

미강의 토코페롤 및 토코트리에놀 함량과 항산화 물질의 품종간 비교

천아름[†] · 이유영 · 김대중 · 윤미라 · 오세관 · 최임수 · 홍하철

농촌진흥청 국립식량과학원

Cultivar Comparison on Tocopherols, Tocotrienols, and Antioxidant Compounds in Rice Bran

Areum Chun[†], Yoo-Young Lee, Dae-Jung Kim, Mi-Ra Yoon, Sea-Kwan Oh, Im-Soo Choi, and Ha-Cheol Hong

National Institute of Crop Science, Rural Development Administration, Suwon 441-857, Korea

ABSTRACT The rice bran, a by-product of rice milling process, is well known for various functional components, such as tocopherol, tocotrienol, γ -oryzanol, carrying antioxidant activities. This study was conducted to investigate the antioxidant components and antioxidant activities in rice bran of different Korean rice cultivars. The 8 isomers of vitamin E, γ -oryzanol, flavonoids, and polyphenolics in rice bran from 16 Korean premium and high quality rice cultivars were quantified. DPPH and ABTS radical scavenging activities and reducing power of the ethanol extracts of rice bran were measured.

'Hopum' showed the highest total vitamin E content, 221.47 $\mu\text{g/g}$ among the cultivars, and 'Hanseol' showed the lowest content. The rice bran showed different compositions of α -, β -, γ -, δ - tocopherol and tocotrienol among rice cultivars. The antioxidant contents were also different by cultivar; the γ -oryzanol contents ranged from 1.99 mg/g (Unkwang) to 4.30 mg/g (Chilbo), the polyphenol contents ranged from 427.22 mg gallic acid eq./100 g (Odaebyeo) to 775.80 mg gallic acid eq./100 g (Hopum). 'Hopum' also had the highest DPPH and ABTS free radical scavenging activities, 9.82% and 187.5 AEAC mg/100 g, respectively. In vitro, the rice bran extracts from 'Hopum' had significantly higher antioxidant activities than that of other cultivars.

Keywords : rice bran, tocopherol, tocotrienol, antioxidant, antioxidant activity

미강(rice bran)은 우리나라 농산물 중 가장 생산량이 많은 작물인 '벼'의 도정 부산물로, 2011년 조곡 생산량(MIFAFF,

2012)을 기준으로 약 40만 톤이 생산된 것으로 추정된다. 미강은 단백질, 지질, 식이섬유, 비타민 등에서 다양한 기능성을 보이는 양질의 식품 소재이나, 그동안 주로 동물 사료 및 농업 폐기물로 처리되고 소량만이 미강유 제조 등에 사용되고 있다(Lee *et al.*, 1994).

미강은 여러 기능성 성분을 지니고 있으며, 그 중 비타민 E는 항산화, 항암, 고지혈증 개선, 혈당 저하, 동맥경화 완화 등 다양한 생리활성을 나타내는 것으로 알려져 있다. 비타민 E는 네 개의 포화 유도체(α , β , γ , δ) 토코페롤과 네 개의 불포화 유도체 토코트리에놀이 구성되어 있다. 기존에 기능성이 잘 알려진 토코페롤과는 다른 활성을 나타내어 새롭게 주목받은 토코트리에놀은 Aggarwal *et al.*(2010)의 개관(review)에 따르면 암, 골 흡수, 당뇨병, 심혈관 및 신경 질환의 임상 또는 전임상 효과가 보고되고 있으며, 토코페롤이 옥수수, 밀, 콩에 높은 함량을 보이는 반면, 토코트리에놀은 보리, 귀리, 야자와 미강에 다량 존재하는 것으로 보고된 바 있다. Constantinou *et al.*(2008)은 비타민 E 이성질체들이 항발암성에 복합적 효과가 있으며, 다른 화학 치료제와 함께 동반상승 효과를 나타내어 질병방지와 노화예방에 효과적일 것으로 보고한 바 있다.

이 밖에도 미강은 항산화 효과와 혈중 콜레스테롤 저하 효과가 알려진 폴리페놀, 항산화 효과와 방부 효과 등을 지닌 γ -oryzanol, 배변활동 개선, 식후 혈당 상승 억제, 콜레스테롤 개선 등의 효과를 지닌 식이섬유 등 다양한 기능성 성분들을 다량 함유하고 있어 다양한 식품소재로 연구되고 있다. 국내에서는 미강에 대해 품종 및 도정율에 따른 미강의 토코페롤과 토코트리에놀 함량(Park *et al.*, 2003, 2004:

[†]Corresponding author: (Phone) +82-31-290-6720 (E-mail) areum@korea.kr

<Received 12 July, 2013; Revised 5 September, 2013; Accepted 27 November, 2013>

Woo *et al.*, 2005), 페놀산 함량(Kim *et al.*, 2004a), γ -oryzanol 함량(Kim *et al.*, 2012), 미강 추출온도별 항산화 활성(Lee *et al.*, 2013) 등이 꾸준히 연구되고 있으나, 실제 우리나라에서 미강을 소재화하기 위하여 실제 재배되는 밥쌀용 품종의 미강에 대한 비교 검토는 미미한 실정이다. 국내에서 주로 재배되는 벼 품종은 최고품질 벼와 고품질 벼로 주로 밥쌀용으로 생산되며, 그 중 최고품질 벼는 밥맛과 외관특성이 우수하고 완전미 도정수율이 높으며 병해충 등 내재해성이 강한 요건을 두루 갖춘 품종을 일컫는 것으로 2005년부터 농촌진흥청에서 집중 육성되어 2012년을 기준으로 국내 총 재배면적의 27%를 차지하고 있다.

본 연구는 미강의 가공 및 이용성을 증진하기 위하여 국내 주요 육성 최고품질 및 고품질 벼 품종별 미강의 토크페롤 및 토크트리에놀과 기타 항산화 물질의 함량을 측정하고, 항산화 활성을 비교하여 도정 부산물의 이용 증진을 위한 기초 자료로 제공하고자 하였다.

