activities of ethanol extracts from milling by-products of rice cultivars. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.*, 39(4):624-630
- Pascual CDSCI, Massaretto IL, Kawassaki F, Barros RMC, Noldin JA, Marquez UML. 2013. Effects of parboiling, storage and cooking on the levels of tocopherols, tocotrienols and γ -oryzanol in brown rice (*Oryza sativa* L.). *Food Res. Int.*, 50(2):676-681
- Re R, Pellegrini N, Proteggente A, Pannala A, Yang M, Rice-Evans C. 1999. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radic. Biol. Med.*, 26(9-10):1231-1237
- Rodríguez-Melendez R, Zemleni J. 2003. Regulation of gene expression by biotin (review). *J. Nutr. Biochem.*, 14(12):680-690
- Roohinejad S, Omidzadeh A, Mirhosseini H, Saari N, Mustafa S, Hussin ASM, Hamid A, Manap MYA. 2011. Effect of pre-germination time on amino acid profile and gamma amino butyric acid (GABA) contents in different varieties of Malaysian brown rice. *Int. J. Food Prop.*, 14(6):1386-1399
- Seog HM, Seo MS, Kim SR, Park YK, Lee YT. 2002. Characteristics of barley polyphenol extract (BPE) separated from pearling by-products. *Korean J. Food Sci. Technol.*, 34(5):775-779
- Tsuzuki W, Komba S, Kotake-Nara E, Aoyagi M, Mogushi H, Kawahara S, Horigane A. 2018. The unique compositions of steryl ferulates in foxtail millet, barnyard millet and naked barley. *J. Cereal Sci.*, 81:153-160
- Wang T, He F, Chen G. 2014. Improving bioaccessibility and bioavailability of phenolic compounds in cereal grains through processing technologies: A concise review. *J. Funct. Foods*, 7:101-111
- Yang B, Chen Y, Shi J. 2019. Reactive oxygen species (ROS)-based nanomedicine. *Chem. Rev.*, 119(8):4881-4985
- Zhang D, Bown AW. 1996. The rapid determination of γ -aminobutyric acid. *Phytochem.*, 44(6):1007-1009
- Zhang MW, Zhang RF, Zhang FX, Liu RH. 2010. Phenolic profiles and antioxidant activity of black rice bran of different commercially available varieties. *J. Agric. Food Chem.*, 58(13):7580-7587
- Zhishen J, Mengcheng T, Jianming W. 1999. The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals. *Food Chem.*, 64(4):555-559
- Korea Law Information Center. 2017. Grain management act. Available from: <https://www.law.go.kr/%EB%B2%95%EB%A0%B9%EC%96%91%EA%B3%A1%EA%B4%80%EB%A6%AC%EB%B2%95> [accessed 2022.01.03]
- Korea National Statistical Office. 2021a. Agricultural production (Polished). Available from: https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=DT_1ET0021&vw_cd=MT_ZTITLE&list_id=K1_19&seqNo=&lang_mode=ko&language=kor&obj_var_id=&itm_id=&conn_path=MT_ZTITLE [accessed 2022.01.03]
- Korea National Statistical Office. 2021b. Food grain consumption survey. Available from: https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=DT_1ED0001&vw_cd=MT_ZTITLE&list_id=F14_10&seqNo=&lang_mode=ko&language=kor&obj_var_id=&itm_id=&conn_path=MT_ZTITLE, [accessed 2021.11.01]
- Ministry of Education, Culture, Science, and Technology. 2015. Standard tables of food composition in Japan seventh revised version. Available from: http://www.mext.go.jp/en/policy/science_technology/policy/title01/detail01/1374030.htm [accessed 2021.11.02]