

## 발아 전후 현미유에서의 기능성 지질성분 변화

†곽지은 · 윤성원\* · 김대중 · 윤미라 · 이정희 · 오세관 · 김인환\* · 이준수\*\* · 이점식 · 장재기  
농촌진흥청 국립식량과학원, \*고려대학교 식품영양학과, \*\*충북대학교 식품공학과

### Changes in Nutraceutical Lipid Constituents of Pre- and Post-Germinated Brown Rice Oil

†Ji-eun Kwak, Sung-Won Yoon\*, Dae-Jung Kim, Mi-Ra Yoon, Jeong-Heui Lee, Sea-Kwan Oh,  
In-Hwan Kim\*, Jun-soo Lee\*\*, Jeom-Sig Lee and Jae-ki Chang  
National Institute of Crop Science, Rural Development Administration, Suwon 441-857, Korea  
\*Dept. of Food and Nutrition, Korea University, Seoul 136-703, Korea  
\*\*Dept. of Food Science and Technology, Chungbuk National University, Cheongju 361-763, Korea

#### Abstract

This study investigated the changes in the nutraceutical lipid components of brown rice oil after germination. Four different high-yielding cultivars (*Dasan1*, *Segyejinmi*, *Hanareum1* and *Hanareum2*) of Korean brown rice were selected and brown rice oil was extracted from each cultivar before and after germination. Free fatty acid, squalene, policosanols, and isomers of phytosterol were analyzed using GC, and isomers of tocopherol (tocopherol and tocotrienol) and  $\gamma$ -oryzanol were quantified using HPLC from both brown rice oil (BRO) and germinated brown rice oil (GBRO). The contents of phytosterol isomers, campesterol, stigmasterol, and  $\beta$ -sitosterol were increased by 8.3%, 31.6%, 3.3% in GBRO, respectively. Furthermore, the squalene content showed the highest increase of up to 2.4 fold in GBRO compared to BRO. In addition, linoleic and linolenic acid composition increased whereas oleic and palmitic acid decreased in the GRBO. However, the contents of tocopherol (tocopherol and tocotrienol) in GBRO were lower than those in BRO, and there was no significant difference in policosanols and  $\gamma$ -oryzanol between GBRO and BRO. These results suggest that GBRO has the potential as a healthy and functional source due to its lipid profile on improved lipid metabolism.

Key words: germinated brown rice, brown rice oil, nutraceutical lipid, phytosterol, squalene

#### 서 론

식물의 종자는 종의 보존을 위하여 산화적 스트레스에 대한 방어 물질들을 함유하고 있어 식물의 종자로부터 얻어지는 식물성 유지 또한 체내에서 합성되지 않는 필수지방산 및 파이토스테롤 등의 유용한 성분을 다량 포함하고 있다(Kwak 등 1998). 특히 쌀의 현미 층을 싸고 있는 미강은 15~20% 정도의 지방을 함유하고 있어 식물성유로 이용되기도 하는데, 미강으로부터 추출된 미강유는 향기가 좋고 다른 식물성유에 비하여 산화안정성이 높은 것으로 알려져 있다(Kwon 등

1996). 그러나 미강은 미강유 생산에 필요한 충분한 양의 확보가 어렵고, 미강 내에 존재하는 lipase가 도정 중 빠르게 활성화 되어 유리지방산으로 가수분해 되므로 미강유의 품질을 급격히 저하시키는 문제점을 가지고 있어(Lee 등 2013) 식용유로의 이용이 제한되어 왔다.

우리가 주식으로 이용하는 쌀에는 전분을 제외한 성분들이 쌀의 호분층(외피 부분)과 배아에 분포되어 있는데, 특히 항산화력을 나타내는 토코페롤, 토코트리엔놀 등의 토클류와  $\gamma$ -oryzanol, 체내 콜레스테롤 대사 조절을 도와주는 파이토스테롤류와 스쿠알렌 등의 기능성 영양성분들은 쌀을 도정

† Corresponding author: Ji-eun Kwak, National Institute of Crop Science, Rural Development Administration, Suwon 441-857, Korea. Tel: +82-31-290-6721, Fax: +82-31-290-6730, E-mail: jjeun74@korea.kr

하지 않은 현미(whole grain)를 통해 섭취될 수 있는 유효성분들이다(Kim 등 2004). 그러나 이러한 영양학적 우수성에도 불구하고, 현미는 단단한 껍질과 피틴산 등으로 인하여 식감이 거칠고 소화가 잘 되지 않는 단점을 가지고 있어, 최근 현미의 식미 향상 및 질감을 개선을 위한 노력이 계속되고 있다. 특히, 발아현미는 현미의 거친 식감을 개선할 뿐 아니라, 현미의 기능성 성분을 증가시키는 것으로 알려져(Cho 등 2011) 연구가 활발히 이루어지고 있다. 현미의 발아 과정은 현미의 소화를 방해하는 피틴산(phytic acid)을 인과 이노시톨로 바꾸어 소화가 잘 되게 할 뿐 아니라(Choi 2001), 다양한 종류의 가수분해 효소를 활성화 시켜 영양성분의 체내 흡수를 도와 주고, 식이섬유,  $\gamma$ -amino butyric acid(GABA),  $\gamma$ -oryzanol 및 파이토스테롤 등 미량 기능성 성분의 함량도 증가시키는 것으로 알려져 있다(Kang 등 2006). 발아현미에 관한 연구로는 발아조건에 대한 연구(Kim 등 2003), 발아현미의 품질특성(Kum 등 2004) 및 이화학적 특성 연구(Oh 등 2012), 기능성 성분인 GABA에 대한 연구(Choi 등 2009; Moon 등 2010), 발아 전후에서의 항산화 및 항암활성 연구(Kang 등 2006), 가공 원료로서의 발아현미의 이용에 관한 연구(Song & Park 2003) 등이 있으며, 유색미를 포함한 발아 전후 현미에서의 기능성 물질 함량의 변화를 보고한 연구(Jung 등 2008) 등이 있다. 그러나 발아현미를 이용한 현미유에서 기능성 지질성분을 분석한 연구는 거의 이루어지지 않았고, 현미유에 적합한 품종 연구 또한 미비한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 수량성이 우수하여 가공에 적합한 다산1호, 세계진미, 한아름1호 및 한아름2호 등 다수계 품종을 중심으로 현미 및 발아현미로부터 추출한 현미유의 기능성 지질성분 분석하여 발아에 따른 기능성 지질성분의 함량 변이를 보고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 실험재료