재료 및 방법

원료곡 도정 및 시료 제조

본 연구는 농촌진흥청 국립식량과학원에서 2009년 관행 재배된 ‘삼광(Samkwang)’, ‘호품(Hopum)’, ‘하이아미(Haiami)’ 등 최고품질 7 품종과 ‘미광(Migwang)’, ‘일품(Ilpumbyeo)’ 등 고품질 9 품종을 선정하여 총 16 품종을 분석하여 비교하였다(Table 1). 수확된 벼는 현미기(Model SY88-TH, Ssangyoung Ltd., Incheon, Korea)로 제현하고 마찰식 정미기(Model MC-250, Satake Engineering Co., Ltd., Tokyo, Japan)와 연삭식 정미기(Model TM-05, Satake Engineering Co., Ltd., Tokyo, Japan)를 함께 이용하여 백미로 도정하였으며, 현미를 백미로 도정하는 과정 중 발생되는 미강을 본 연구의 재료로 사용하였다. 제조된 시료는 이후 분석 시 까지 4°C 저온 저장고에 보관하여 실험에 사용하였다.

Table 1. Rice cultivar group for comparing vitamin E and antioxidant activity of its rice bran.

Rice Group (No. of cultivar)	Cultivar (ID)
Best Quality (7)	Gopum (GP), Samkwang (SK), Unkwang (UK), Jinsumi (JS), Chilbo (CB), Haiami (HA), Hopum (HP)
High Quality (9)	Migwang (MG), Saechucheong (SC), Odaebyeo (OD), Ilpumbyeo (IP), Joun (JU), Cheonga (CA), Cheonghaejinmi (CH), Chucheong (CC), Hanseol (HS)

미강의 일반성분 및 무기성분 분석

시료의 일반성분은 수분은 상압가열건조법(AOAC, 1995)으로 측정하였으며, 회분은 직접회화법(AOAC, 1995)으로, 단백질은 켈달 질소 정량법(AOAC, 1995)을 이용하였으며, 지방은 Soxhlet 추출법(AOAC, 1995)을 이용하여 함량을 측정하였고, 식이섬유는 total dietary fiber assay kit(Megazyme International Ireland Limited, Wicklow, Ireland)을 이용하여 정량하였다. 무기성분 함량도 습식법(AOAC, 1995)에 따라 시료 0.3~0.5 g에 1 N nitric acid 10 mL를 넣고 분해 후 증류수로 정용하여 auxiliary gas flow 1.5 L/min, nebulizer pressure 30.1 psi, approximate RF power 950 W, frequency 27.12 MHz, analysis pump rate 130 rpm, pump tubing type EP-19의 조건에서 ICP(iCAP6000 Series, Thermo Electron Corporation, Cambridge, UK)로 측정하였다. 모든 일반성분 및 무기성분 분석은 3반복으로 수행되었다.

에탄올 추출물 제조

미강 시료는 80 mesh 체에 통과시킨 후, 시료에 5배량의 100% ethanol을 가한 뒤 상온에서 24시간 교반하면서 유용성분들을 추출하였다. 추출 후 고형분은 Whatman No.2 여과지를 이용하여 잔류물을 제거하고, 상징액은 회전진공농축기(EYELA N-1000, Tokyo Rikakikai Co., Tokyo, Japan)를 사용하여 40°C에서 감압 농축하였으며, 남아 있는 수분은 동결건조기(Modulyod-115, Thermo Electron Co., Waltham, MA, USA)를 통하여 제거하였다. 건조된 추출물은 수율 측정 후 -20°C 냉동고에 보관하면서 실험에 사용하였다.

토크페롤 및 토크트리에놀 함량 분석

품종별 미강의 비타민 E 함량은 Lim *et al.*(2007)의 방법에 기초하여 측정하였다. 미강 가루시료 0.5 g에 6% Propyl gallate(PG)이 포함된 EtOH용액 10 mL를 넣고 5분간 sonication 시킨 후 60% KOH 용액 10 mL를 가하여 70°C 항온수조에서 50분간 saponification을 실시하고 ice bath에 옮겨 신속히 냉각하였다. 2% NaCl 30 ml를 가하여 잘 흔들어주고 질소 충전 후 여기에 20 mL의 0.01% butyl hydroxy toluen(BHT)이 첨가된 Hexane과 EtOAc 혼합용액(85:15)을 넣고 흔들어주고, 수분을 제거하기 위해 무수 MgSO₄ 5 g에 통과시켜 여과하는 과정으로 2반복 추출하였다.

추출물은 50 mL volumetric flask에서 정용한 후 5 mL를 추출하여 질소가스로 농축 한 후 이동상(n-Hexane:isopropanol =99:1, v/v) 1 mL에 재용해시킨 후 0.20 μ m membrane filter로 여과하였다. 분석조건은 HPLC(515 pump, 2475 FD, Waters)를 이용하였으며, 컬럼은 Lichrosorb Si60 column(4.6 \times

250 mm, 5 mm; Hibar, Darmstadt, Germany), 용매조성은 isocratic phase of n-Hexane : isopropanol(99:1, v/v), 유속은 1.5 mL/min 조건이었으며, 각 시료는 2반복으로 측정하였다.

식이섬유 함량 분석

품종별 미강의 식이섬유 함량은 식이섬유 분석장치(Model Fibertec 1023 System E, FOSS, Denmark)를 이용하여 3반복으로 분석하였다. 시료 1 g에 50 mL 0.08 M phosphate buffer(pH 6.0)를 넣고 0.1 mL α -amylase solution을 가한 후 95-100°C에서 15분 가수분해 해주었다. 실온에서 냉각 후 10 mL의 0.275 N sodium hydroxide solution을 넣고 pH를 7.5로 조정하였다. 그 후 0.1 mL protease를 넣고 60°C shaking water bath에서 30분간 가수분해하고 실온에서 냉각 후 10 mL 0.325 M HCl solution을 넣어 pH를 4.0-4.6이 되도록 조정하였다. 다음으로 0.1 mL amyloglucosidase을 넣고 60°C shaking water bath에 30분간 가수분해 후 실온에서 냉각하고 가수 분해물의 4배량에 해당하는 95% ethanol을 넣고 교반 후 실온에서 하루 동안 방치하였다. 마지막으로 미리 celite를 넣어 항량을 구해놓은 crucible에 여과하여 78% ethanol, 95% ethanol, acetone으로 차례로 세척을 한 후 60°C 열풍건조기에서 24시간 건조한 후 무게를 측정하였고, 최종 식이섬유 함량은 다음 식으로 계산하였다.

$$\text{총 식이섬유(\%)} = \{(\text{건조 후 무게} - \text{회분량} - \text{단백질량}) / (\text{시료의 무게} - \text{수분량})\} \times 100$$

미강의 항산화 물질 함량 분석

미강의 플라보노이드 함량은 Jia *et al.*(1999)의 방법을 응용하여 3반복으로 측정하였다. 각 추출액 250 μ L에 증류수 1.25 mL를 가하고 5% NaNO₂용액 75 μ L를 넣고 5분간 방치 후 10% AlCl₃·6H₂O 용액 150 μ L를 가하고 다시 6분간 방치하였다. 그 후 1 M NaOH 500 μ L와 증류수 275 μ L를 가한 후 spectrophotometer를 이용하여 510 nm에서 흡광도를 측정하였다. 표준물질은 (+)-catechin hydrate를 사용하여 표준 검량선을 작성 후 추출물의 총 플라보노이드 함량을 시료 1 g 중의 mg (+)-catechin hydrate로 나타내었다.

폴리페놀 함량은 Choi *et al.*(2003)의 방법에 따라 Folin-Ciocalteu reagent가 추출물의 폴리페놀성 화합물에 의해 환원된 결과 몰리브덴 청색으로 발색되는 원리로 3반복 분석하였다. 추출물 100 μ L에 2% Na₂CO₃ 용액 2 mL를 가하고 3분간 방치한 후 50% Folin-Ciocalteu reagent 100 μ L를 가하였다. Na₂CO₃ 용액을 가한 30분 후 spectrophotometer를

사용하여 750 nm에서 흡광도를 측정하였다. 표준물질로 gallic acid(Sigma Chemical Co., St. Louis, MO, USA)를 사용하였으며, 총 폴리페놀 함량은 검량선을 작성한 후 시료 1 g 중의 mg gallic acid로 나타내었다.

γ -oryzanol함량은 Lilitchan *et al.*(2008)의 방법에 따라 2반복으로 측정하였다. 표준물질로는 Wako Pure Chemical Ind.(Osaka, Japan)의 γ -oryzanol을 사용하였으며 표준 검량선은 2.5~20 μ g/mL 사이의 값을 사용하였다.

추출물의 항산화 활성 분석

총 항산화력 측정은 Re *et al.*(1999)의 ABTS cation decolorization assay방법에 의해서 3반복으로 측정하였다. 먼저 7.4 mM ABTS와 2.6 mM potassium persulfate 용액을 혼합하여 하루 동안 암소에 방치하여 ABTS·+를 형성시킨 후 이 용액을 734 nm에서 흡광도 값이 1.4~1.5가 되도록 흡광계수($\epsilon=3.6 \times 10^4$ M⁻¹ cm⁻¹)를 이용하여 증류수로 희석하였다. 희석된 ABTS·+ 용액 1 mL에 희석된 추출액 50 μ L를 가하여 spectrophotometer를 사용하여 흡광도의 변화를 정확히 30분 후에 측정하였으며, 표준물질로서 L-ascorbic acid(Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA)를 이용하여 표준곡선을 작성한 후 항산화력(AEAC, mg ascorbic acid equivalent antioxidant capacity)으로 나타내었다.

DPPH(1,1-diphenyl-2-picryl hydrazyl, Sigma Aldrich, St. Louis, Mo, USA)에 의한 전자공여능(Electron donating ability, EDA)은 Kim *et al.*(2002)와 Choi *et al.*(2003)의 방법에 따라 3반복으로 측정하였다. 0.2 mM DPPH 용액(ethanolic solution) 0.8 mL에 시료 0.2 mL를 첨가한 후 실온에서 30분 방치하고, spectrophotometer를 사용하여 520 nm에서 흡광도 감소치를 측정하였다. 이때 전자공여능은 시료 첨가구와 비첨가구의 흡광도 차이를 백분율(%)로 나타내었다.

환원력은 Mau *et al.*(2002)의 방법에 따라 3반복으로 측정하였다. 추출물 250 μ L에 동량의 0.2 M 인산완충액(pH 6.6), 1% K₃Fe(CN)₆를 각각 가하고 이 혼합물을 50°C에서 20분간 반응시킨 후 250 μ L 1% trichloroacetic acid(TCA, w/v) 용액을 가하였다. 위 반응액을 1,000 rpm에서 10분간 원심분리 후 상정액 500 μ L와 증류수 500 μ L, 100 μ L 0.1% FeCl₃ 용액을 넣고 잘 혼합하여 발색반응을 유도시킨 다음 spectrophotometer를 사용하여 700 nm에서 측정하였다.

통계분석

국내 육성 벼 품종별 미강의 항산화 물질 함량과 항산화 활성 분석 결과는 SAS 9.2(Statistical analysis system, Enterprise guide 4.3)를 이용하여 통계분석 하였다.

결과 및 고찰

품종별 미강의 일반성분

밥쌀용 벼 품종별 미강의 지방, 단백질, 회분, 무기물 및 식이섬유 함량 분석 결과는 등분산을 만족하였으며 그 상세 결과는 Table 2와 같았다. 품종별 미강의 조지방 함량은 15.8%(오대)~23.9%(칠보)이었으며 단백질 함량은 12.2%(한설)~15.1%(조운), 회분 함량은 8.7%(추청)~10.8%(한설) 범위로 나타났다. 상대적으로 크게 나타난 지방 함량 변이폭을 살펴보면, ‘오대’ 미강의 지방 함량이 다른 품종에 비해 크게 낮기 때문으로 Kim *et al.*(2004a)의 결과에서도 오대 미강의 지방함량이 추청에 비해 약 4% 가량 낮은 것으로 나타나, 앞선 결과와 동일한 경향임을 확인할 수 있었다.