본 연구에 사용된 재료는 다수성 품종인 다산 1호(Dasan1), 세계진미(Segyejinmi), 한아름1호(Hanareum1) 및 한아름2호(Hanareum2)이며, 수원에 위치한 국립식량과학원 답작포장에서 농촌진흥청 표준재배법에 준하여 2011년 4월 25일에 파종하여 5월 25일에 이앙하였으며, 재식거리는 30×15 cm로 주당 3본씩 재식하였다. 원료곡은 수확 후 제현기(Model SY88-TH, Ssangyong Ltd., Incheon, Korea)를 이용하여 현미로 분리하였고, 분리된 현미의 일부는 (주)미실란(Gokseong, Korea)에서 30℃, 24 hr 동안 싹 길이 2 mm 내외로 발아시킨 후 특수 건조과정을 거쳐 발아현미로 제조한 것을 4℃에 보관하며 실험에 사용하였다.

### 2. 발아 전후 현미에서의 현미유 추출

각 품종 별 현미 및 발아현미는 분쇄기(FOSS Cyclotec 1093 sample mill, Hilleroed, Denmark)를 이용하여 가루를 낸 후, 현미유 추출에 사용하였다. 현미 및 발아현미 분쇄 시료 1 kg에 *n*-hexane 2.5 l를 가한 후 진탕기를 이용하여 25℃에서 24 hr 동안 진탕하여 지방을 추출하였으며, 추출 후 추출물은 Whatman No.2 여과지로 여과하여 회전진공농축기(EYELA N-1000, Tokyo, Japan)를 이용하여 *n*-hexane을 제거하였다. 지방 추출물은 질소 충전 후 -70℃에 보관하며 분석에 사용하였다.

### 3. 발아 전후 현미의 조지방 함량

발아 전후 현미의 조지방 함량은 Soxtherm automatic system (Gerhardt, Soxtherm 2000, Hoffmannstre, Germany)을 이용하여 정량하였다. 분쇄시료 3 g을 extraction thimble에 담고, *n*-hexane 140 ml와 비등석을 함께 넣어, extraction thimble이 용매에 잠긴 상태로 180℃에서 30 min 동안 가열하여 시료의 조지방을 용출시킨 후 80 min 동안 5회에 걸쳐 추출용매를 수거하였다. 그 후 용출된 조지방을 담고 있는 수기를 105℃에서 1 hr 건조시킨 후 방냉하여, 수기에 남아있는 추출물의 무게를 측정하여 조지방의 함량을 구하였다.

### 4. 현미유의 지방산 조성 분석

지방산 조성은 각각의 시료를 methylation 처리 후 GC(Gas Chromatography)를 이용하여 분석하였다. 시험관에 지방 추출물 약 10 mg을 취하여 0.5 N NaOH-Methanol 3 ml를 가하고, heating block(80℃)에서 10 min 동안 가온 후 냉각하였다. 냉각된 시험관에 14% BF<sub>3</sub>-Methanol을 3 ml를 넣어 다시 80℃에서 10 min 동안 가온한 뒤 냉각시켜 iso-octane 용액 4 ml를 넣고, 30 sec 교반 후 포화 염화나트륨 용액 5 ml를 넣었다. 상온에서 방치하여 층이 분리되면 상층인 iso-octane 층을 시험관에 옮기고, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>를 넣어 수분 및 불순물을 제거한 후 분석용 튜브에 취하여 지방산 분석 시료로 사용하였다(Kim 등 2007). 지방산 분석은 가스크로마토그래피(Varian 3900, Varian, Harbor City, CA, USA)에 auto sampler를 사용하였으며, column은 SP-2560(100 m×0.25 mm, 0.2 μm, Supelco Inc., Bellefonte, USA)을 사용하였다. 검출기는 flame ionization detector (FID)를 사용하였으며, 분석온도는 285℃로 하였다. 주입구는 split ratio를 50:1로 하여 온도를 225℃로 하였고, carrier gas는 He를 사용하여 유속을 1.0 ml/min으로 하였다. Column 온도는 초기 100℃에서 4 min 동안 유지한 후, 분당 3℃씩 240℃까지 올려 15 min 동안 유지하였다. 지방산 조성은 표준품과 시료의 peak area의 상대적인 비로 나타내었다.

### 5. 기능성 지질 분석을 위한 전처리

$\gamma$ -Oryzanol을 제외한 토클류(토코페롤 및 토코트리엔놀),

파이토스테롤, 폴리코사놀, 그리고 스쿠알렌의 분석은 각각의 유지 시료에 internal standard로써 5- $\alpha$ -cholestane(1 mg/ml)을 넣고 비누화 시킨 후 실시하였다(Sung 등 2010). 플라스크에 1 g의 유지 시료와 5% pyrogallol ethanol 2 ml와 에탄올 20 ml를 넣고 냉각관을 연결하여 가열한 후 끓은 상태에서 50% KOH 용액 1 ml를 넣어 5분간 유지하며, 비누화 반응을 진행시켰다. 냉각 후 반응물에 증류수 50 ml와 diethyl ether 50 ml를 혼합한 후 분별 깔대기를 이용하여 상층의 diethyl ether 층을 취하고, 하층부에 다시 diethyl ether 50 ml를 가하여 diethyl ether 층을 모아 진공농축기로 농축하였다. 농축물은 분석 목적에 맞도록 *n*-hexane(토콜류) 또는 chloroform(파이토스테롤, 스쿠알렌 및 폴리코사놀류)에 녹인 후 여과하여 분석에 사용하였다.

## 6. 기능성 지질 성분의 분석

### 1) 토콜류의 분석

유지 시료의  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -,  $\delta$ - 토코페롤(T) 및  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -,  $\delta$ - 토코트리에놀(T3) 동족체 정량을 위하여 시료를 비누화 시킨 후 순상 HPLC를 이용하여 분석하였다. 분석시 column은 Lichrospher Si-60 column(250×4.6 mm, Merck Co., Darmstadt, Germany)을 사용하였고, 이동상으로는 *n*-hexane:2-propanol의 혼합용액(99:1, v/v)을 사용하여 분당 1 ml/min의 속도로 용출시켰다. 그리고 각각의 피크는 형광검출기(JSCO FP-1520, Jasco Co., Japan)를 이용하여 excitation 298 nm, emission 325 nm에서 측정하였으며, 토콜류의 동정 및 정량은 토코페롤 표준품을 이용한 검량곡선을 이용하여 구하였다.

### 2) 파이토스테롤, 폴리코사놀 및 스쿠알렌의 분석

유지 시료의 파이토스테롤, 폴리코사놀 및 스쿠알렌의 함량은 GC를 이용하여 Ha 등(2006)의 방법에 따라 분석하였다. 비누화 반응 후 chloroform에 녹여 전처리가 끝난 시료는 TMS 시약(chloroform:TMS=1:1, v/v)을 사용하여 유도체화 한 후 분석에 사용하였다. 시료 분석을 위하여 SAC<sup>TM</sup>-5-capillary column (30 m×0.25 mm I.d., ×0.25  $\mu$ m, Supelco, Bellefonte, USA)과 FID (flame ionization detector) 검출기를 사용하였으며, 오븐 온도는

280°C를 1분간 유지한 후 300°C까지 분당 2°C씩 상승시켜 20 min 동안 유지시켰다. He를 이동상 가스로 사용하였으며, 유속은 1 ml/min이었다. 주입구와 검출기의 온도는 각 310과 320°C이었으며, split ratio는 50:1 조건으로 하였다.

### 3) $\gamma$ -oryzanol의 분석

유지 시료의  $\gamma$ -oryzanol 함량은 Xu & Godber(1999)의 방법을 조금 변형하여 HPLC를 이용하여 분석하였으며, Optimapark C18 column(250 mm×4.6 mm, RS tech. Co., Korea)과 UV-VIS detector(Jasco UV-2075, Jasco Co., Japan)를 사용하였다. 용매는 methanol, acetonitrile, acetic acid(53:44:3 by vol)의 혼합 조성으로 하였으며, 유속은 1.4 ml/min 이었다.

### 4) 표준품 및 기타 시약

지방산 표준물질로는 Supelco TM 37 component FAME Mix (Supelco Inc., Bellefonte, USA)를, 토코페롤 및 토코트리에놀의 표준품은 순도 약 95%의 Merck 사(Darmstadt, Germany) 제품을 사용하였고, 스쿠알렌, 5 $\alpha$ -cholestane, campesterol,  $\beta$ -sitosterol, stigmasterol은 모두 순도 95% 이상의 것으로 Sigma 사(St. Louis, MO, USA)에서 구입하였으며, 순도 약 98%의  $\gamma$ -oryzanol은 Oryza Oil & Fat Chemical Co. Ltd(Ichinomiya, Japan)에서 얻어 사용하였다. 그리고 *n*-hexane, isopropanol, chloroform, methanol, acetonitrile과 acetic acid는 Fisher Scientific Korea(Seoul, Korea)에서 HPLC급으로 구입하여 사용하였고, 기타 시약은 Sigma(St. Louis, MO, USA)에서 구입하여 사용하였다.

## 7. 통계분석

각 항목의 측정값은 각 품종별 3 회씩 반복하여 얻었으며, 발아 전후 측정값 차이에 대한 유의성 분석은 SPSS (Statistical Package Social Science, Ver 12.0, SPSS Inc., Chicago, IL, USA)를 이용한 paired Student's *t*-test를 실시하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. 발아 전후 현미의 조지방 함량

각 품종별 발아 전후의 현미에서의 조지방 함량은 발아 전

Table 1. Content of crude fat in pre- and post-germinated brown rice

	Cultivar				Mean
	<i>Dasan1</i>	<i>Segyejinmi</i>	<i>Hanareum1</i>	<i>Hanareum2</i>	
BR <sup>1)</sup> (A, %)	2.31	2.40	2.72	2.50	2.48
GBR <sup>2)</sup> (B, %)	2.50	2.69	2.77	2.69	2.66
(B-A)	0.19	0.29	0.05	0.19	0.18*

<sup>1)</sup> BR: pre-germinated brown rice, <sup>2)</sup> GBR: post-germinated brown rice, \**p*<0.05: Student's *t*-test in BR and GBR groups

에 2.31~2.72%의 값을 보인 반면, 발아 후에는 2.50~2.77%의 범위를 나타내어 발아현미에서 다소 증가하였으며(Table 1), 이 결과는 발아 전후의 값에 대한 paired student's *t*-test( $p < 0.05$ )를 실시한 결과에서도 유의성을 나타내었다. 본 실험에 사용된 품종 중, 발아 전후 모두에서 가장 높은 지방 함량을 보인 품종은 한아름1호였으며, 발아 후에 지방 함량이 가장 크게 증가된 품종은 세계진미(12.1%)로 나타났다. 현미가 발아 전에 비하여 발아된 후에 더 높은 조지방의 함량을 보인다는 결과는 Lee 등(2007)과 Kim 등(2001)의 연구에서도 확인할 수 있는데, 그 이유는 식물 종자의 발아 과정에서 대사에 관여하는 각종 효소들이 활성화됨에 따라 체내에서 다양한 물질로의 생합성이 증가되기 때문으로 생각된다(Kim 등 2012).