무기물 함량은 칼슘, 철, 칼륨, 마그네슘, 망간, 나트륨, 인산, 아연을 분석한 결과, 각각 칼슘은 131 mg/100 g(미광)~163 mg/100 g(조운), 철은 13 mg/100 g(운광)~29 mg/100 g(삼광), 칼륨은 2,204 mg/100 g(운광)~2,890 mg/100 g(칠보), 마그네슘은 1,386 mg/100 g(운광)~2,402 mg/100 g(칠보), 망간은 18 mg/100 g(운광)~48 mg/100 g(추청), 나트륨은 9 mg/100 g(칠보)~31 mg/100 g(청해진미), 인산은 3,135 mg/100 g(운광)~4,934 mg/100 g(칠보), 아

연은 11 mg/100 g(한설)~18 mg/100 g(하이아미)의 범위를 보였으며, 총 무기물 함량은 ‘운광’(6,921 mg/100 g)이 상대적으로 가장 낮고 ‘칠보’(10,434 mg/100 g)가 높은 것으로 나타났다(Table 2).

미강의 가장 많은 부분을 차지하는 식이섬유 함량은 ‘삼광’이 34.1%으로 가장 낮았으며 ‘청해진미’가 43.5%로 가장 높은 함량을 나타내었다(Table 2). 식이섬유는 일반적으로 배변 활동, 콜레스테롤 조절, 식후 혈당 상승 억제 등에 효과가 있는 것으로 알려져 있다. 미강의 식이섬유는 대부분 불용성으로 주성분은 헤미셀룰로오스이며, 전분의 노화를 지연시키는 효과가 보고된 바 있다(Lee & Moon, 1994). 또한 동물실험 결과, 미강 식이섬유를 성인 기준 1일 약 25~30 g을 섭취하면 장 기능 개선 효과 등이 예상된다고 보고되었다(Jin & Kee, 2011).

품종별 미강의 토코페롤 및 토코트리엔놀 함량

품종별 미강의 전체 비타민 E(토코페롤+토코트리엔놀) 함량은 ‘호품’(221.47 $\mu\text{g/g}$), ‘칠보’(211.63 $\mu\text{g/g}$), ‘청해진미’(208.54 $\mu\text{g/g}$) 순으로 높았고, ‘한설’(106.65 $\mu\text{g/g}$)이 가장 낮은 함량을 보였다(Fig. 1). 이러한 값은 기존에 보고된 Park *et al.*(2003)의 벼 품종별 미강의 총 비타민 E 함량 평

Table 2. Chemical characteristics of rice bran by cultivar.

Cultivar (ID)	Lipid (%)	Protein (%)	Ash (%)	Mineral (mg/100g)								Dietary Fiber (%)
				Ca	Fe	K	Mg	Mn	Na	P	Zn	
GP	21.0±0.2 ¹⁾	13.3±0.1	9.8±0.2	139±24	17±3	2845±65	1606±43	36±1	17±5	3725±91	16±1	40.1±1.6
SK	18.1±0.2	13.6±0.1	10.1±0.1	132±1	29±1	2532±88	1392±21	44±2	21±3	3540±106	13±1	34.1±0.8
UK	20.8±0.2	13.6±0.2	9.3±0.2	132±13	13±2	2204±273	1386±159	18±2	20±5	3135±379	12±1	41.6±2.3
JS	23.3±0.3	13.7±0.2	9.8±0.1	157±4	23±1	2427±79	1941±44	19±1	14±1	4061±154	16±1	42.6±1.9
CB	23.9±0.4	14.0±0.2	9.1±0.1	143±3	20±2	2890±127	2402±66	21±1	9±0	4934±175	16±1	42.7±1.9
HA	19.1±0.5	13.2±0.0	8.7±0.1	156±1	21±0	2736±28	2072±32	41±0	23±0	4600±54	18±0	40.6±1.3
HP	20.5±0.1	14.5±0.1	10.3±0.0	150±4	19±2	2671±92	2005±49	20±1	11±0	4279±131	16±1	41.1±1.1
MG	19.9±0.4	14.1±0.1	10.4±0.0	131±9	15±1	2670±44	1635±17	36±0	19±3	3825±29	15±1	37.9±0.9
SC	20.4±0.5	14.0±0.2	9.2±0.2	156±5	15±1	2591±34	1547±37	35±1	28±2	3673±55	14±0	36.1±1.0
OD	15.8±0.7	12.6±0.2	9.4±0.2	145±13	13±2	2621±24	1807±44	33±1	9±2	3947±47	15±1	40.4±0.6
IP	19.2±0.7	15.1±0.2	9.6±0.1	144±9	21±3	2552±87	1790±28	32±0	20±1	4112±103	11±0	37.4±0.3
JU	19.7±0.8	15.1±0.2	10.2±0.1	163±6	23±1	2589±51	1961±70	25±1	12±0	4326±207	14±1	39.8±1.1
CA	19.1±0.1	12.7±0.4	9.7±0.2	138±6	19±2	2663±32	2019±34	33±0	16±4	4667±57	15±0	41.7±0.3
CH	20.3±0.3	14.0±0.2	9.8±0.9	145±5	18±1	2642±33	2028±3	33±1	31±4	4591±30	18±0	43.5±0.4
CC	18.9±0.3	13.8±0.2	8.7±0.1	158±4	18±1	2768±89	2059±50	48±2	19±1	4644±140	15±1	37.7±0.5
HS	17.5±0.2	12.2±0.1	10.8±0.1	152±6	13±1	2544±55	1870±38	34±2	12±2	4199±101	11±0	40.2±0.9

¹⁾ Each value is mean±standard deviation.

균인 39.2 mg/100 g 보다는 다소 낮았으나, Kim *et al.* (2004b)이 보고한 5.72~56.8 mg/kg 보다는 매우 높은 값으로 분석된 시료와 분석방법의 차이에 따른 것으로 판단되었으며, 각각의 함량은 등분산을 만족하였다.