## 2. 발아 전후 현미유에서의 지방산 조성

Table 2에 품종별 발아 전후의 현미에서 추출한 현미유의 지방산 조성 분석 결과를 나타내었다. 실험에 사용되었던 발아 전후의 모든 품종에서 주요 포화지방산은 palmitic acid(16:0)였으며, 주요 불포화지방산은 oleic acid(18:1n-9)와 linoleic acid(18:2n-6)로 나타나 현미에서의 지방산 조성을 연구하였던 Oh 등(2010)과 Kim 등(2011)의 연구 결과에서와 동일하였다. Palmitic acid의 경우 발아 전에는 전체 유리지방산의 17.33~19.46%에서 발아 후 16.85~19.15%로, oleic acid는 발아 전에 42.22~42.59%, 발아 후에 41.52~43.68%로 각각 소폭으로 감소한 반면, linoleic acid는 발아 전의 32.90~35.10에서 발아 후에는 33.58~36.29%로 유의적 증가를 나타내었다. 특히, 시험재료들의 발아 전과 후를 비교하였을 때에 발아 후에는 linoleic

acid 외에도 vaccenic acid(18:1n-7)와 linolenic acid(18:3n-3)의 조성 또한 유의적으로 증가하여 발아 전후 현미유에서의 포화지방산과 불포화지방산의 평균 비율이 약 1:3.9~4.0으로 높은 불포화지방산의 비율을 보여 현미유가 질적으로 우수한 식물유임을 알 수 있었다. 최근 서구화 된 식생활에서 비롯된 에너지와 지질 섭취의 증가로 인하여 고혈압, 뇌혈관질환, 동맥경화 등의 심혈관계 질환 발병률이 급증하고 있는데,  $\alpha$ -리놀렌산을 비롯한 n-3 고도불포화지방산(poly unsaturated fatty acid: PUFA)과 리놀레산 등의 n-6계 지방산은 혈청 콜레스테롤, 중성지질 및 LDL-cholesterol을 저하시켜 심혈관계 질환을 예방하는 것으로 알려져 있어, n-3 및 n-6 계열의 성분이 포함되어 있는 양질의 지질 섭취가 장려되고 있다. 벼의 발아 시간에 따른 지방산 조성의 변화를 살펴보았던 Kim 등(2001)의 연구에 따르면, 발아 2일 째의 발아현미에서는 본 연구 결과와 같이 linoleic acid와 linolenic acid의 함량이 증가되었으나 유의적이지는 않았고, 발아가 계속 진행됨에 따라 유리지방산의 조성비는 소폭의 증감을 반복하며 변화하였다. 이러한 결과는 발아현미에서의 화학적 변화는 발아 시간, 온도, 싹의 길이 등의 조건에 따라 다양하게 변화됨을 예측할 수 있다.

## 3. 발아 전후 현미유에서의 비타민 E 함량

자연에 존재하는 비타민 E는 토코페롤(T)과 토코트리엔놀(T3)의 형태로 존재하며, 각각은  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$ 의 형태를 가지는데, 토코트리엔놀이 토코페롤보다 항산화 활성이 더 강하며 토코페롤과 토코트리엔놀의 유지에 대한 항산화력은  $\alpha < \beta < \gamma < \delta$ 의 순서인 것으로 알려져 있다(Niki 등 1996). 발아

Table 2. Comparison of fatty acid composition in pre- and post-germinated brown rice oil

Cultivar	Fatty acids contents(%)											
	14:0	16:0	16:1	18:0	18:1 (n-9)	18:1 (n-7)	18:2 (n-6)	20:0	20:1	18:3 (n-3)	20:2	
BRO <sup>1)</sup> (A)	<i>Dasan1</i>	0.29	19.46	0.19	1.52	42.59	0.60	33.27	0.53	0.39	1.13	0.03
	<i>Segyejinmi</i>	0.31	17.33	0.19	1.80	42.42	0.50	35.10	0.71	0.41	1.18	0.03
	<i>Hanareum1</i>	0.28	17.56	0.19	1.80	44.22	0.52	32.90	0.68	0.44	1.39	0.02
	<i>Hanareum2</i>	0.35	17.49	0.18	1.70	42.48	0.55	34.67	0.57	0.39	1.59	0.03
	Mean(A)	0.31	17.96	0.19	1.70	42.93	0.54	33.99	0.62	0.41	1.32	0.03
GBRO <sup>2)</sup> (B)	<i>Dasan1</i>	0.00	19.15	0.20	1.52	42.29	0.61	34.01	0.54	0.39	1.22	0.05
	<i>Segyejinmi</i>	0.35	16.85	0.19	1.75	41.52	0.51	36.29	0.68	0.41	1.36	0.06
	<i>Hanareum1</i>	0.38	17.15	0.20	1.79	43.68	0.52	33.58	0.68	0.44	1.52	0.02
	<i>Hanareum2</i>	0.45	17.10	0.18	1.70	41.81	0.55	35.47	0.56	0.39	1.70	0.04
	Mean(B)	0.30	17.56	0.19	1.69	42.33	0.55	34.84	0.61	0.41	1.45	0.04
(B-A)	-0.01	-0.40**	0.01	-0.01	-0.60*	0.01*	0.85**	-0.01	0.00	0.13**	0.02	