미강의 토코페롤 동족체(α , β , γ , δ)별 분포는 대체적으로 일정한 경향을 나타내어, α -Tocopherol이 89.15 $\mu\text{g/g}$ (청해진미)~36.87 $\mu\text{g/g}$ (한설)으로 주를 이루었으며 γ -Tocopherol

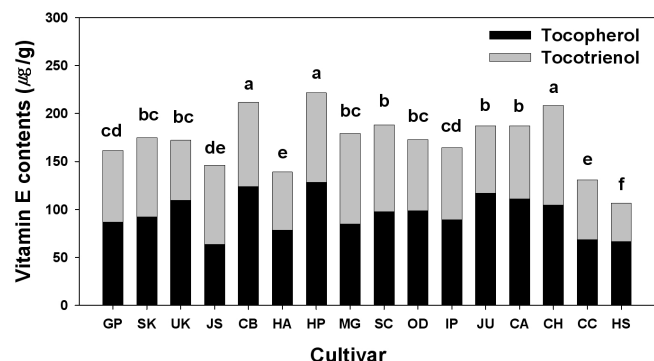


Fig. 1. Cultivar variation of total vitamin E contents in rice bran ($\mu\text{g/g}$): Any means followed by the same letter are not significantly ($p < 0.05$) different by Duncan's multiple range test.

과 β -Tocopherol이 각각 8.51 $\mu\text{g/g}$ (미광)~1.48 $\mu\text{g/g}$ (한설), 6.54 $\mu\text{g/g}$ (청해진미)~1.62 $\mu\text{g/g}$ (한설)의 함량 범위를 보였고 δ -Tocopherol은 0.67 $\mu\text{g/g}$ (청해진미)~0.09 $\mu\text{g/g}$ (한설)로 상대적으로 낮은 함량을 나타내었다(Table 3).

토코트리에놀의 네 가지 동족체는 전체적으로 γ -Tocotrienol이 84.21 $\mu\text{g/g}$ (호품)~40.15 $\mu\text{g/g}$ (한설)로 높은 함량 범위를 나타내었고, α -Tocotrienol과 δ -Tocotrienol이 차례로 45.25 $\mu\text{g/g}$ (칠보)~25.48 $\mu\text{g/g}$ (한설), 5.16 $\mu\text{g/g}$ (청해진미)~0.81 $\mu\text{g/g}$ (한설)의 범위에 분포하였으며, β -Tocotrienol은 상대적으로 미미한 0.85 $\mu\text{g/g}$ (새추청)~0.16 $\mu\text{g/g}$ (한설)의 함량을 보였다. 이러한 결과는 Park *et al.*(2004)과 Sookwong *et al.*(2010)이 보고한 미강의 동족체별 함량 분포 경향과 동일하였다. 다만 본 미강의 비타민 E 분석 결과, 일반 밥쌀용 품종만을 대상으로 분석하였음에도 불구하고 이성체별 함량 분포가 품종에 따라 차이를 보였고, 이성체 별로 최대 함량을 보이는 품종이 서로 다른 것을 확인할 수 있었다.

비타민 E의 이성체는 각 생체활성, 항산화 효과 등에서 차이를 보이며, 특히 토코페롤 보다 40~60배 강한 항산화 효과(Lee & Lee, 2003)를 지닌 것으로 알려진 토코트리에놀은 그 동족체 별로 α -Tocotrienol은 높은 신경보호 효과가 있고 δ -Tocotrienol과 γ -Tocotrienol은 매우 강한 항암효과

Table 3. Comparison of tocopherol and tocotrienol contents of rice bran by cultivar.

Cultivar (ID)	Tocopherol ($\mu\text{g/g}$)					Tocotrienol ($\mu\text{g/g}$)				
	Total	α -T	β -T	γ -T	δ -T	Total	α -T3	β -T3	γ -T3	δ -T3
GP	74.10 dc ¹⁾	67.95 cd	3.76 cde	2.08 de	0.31 abc	87.25 hij	31.52 ef	0.33 cde	53.98 fg	1.41 de
SK	82.54 cd	73.79 bc	3.88 cde	4.61 c	0.26 abc	92.23 ghi	32.52 def	0.60 abc	55.96 efg	3.16 c
UK	62.44 f	54.81 e	3.12 efg	4.02 cd	0.48 abc	109.72 cde	35.98 cd	0.50 bcd	70.65 bc	2.59 c
JS	62.64 f	54.29 e	3.08 efg	4.79 c	0.49 abc	82.19 ij	29.36 fg	0.31 de	51.27 gh	1.25 de
CB	87.52 bc	79.86 b	3.36 defg	4.01 cd	0.29 abc	124.11 ab	45.25 a	0.41 bcde	75.44 b	3.00 c
HA	60.36 f	53.15 e	2.55 gh	4.52 cd	0.15 bc	78.55 jk	28.44 fg	0.48 bcd	47.03 h	2.60 c
HP	92.72 bc	82.80 ab	5.58 b	4.00 cd	0.34 abc	128.75 a	39.68 bc	0.42 bcde	84.21 a	4.43 b
MG	94.14 ab	80.91 ab	4.06 cd	8.51 a	0.66 a	85.08 ij	28.88 fg	0.41 cde	53.93 fg	1.87 d
SC	89.97 bc	79.60 b	4.39 c	5.42 bc	0.56 ab	98.03 fgh	34.81 de	0.85 a	58.39 def	3.98 b
OD	73.52 de	63.94 d	3.39 defg	5.67 bc	0.52 ab	99.13 efg	34.65 de	0.48 bcd	60.83 de	3.17 c
IP	74.94 de	66.17 cd	3.80 cde	4.54 cd	0.42 abc	89.55 ghij	33.54 de	0.57 bcd	52.77 fgh	2.66 c
JU	69.86 ef	61.80 de	2.81 fgh	4.94 c	0.31 abc	117.21 bc	42.03 ab	0.48 bcd	71.48 b	3.22 c
CA	75.90 de	67.53 cd	3.61 cdef	4.48 cd	0.28 abc	111.21 cd	36.09 cd	0.59 abcd	70.29 bc	4.24 b
CH	103.70 a	89.15 a	6.54 a	7.34 ab	0.67 a	104.84 def	34.21 de	0.70 ab	64.76 cd	5.16 a
CC	62.10 f	55.20 e	2.21 hi	4.48 cd	0.21 bc	68.85 kl	26.30 g	0.42 bcde	40.64 i	1.48 de
HS	40.05 g	36.87 f	1.62 i	1.48 e	0.09 c	66.60 l	25.48 g	0.16 e	40.15 i	0.81 e

¹⁾ Any means in the same column followed by the same letter are not significantly ($p < 0.05$) different by Duncan's multiple range test.

가 있는 것으로 개관된 바 있다(Aggarwal *et al.*, 2010). 이러한 토코페롤 및 토코트리엔놀 함량은 품종, 종자의 성숙도, 재배지역, 기후상태 등에 따라 영향을 받는 것으로 알려져 있다(Lee & Lee, 2003). 따라서 미강 내 비타민 E 성분을 이용하고자 할 때에는 목적하는 바에 따라 품종 등 시료의 특성을 이해하고 추출 및 가공공정에 대한 효율성 검토를 선행하는 것이 적절할 것으로 판단되었다.

품종별 미강 항산화 물질과 항산화 활성 비교

페놀계 화합물의 일종인 플라보노이드는 미강 품종별로 함량의 유의한 차이를 나타내어 ‘일품’이 8.6 mg (+)-catechin equivalents/g로 가장 낮고 ‘진수미’와 ‘칠보’, ‘호품’이 각각 24.5 mg/g, 24.2 mg/g, 23.4 mg/g로 높은 함량을 나타내었다. 이러한 함량 분포는 Lee *et al.*(2013) 보다는 다소 높은 값이었으나 용매 조성 차이 등에 따른 것으로 판단되었다(Table 4).

일반 밥쌀용 벼 미강의 폴리페놀 함량은 ‘오대’가 4.3 mg gallic acid eq./g로 가장 낮았고 ‘호품’이 7.8 mg gallic acid/g로 가장 높은 값을 나타내었다. 총 폴리페놀 함량은 일반벼의 미강보다 유색미의 미강에서 5~10배가량 높은 함량을 보이거나(Oh *et al.*, 2010), 유색미는 현미 형태로 소

비되고 일반 현미보다 통상 높은 가격을 지니므로 미강 이용 가능성이 시료의 확보와 경제성 면에서 다소 낮을 것으로 판단되었다.

우수한 항산화 효과와 방부 효과, 체내 콜리스테롤 저하 효과 등이 있는 것으로 알려진 미강의 γ -oryzanol은 Lilitchan *et al.*(2008)에서 보고한 미강의 γ -oryzanol 함량 평균인 1.95~3.07 mg/g과 유사한 2.00 mg/g(운광)~4.30 mg/g(칠보)의 범위로 품종 간 차이를 나타내었으나 그 결과가 등분산성을 만족하지 못하였다.

다음으로 항산화 활성 분석을 통해 기타 항산화 물질의 효과를 살펴보고자 DPPH, ABTS법에 따른 항산화력과 환원력을 Fig. 2와 같이 측정하였다.

DPPH 라디칼 소거능을 측정한 결과 ‘호품’의 미강이 9.82%를 나타내었으며 일품이 가장 낮은 4.36%의 소거능을 보였다. Hansakul *et al.*(2011)은 자유 라디칼 소거효과가 총 페놀성분 및 플라보노이드 함량과 높은 연관을 보인다고 보고한 바 있으며, Ku *et al.*(2009)의 고춧잎 분석결과에 나타난 DPPH와 플라보노이드 함량의 높은 상관, Kim *et al.*(2010)의 분석 결과에 나타난 유색미 미강의 일반벼 10배 이상에 달하는 DPPH와 7배 가량의 높은 플라보노이드 함량은 이를 뒷받침하였다. ‘호품’ 미강의 경우(Table 4,

Table 4. Antioxidant contents of rice bran and ethanol extraction yield of it.

Cultivar (ID)	Flavonoids (mg catechin/g)	Polyphenolics (mg gallic acid/g)	γ -oryzanol (mg/g)	EtOH extraction Yield(%)
GP	19.31 bcde	6.2 abcd	3.03	19.2 cdef ¹⁾
SK	18.36 cde	7.3 ab	3.06	20.6 bcde
UK	13.85 fg	4.7 de	2.00	16.0 fg
JS	24.48 a	6.7 abc	3.58	21.6 abc
CB	24.23 a	6.6 abc	4.30	21.2 abcd
HA	19.31 bcde	5.7 bcde	3.94	17.4 efg
HP	23.44 ab	7.8 a	2.67	23.3 ab
MG	20.85 abc	6.6 abc	2.80	18.7 cdefg
SC	19.99 bcd	5.8 bcde	3.02	20.5 bcde
OD	12.43 g	4.3 e	3.33	17.8 efg
IP	8.57 h	7.3 ab	3.06	19.1 cdefg
JU	20.19 bcd	6.4 abcd	4.26	24.0 a
CA	15.63 efg	5.3 cde	3.56	15.7 g
CH	15.26 efg	6.5 abcd	3.20	17.9 defg
CC	16.14 defg	6.6 abc	3.27	17.1 fg
HS	17.54 cdef	6.4 abcd	2.61	18.5 cdefg

¹⁾ Any means in the same column followed by the same letter are not significantly ($p < 0.05$) different by Duncan's multiple range test.