<sup>1)</sup> BRO: pre-germinated brown rice oil, <sup>2)</sup> GBRO: post-germinated brown rice oil

\* $p < 0.05$ , \*\* $p < 0.01$ : Student's *t*-test in BRO and GBRO groups

전후의 현미유로부터의 비타민 E 함량 변화를 Table 3에 나타내었는데, 본 시험에 사용된 네 품종 모두에서 발아 전과 후에 T/T3의 함량 비율은 유사하게 유지된 반면, 발아 전에 비하여 발아 후에는 T와 T3의 절대 함량은 감소하는 결과를 나타내었다. 특히 발아현미유에서의 현미유에서는  $\gamma$ -T와  $\gamma$ -T3의 함량이 크게 감소되어 총 비타민 E 함량의 감소를 가져왔다. 또한 발아 전후의 네 가지 품종에서의 비타민 E 함량은  $\gamma$ -T3 >  $\alpha$ -T >  $\gamma$ -T >  $\alpha$ -T3의 순서였고, 전체 T3의 함량이 전체 T3보다 2.1~3.8배 높았다. 모든 품종의 현미유에서 높은 값을 보였던  $\gamma$ -T3의 함량은 발아 전(57.51~69.90 mg/100 g oil)과 비교하여 발아 후(42.64~55.04 mg/100 g oil)에 유의적으로 감소하였고,  $\gamma$ -T와  $\alpha$ -T3 함량도 발아 후의 현미유에서 크게 감소하였다. 시험에 사용되었던 네 가지 품종 중, 총 토코페롤 함량이 가장 높은 품종은 한아름2호(32.8 mg/100 g oil)였고, 가장 낮은 품종은 다산1호(20.1 mg/100 g oil)였으며, 총 토코트리엔올 함량에 있어서는 한아름2호(81.9 mg/100 g oil)가 가장 높은 값을, 세계진미(68.9 mg/100 g oil)가 가장 낮은 값을 나타내었다. Kim 등(2011)과 Park 등(2003)도 발아현미 및 미강으로부터의 비타민 E 이성질체 분석에서  $\gamma$ -T3와  $\alpha$ -T 두 가지가 주된 성분임을 보고한 바 있다.

토코페롤은 생체 내에서 노화의 원인이 되는 과산화지질의 생성을 억제하는 항산화 작용을 나타내며, 특히 식물성 유지에 함유되어 있는  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$ -토코페롤 동족체들은 식품 저장 및 가공 중의 산화안정성에 기여하는 물질로 널리 알려져 있다(Lee 등 1992). 천연 토코페롤은 콩기름, 채종유, 면실

유, 야자유 등의 식물성 유지에 많이 분포되어 있는 반면, 토코트리엔올은 쌀겨기름과 야자기름에 많이 포함되어 있는 것으로 보고되어 있으며(Qureshi 등 1986), Lin 등(2003)의 연구에 의하면 T와 T3 동족체 모두가 함께 존재할 때에 비타민 E의 지방 예방 활성도가 가장 크다고 하여 다양한 비타민 E 이성체를 모두 함유하고 있는 현미유의 영양학적 가치는 매우 높은 것으로 생각된다.

#### 4. 발아 전후 현미유의 파이토스테롤 함량

동물성 스테롤과 유사한 구조를 가지고 있는 파이토스테롤은 식물에 존재하는 스테로이드 화합물로 동물성 스테롤에 비해 체내에서의 흡수율이 1/5~1/10 정도로 낮으며(Gurr 1996), 대표적인 이성질체로는  $\beta$ -sitosterol, campesterol, stigmasterol, cycloatanol, 24-methylcycloatanol 등이 알려져 있다. 발아 전후 현미유로부터의 파이토스테롤 함량을 Table 4에 나타내었는데,  $\beta$ -sitosterol, campesterol, stigmasterol, cycloatanol, 24-methylcycloatanol의 순서로 높은 함량을 보였고, 특히  $\beta$ -sitosterol, campesterol, stigmasterol 함량은 발아 후의 현미유에서 각 3.32%, 31.6%, 8.29%의 유의적 증가를 보였다. 발아 전과 후 현미유에서의 품종간 차이에 있어서는 총 파이토스테롤 및  $\beta$ -sitosterol, stigmasterol, 24-methylcycloatanol 성분은 한아름2호, campesterol은 다산1호, cycloatanol은 세계진미에서 가장 높은 함량을 나타내었다. Phytosterol은 장내 콜레스테롤 흡수를 경쟁적으로 저해함으로써 고콜레스테롤혈증 환자의 혈중 콜레스테롤을 낮추어 주는 것으로 알려져 있으며(Cylling 등

Table 3. Comparison of  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -,  $\delta$ -tocopherol(mg/100 g oil) and tocotrienol(mg/100 g oil) in pre- and post-germinated brown rice oil

Cultivar	Contents of tococls(mg/100 g oil)										
	Tocopherol					Tocotrienol					
	$\alpha$ -T	$\beta$ -T	$\gamma$ -T	$\delta$ -T	Total	$\alpha$ -T3	$\beta$ -T3	$\gamma$ -T3	$\delta$ -T3	Total	
BRO <sup>1)</sup> (A)	<i>Dasan1</i>	11.42	0.44	8.06	0.20	20.1	4.66	0.40	67.12	4.58	76.8
	<i>Segyejinmi</i>	12.56	0.69	15.46	0.99	29.7	6.56	0.27	57.51	4.55	68.9
	<i>Hanareum1</i>	17.45	1.03	11.19	0.60	30.3	5.86	0.37	66.35	5.26	77.8
	<i>Hanareum2</i>	18.35	1.12	12.73	0.56	32.8	6.27	0.39	69.90	5.35	81.9
	Mean(A)	14.95	0.82	11.86	0.58	28.2	5.84	0.36	65.22	4.93	76.3
GBRO <sup>2)</sup> (B)	<i>Dasan1</i>	10.30	1.07	5.82	0.13	17.3	3.92	0.61	54.94	2.82	62.3
	<i>Segyejinmi</i>	12.29	0.69	10.42	0.51	23.9	5.37	0.27	42.64	2.76	51.0
	<i>Hanareum1</i>	14.63	0.95	7.52	0.47	23.6	4.73	0.52	48.90	4.56	58.7
	<i>Hanareum2</i>	17.24	1.03	8.96	0.47	27.7	5.03	0.55	55.04	5.74	66.4
	Mean(B)	13.61	0.93	8.18	0.40	23.1	4.76	0.49	50.38	3.97	59.6
(B-A)	-1.33	0.12	-3.68**	-0.19	-5.1**	-1.07**	0.13	-14.84**	-0.96	-16.7**	

<sup>1)</sup> BRO: pre-germinated brown rice oil, <sup>2)</sup> GBRO: post-germinated brown rice oil

\* $p$ <0.05, \*\* $p$ <0.01: Student's  $t$ -test in BRO and GBRO groups

Table 4. Comparison of phytosterol contents in pre- and post-germinated brown rice oil

Cultivar	Phytosterol contents(mg/100 g oil)					Total	
	Campesterol	Stigmasterol	$\beta$ -Sitosterol	Cycloatenol	24-Methyl-cycloartanol		
BRO <sup>1)</sup> (A)	<i>Dasan1</i>	363	209	827	176	76	1,651
	<i>Segyejinmi</i>	350	195	788	183	117	1,633
	<i>Hanareum1</i>	330	207	833	122	101	1,594
	<i>Hanareum2</i>	356	238	928	104	156	1,782
	Mean(A)	350	212	844	146	112	1,665
GBRO <sup>2)</sup> (B)	<i>Dasan1</i>	396	269	855	157	94	1,771
	<i>Segyejinmi</i>	389	278	844	163	98	1,772
	<i>Hanareum1</i>	346	266	836	111	102	1,661
	<i>Hanareum2</i>	383	305	952	90	135	1,864
	Mean(B)	379	279	872	130	107	1,767
(B-A)	29**	67**	28*	-16**	-5	102**	

<sup>1)</sup> BRO: pre-germinated brown rice oil, <sup>2)</sup> GBRO: post-germinated brown rice oil

\* $p < 0.05$ , \*\* $p < 0.01$ : Student's *t*-test in BRO and GBRO groups

2002), 일반적으로 식물 유지에서의 총 파이토스테롤은 올리브 오일에서 221 mg/100 g oil, 콩기름에서 250 mg/100 g oil, 참기름에서 865 mg/100g oil, 옥수수유에서 968 mg/100 g oil, 그리고 미강유에서 1,190 mg/100 g oil 수준으로 존재하여, 다른 종류의 식물성유에 비해 미강유에서의 파이토스테롤 함량이 상당히 높음을 알 수 있다(Kim 등 2003). 특히, 본 연구에서 다수성 품종인 다산1호, 세계진미, 한아름1호 및 한아름2호의 발아 전후 현미유로부터 총 파이토스테롤 함량을 비교한 결과에서는 발아 전의 현미유에서 1,594~1,782 mg/100 g oil, 발아 후의 현미유에서 1,661~1,864 mg/100 g oil의 값을 보여 발아 후에 현미유의 총 파이토스테롤 함량이 약 6.13% 증가된 것을 확인하였다.

### 5. 발아 전후 현미유에서의 폴리코사놀 함량

폴리코사놀은 사탕수수 줄기와 잎의 왁스 피막으로부터 추출 정제된 천연물질로 일차 지방족 알코올의 혼합물로 옥타코사놀(C28)과 트리아콘타놀(C30)이 사탕수수 왁스 알코올의 대표적인 대사물이다. 본 연구에서 발아 전후의 네 가지 품종으로부터 폴리코사놀 이성질체들의 함량을 측정된 결과(Table 5), 총 폴리코사놀의 함량은 발아 후에 증가하였으나 유의적이지는 않았고, 품종 중 한아름2호가 가장 높은 총 폴리코사놀 함량을 보였다. 본 연구에 사용된 발아 전후의 현미유에는 폴리코사놀 이성질체 중에서도 옥타코사놀(C28)의 함량이 24.62~39.44%로 가장 높았고, 다음으로 트리아콘타놀(C30), 테트라코사놀(C24), 헥사코사놀(C26)의 순이었으며, 트리코사놀(C23)과 노나코사놀(C29)은 검출되지 않았다. 또한

도코사놀(C22)은 발아 후에 유의적으로 61% 정도 증가한 반면, 펜타코사놀(C25)은 발아 후에 유의적으로 약 22% 감소하는 결과를 보였다. 특히 본 연구에서 발아 전후의 현미유에 상당량 함유되어 있는 것으로 확인된 폴리코사놀은 콜레스테롤의 생합성을 억제할 뿐 아니라, LDL 콜레스테롤을 감소시키고, HDL 콜레스테롤을 증가시키며, 혈전 유발물질인 트롬복산 B2의 혈중 농도를 감소시킴으로써 심뇌혈관 질환의 예방에 효과적이라는 임상 결과(Castaño 등 2003)가 보고되어 있으며, 최근에는 전 세계적으로 혈중 콜레스테롤 조절을 위한 건강식품으로 소비가 증가되고 있는 성분이기도 하다.