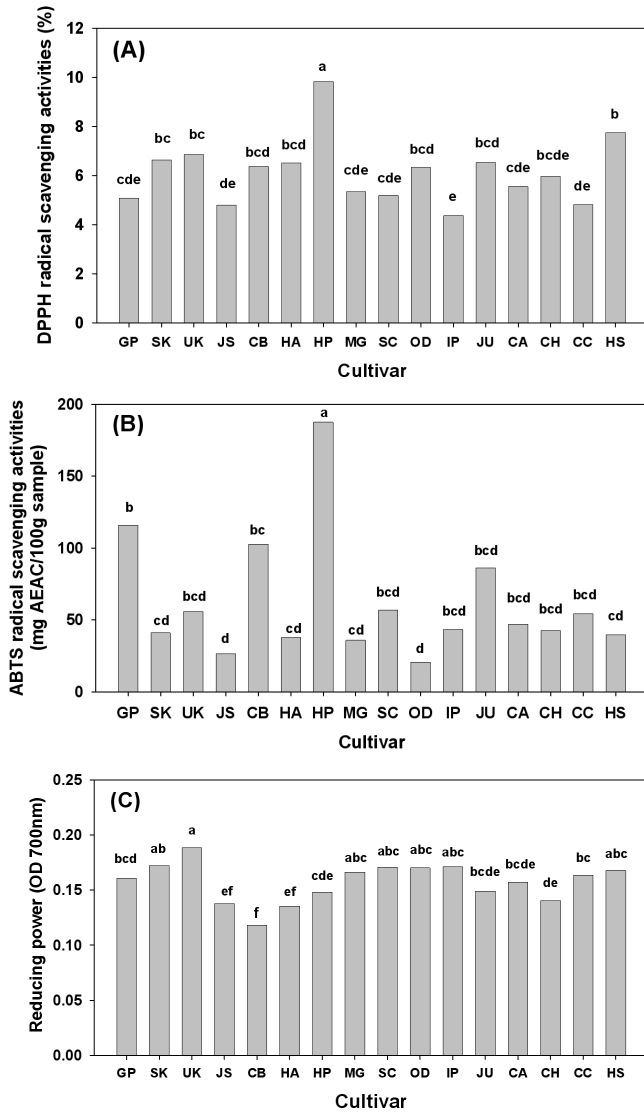


Fig. 2. Cultivar variation of antioxidant activity in rice bran ($\mu\text{g/g}$): (A) DPPH radical scavenging activities, (B) ABTS radical scavenging activities, (C) Reducing power. Any means followed by the same letter are not significantly ($p < 0.05$) different by Duncan's multiple range test.

Fig. 2) 플라보노이드 함량, 폴리페놀 함량, DPPH 활성이 다른 품종보다 유의하게 높아 위와 유사한 경향을 나타내었으나 전체 품종에서 DPPH 값과 플라보노이드 함량 간의 상관관계 분석결과 통계적으로 유의하지 않았다.

품종별 미강의 에탄올 추출물에 대한 ABTS cation decolorization assay 분석 결과, '호품' 187.5 AEAC(ascorbic acid equivalent antioxidant activity)(mg/100g), '고품' 115.74 AEAC (mg/100 g)등이 높았으며, '오대' 20.74 AEAC(mg/100 g), '진수미' 26.43 AEAC(mg/100 g) 등이 낮게 측정되었고,

'호품' 미강은 100 g당 ascorbic acid 187.5 mg과 동일한 항산화력을 지니는 것으로 해석할 수 있었다.

환원력은 잠재적인 항산화 활성 척도로, 미강 에탄올 추출물에 대한 환원력은 1 mg/mL의 농도에서 측정된 결과 (Fig. 2) 0.12~0.19 범위로 나타나, '운광'(0.19)이 가장 높았고, '칠보'(0.12)가 가장 낮은 환원력을 나타내었다.

Seo *et al.*(2008)과 Choi *et al.*(2007)이 보고한 바에 따르면 ABTS 라디칼 소거능과 환원력은 폴리페놀 화합물 함량과 높은 연관성이 보이며, 본 연구결과에서도 폴리페놀 함량이 다른 품종에 비해 유의하게 높은 값을 나타내는 '호품'의 경우 ABTS 항산화력 분석 결과 또한 높은 값을 보임을 확인 할 수 있었다(Table 4, Fig. 2).

결과적으로 벼 품종별 미강 항산화 성분의 유의한 차이를 확인하여, 식이섬유와 토코페롤 함량은 '청해진미', 토코트리엔올과 폴리페놀 함량은 '호품'이 가장 높았으며, 미강 추출물의 항산화 활성에서도 DPPH와 ABTS 라디칼 소거능은 '호품', 환원력은 '운광'이 가장 높은 활성을 나타내었다. 따라서 미강 식품 소재화를 위해서는 이러한 품종적 특성의 우선적 이해를 바탕으로 다양한 기능성 성분의 함량 및 활성을 최적화하기 위한 연구가 지속적으로 수행되어야 할 것으로 판단된다.

적 요

본 연구는 국내 육성 벼 품종 미강의 토코페롤, 토코트리엔올, 폴리페놀, γ -oryzanol 함량 및 기타 항산화 활성의 차이를 검토한 결과이다.

1. 품종별 미강의 조지방 함량은 15.8%(오대)~23.9%(칠보)이었으며 단백질 함량은 12.2%(한설)~15.1%(조운), 회분 함량은 8.7%(추청)~10.8%(한설), 식이섬유 함량은 34.1%(삼광)~43.5%(청해진미)의 범위를 나타냈다.
2. 품종별 미강의 전체 비타민 E 함량은 '호품'(221.47 $\mu\text{g/g}$), '칠보'(211.63 $\mu\text{g/g}$), '청해진미'(208.54 $\mu\text{g/g}$) 순으로 높았고, '한설'(106.65 $\mu\text{g/g}$)이 가장 낮은 함량을 보였다. 토코페롤과 토코트리엔올은 각각 α -Tocopherol과 γ -Tocotrienol이 주를 이루었으며, 밥쌀용 품종 미강의 비타민 E 이성체별 함량 분포가 품종에 따라 유의한 차이를 보였다.
3. γ -oryzanol은 '칠보'(4.30 mg/g)가 가장 높은 함량을 보였으며, 미강 에탄올 추출물의 폴리페놀 함량은 '호품'(775.80 mg gallic acid/100g)이 가장 높은 함량을

나타내었다. 플라보노이드 함량 등과 높은 연관을 보이는 DPPH 라디칼 소거능은 호품이 9.82%로 가장 높았으며, 폴리페놀 화합물 등과 관계되는 ABTS 라디칼 소거능과 환원력은 각각 ‘호품’(187.5 AEAC mg/100g), ‘운광’(A700 = 0.19)에서 가장 높은 함량을 나타내었다.