### 6. 발아 전후 현미유에서의 스쿠알렌 함량

스쿠알렌은 동물 및 식물의 유지와 인간의 표피지방질에 함유되어 있는 콜레스테롤과 스테로이드 호르몬의 전구물질로, 동물에서는 주로 간에서 합성이 이루어진다. 또한 스쿠알렌은 구조적으로 6개의 이중결합을 가지고 있어 산소이온과 쉽게 결합하므로 유해산소를 제거할 수 있고(Liu 등 1976), 표면장력이 매우 약한 지용성 성분이므로 세포나 조직 속으로 침투가 용이하여 체내 축적되어 있는 지용성 농약이나 발암물질, 중금속 등을 용해시켜 조직 밖으로 내보내는 해독작용을 하며(Lee 등 2000), 혈관 확장, 동맥경화 억제 등의 활성을 가지고 있는 것으로 알려져 있다(Park & Kim 2002). 본 연구에서 발아 전후의 현미유로부터 스쿠알렌 함량을 조사한 결과(Fig. 1), 모든 품종의 현미유에서 발아 후에 2배 이상의 유의적인 함량 증가를 보였으며, 특히 세계진미의 경우 발아 전의 약 19.54 mg/100 g oil에서 발아 후에 62.10 mg/100 g oil로

Table 5. Comparison of policosanols contents in pre- and post-germinated brown rice oil

Cultivar	Policosanols contents(mg/100 g oil)										
	C20	C21	C22	C24	C25	C26	C27	C28	C30	Total	
BRO <sup>1)</sup> (A)	<i>Dasan1</i>	0.2	14.1	5.0	53.7	13.7	60.6	11.0	141.0	58.0	357.5
	<i>Segyejinmi</i>	0.3	14.5	4.3	52.1	14.7	58.5	10.9	89.8	119.7	364.7
	<i>Hanareum1</i>	0.4	17.6	4.2	68.4	16.2	64.3	11.3	133.0	84.8	400.2
	<i>Hanareum2</i>	0.4	15.5	6.7	72.1	17.4	66.7	15.2	174.6	186.7	555.4
	Mean(A)	0.3	15.4	5.1	61.6	15.5	62.5	12.1	134.6	112.3	419.5
GBRO <sup>2)</sup> (B)	<i>Dasan1</i>	0.3	15.0	16.1	53.2	9.1	61.3	10.7	130.0	101.6	397.2
	<i>Segyejinmi</i>	0.3	15.9	9.6	54.7	12.7	60.9	9.2	126.8	133.9	424.1
	<i>Hanareum1</i>	0.3	17.3	11.0	66.3	13.1	65.2	11.0	120.3	100.3	404.8
	<i>Hanareum2</i>	0.2	14.5	16.2	44.6	13.7	58.7	14.6	146.2	174.3	483.0
	Mean(B)	0.3	15.7	13.2	54.7	12.1	61.5	11.4	130.8	127.5	427.3
(B-A)	-0.1	0.3	8.2**	-6.9	-3.4**	-1.0	-0.7	-3.8	15.2	7.8	

<sup>1)</sup> BRO: pre-germinated brown rice oil, <sup>2)</sup> GBRO: post-germinated brown rice oil

\* $p < 0.05$ , \*\* $p < 0.01$ : Student's *t*-test in BRO and GBRO groups

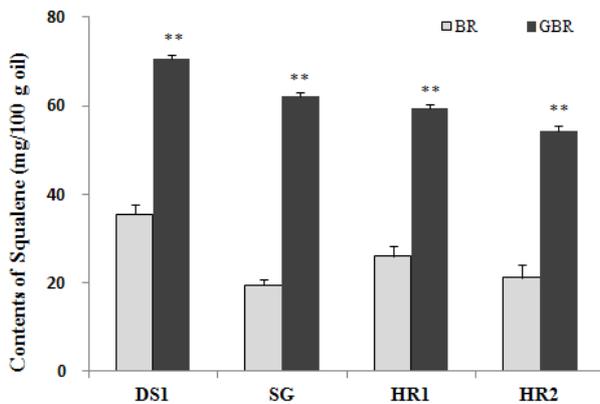


Fig. 1. Contents of squalene of various rice cultivars on pre- and post-germinated brown rice oil. DS; *Dasan1*ho, SG; *Segyejinmi*, HR1; *Hanareum1*ho, HR2; *Hanareum2*ho, \*\* $p < 0.01$ : Student's *t*-test in BRO and GBRO groups

약 3.2배 정도의 가장 높은 증가율을 보였고, 다산1호는 발아 전과 후에 각 35.41 mg/100 g oil과 70.53 mg/100 g oil로 실험에 사용된 품종 중 가장 높은 함량을 보였다. Jung 등(2008)의 연구에서는 일반현미와 적미, 녹미, 흑미 등의 유색미, 그리고 찰벼 현미로부터 발아 전후의 스쿠알렌 함량을 비교분석 하였는데, 일반 현미에서만 발아 후 약 11%의 증가를 보였고, 나머지 특수미에서는 발아 후 스쿠알렌의 함량이 감소되거나, 발아 전과 유사한 수준을 나타내어 본 연구의 결과와 상이하였다. 이러한 결과로 미루어 볼 때, 발아에 사용된 품종 및 발아 조건 등은 스쿠알렌의 함량 변화에 영향을 주는 것으로 생각된다.