4. 밥쌀용 벼 품종 간 미강 기능성 성분 함량의 유의한 차이를 확인하였고, 미강의 이용성 증진을 위하여 주요 품종의 특성을 이해하고 기능성 성분의 함량, 활성 및 추출 수율을 최적화하기 위한 연구가 지속적으로 수행되어야 할 것으로 생각된다.

사 사

본 시험은 농촌진흥청 국립식량과학원의 시험연구비(PJ906950)에 의해 수행되었다.

인용문헌

- Aggarwal, B. B., C. Sundaram, S. Prasad, and R. Kannappan. 2010. Tocotrienols, the vitamin E of the 21st century: its potential against cancer and other chronic diseases. *Biochem. Pharmacol.* 80(11) : 1613-1631.
- Association of official analytical chemists (AOAC). 1995. *Official Methods of Analysis*.
- Choi, Y., H. S. Jeong, and J. Lee. 2007. Antioxidant activity of methanolic extracts from some grains consumed in Korea. *Food Chem.* 103 : 130-138.
- Constantinou, C., A. Papas, and A. I. Constantinou. 2008. Vitamin E and cancer: An insight into the anticancer activities of vitamin E isomers and analogs. *Int. J. Cancer* 123(4) : 739-752.
- Hansakul, P., U. Srisawat, A. Itharat, and N. Lerdvuthisophon. 2011. Phenolic and flavonoid contents of thai rice extracts and their correlation with antioxidant activities using chemical and cell assays. *J. Med. Assoc. Thai.* 94(7) : S122-S130.
- Jia, Z., M. Tang, and J. Wu. 1999. The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals. *Food Chem.* 64 : 555-559.
- Jin, H. J. and S. S. Lee. 2011. Effect of rice bran dietary fiber level on serum lipid concentration, bowel function, and mineral absorption in rats. *Korean J. Food & Nutr.* 24(4) : 622-629 (in Korea).
- Kim, S. R., J. Y. Ahn, H. Y. Lee, and T. Y. Ha. 2004a. Various properties and phenolic acid contents of rices and rice brans with different milling fractions. *Korean J. Food Sci. Technol.* 36(6) : 930-936 (in Korea).
- Kim, Y. H., C. S. Kang, and Y. S. Lee. 2004b. Quantification of tocopherol and tocotrienol content in rice bran by near infrared reflectance spectroscopy. *Korean J. Crop Sci.* 49(3) : 211-215 (in Korea).
- Kim, Y. J., J. H. Ko, E. H. Kim, H. J. Nam, S. H. Jo, H. W. Kim, J. B. Kim, and B. S. Han. 2012. Quantification of ol components and comparison its biological activity in brown rice. *Korean J. Food & Nutr.* 25(3) : 499-504 (in Korea).
- Ku, K. M., H. S. Kim, B. S. Kim, and Y. H. Kang. 2009. Antioxidant activities and antioxidant constituents of pepper leaves from various cultivars and correlation between antioxidant activities and antioxidant constituents. *Appl. Biol. Chem.* 52(2) : 70-76 (in Korea).
- Lee, D. J. and Lee, J. Y. 2003. Tocopherols and tocotrienols in cereal grains. *Korean J. Crop Sci.* 48(S) : 1-12 (in Korea).
- Lee, J. H., S. K. Oh, D. J. Kim, M. R. Yoon, A. Chun, I. S. Choi, J. S. Lee, and Y. G. Kim. 2013. Comparison of antioxidant activities by different extraction temperatures of some commercially available cultivars of rice bran in korea. *Korean J. Food & Nutr.* 26(1) : 1-7 (in Korea).
- Lee, Y. H., and Moon T. W. 1994. Composition, water-holding capacity and effect on starch retrogradation of rice bran dietary fiber. *Korean J. Food Sci. Technol.* 26(3) : 288-294 (in Korea).
- Lee, Y. S. and S. R. Park. 2004. Determination of tocopherols and tocotrienols in rice bran by using HPLC. Evaluation and analysis of available component in crop. *Korean J. Crop Sci. and National Institute of Crop Science.* pp. 82-89 (in Korea).
- Lilitchan, S., C. Tangprawwat, K. Aryusuk, S. Krisnangkura, S. Chokmoh, and K. Krisnangkura. 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, H., S. Woo, H. S. Kim, S. K. Jong, and J. Lee. 2007. Comparison of extraction methods for determining tocopherols in soybeans. *Eur. J. Lipid Sci. Tech.* 109 : 1124-1127.
- Ministry for food, agriculture, forestry and fisheries (MFAFF). 2012. *Food, agriculture, forestry and fisheries statistical year book 2012.* pp. 98-99 (in Korea).
- Oh, S. K., D. J. Kim, A. Chun, M. R. Yoon, K. J. Kim. J. S. Lee, H. C. Hong, and Y. K. Kim. 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 (in Korea).
- Park, K. Y., C. S. Kang, Y. C. Cho, Y. S. Lee, Y. H. Lee, and Y. S. Lee. 2003. Genotypic difference in tocopherol and tocotrienol contents of rice bran. *Korean J. Crop Sci.* 48(6) : 469-472 (in Korea).
- Rural development Administration, National Institute of crop science. (RDA, NICS). 2009. 2008 Research report. pp. 624-639 (in Korea).
- Seo, S. J., Y. M. Choi, S. M. Lee, S.Y. Kong, and J. S. Lee. 2008. Antioxidant activities and antioxidant compounds of

- some specialty rices. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 37(2) : 129-135 (in Korea).
- Sookwong, P., K. Nakagawa, Y. Yamaguchi, T. Miyazawa, S. Kato, and F. Kimura. 2010. Tocotrienol distribution in foods: estimation of daily tocotrienol intake of Japanese population. *J. Agric. Food Chem.* 58(6) : 3350-3355.
- Villaño, D., M. S. Fernández-Pachón, M. L. Moyá, A. M. Troncoso, and M. C. García-Parrilla. 2007. Radical scavenging ability of polyphenolic compounds towards DPPH free radical. *Talanta* 71(1) : 230-235.
- Woo, K. M., Y. S. Lee, and Y. H. Kim. 2005. Antioxidant effects of tocotrienol in rice bran. *Korean J. Crop Sci.* 50(S) : 4-7 (in Korea).