## 7. 발아 전후 현미유에서의 $\gamma$ -Oryzanol 함량

쌀의 미강에 존재하는  $\gamma$ -oryzanol은 단일 물질로 생각되었으나,  $\gamma$ -oryzanol이 다양한 10개의 화합물이 혼합되어 있으며, 전체의 80% 이상이 cycloartenyl ferulate, 24-methylenecycloartenyl ferulate, campesteryl ferulate로 구성되어 있다는 사실이 알려졌다(Xu 등 2001a). 또한  $\gamma$ -oryzanol이 체내에서 콜레스테롤의 흡수를 감소시키고, 리놀레산의 산화를 억제하며, HDL-콜레스테롤 합성을 촉진하는 등의 인체에 유익한 작용을 하는 것으로 알려져(Xu 등 2001b) 다양한 품종의 현미를 이용한 연구가 활발히 진행되어져 왔다. 본 연구에서 발아 전후의 네 가지 품종에 대한  $\gamma$ -oryzanol의 함량 변화를 분석한 결과(Table 6), 모든 품종에서 발아 후에 총  $\gamma$ -oryzanol 및  $\gamma$ -oryzanol의 이성질체 함량이 감소하는 것을 확인하였으나, 유의적이지는 않았다. 발아 전후의 현미에서  $\gamma$ -oryzanol의 이성질체 중 24-methylenecycloartenyl ferulate가 45% 이상을 차지하였고, cycloartenyl ferulate가 25% 정도를 차지하였으며, campesteryl ferulate와  $\beta$ -sitosteroyl ferulate가 나머지를 차지하였다.  $\gamma$ -Oryzanol을 이용하여 콜레스테롤 산화 억제 실험을 하였을 때에 24-methylenecycloartenyl ferulate의 항산화력이 다른  $\gamma$ -oryzanol 성분들에 비하여 가장 높다고 보고하였던 Xu 등(2001b)의 연구 결과는 미강이 가지는 우수한 항산화 활성을 뒷받침해준다.  $\gamma$ -Oryzanol 함량이 현미의 발아에 의하여 증가되는지에 대한 연구는 계속 진행되고 있으나, 큰눈과 흑광 품종에서만 발아 후에 증가하였다는 Lee 등(2007)의 결과로 미루어 보아 품종간의 차이가 존재할 것으로 생각된다. 그리고 본 연구에 사용된 네 가지 품종의 현미유 모두에서 발아 후  $\gamma$ -oryzanol의 함량이 전반적으로 감소한 것은 현미가 발아되는 과정에서  $\gamma$ -

Table 6. Comparison of  $\gamma$ -oryzanol contents in pre- and post-germinated brown rice oil

Cultivar	$\gamma$ -Oryzanol contents(mg/100g oil)				Total	
	Cycloateenyl ferulate	24-Methylene	Campestryl ferulate	$\beta$ -Sitosteryl ferulate		
BRO <sup>1)</sup> (A)	<i>Dasan1</i>	166.56	324.05	114.96	78.35	683.93
	<i>Segyejinmi</i>	99.92	225.88	58.28	50.65	434.73
	<i>Hanareum1</i>	193.82	244.48	72.09	70.11	580.50
	<i>Hanareum2</i>	108.13	188.27	82.43	70.34	449.16
	Mean(A)	142.11	245.67	81.94	67.36	537.08
GBRO <sup>2)</sup> (B)	<i>Dasan1</i>	100.93	213.59	53.16	43.87	102.89
	<i>Segyejinmi</i>	98.13	208.81	62.25	48.72	104.48
	<i>Hanareum1</i>	121.00	188.58	46.84	42.69	99.78
	<i>Hanareum2</i>	90.75	173.93	63.74	47.03	93.86
	Mean(A)	102.70	196.23	56.50	45.58	100.25
(B-A)	-39.41	-49.44	-25.44	-21.79	-136.08	

<sup>1)</sup> BRO: pre-germinated brown rice oil, <sup>2)</sup> GBRO: post-germinated brown rice oil

\* $p < 0.05$ , \*\* $p < 0.01$ : Student's *t*-test in BRO and GBRO groups

oryzanol이 생리적 대사 작용에 관여되었기 때문에 추측 해 볼 수 있으며, 발아에 따른  $\gamma$ -oryzanol 함량 연구는 앞으로도 계속 필요할 것으로 생각된다.

#### 8. 발아 전후 현미유에서의 기능성 지질성분의 변화

본 실험에 사용되었던 네 가지 품종의 발아 전후 현미로부터 추출한 현미유의 기능성 지질성분의 변화를 Fig. 2에 요약 하여 나타내었다. 분석 결과, 발아 후의 현미유가 발아 전의 현미유에 비하여 유의적인 함량의 증가를 보였던 분석 항목은 linoleic acid(약 2.5%), linolenic acid(약 9.8%) 등의 불포

화지방산과 총 파이토스테롤(약 6.1%), 스쿠알렌(약 141.6%) 이었으며, 지방의 추출율 또한 발아현미에서 다소 높았던(약 7.3%) 반면, 토코페롤과 토코트리에놀, 그리고  $\gamma$ -oryzanol 성분은 발아 후의 현미유에서 유의적으로 감소하는 결과를 보였다.

### 요약 및 결론

본 연구에서는 현미와 현미에 짝을 띄우는 과정에서 다양한 생리활성 물질이 증가된다고 알려진 발아현미를 이용한 현미유로부터 다양한 기능성 지질성분의 함량 변이를 분석 하였으며, 특히 수량성이 우수하여 현미유 등의 가공에 적합한 다산1호, 세계진미, 한아름1호, 한아름2호를 대상으로 하였다. 발아 전후의 현미유의 기능성 지질성분을 비교해 보았을 때, linoleic acid, linolenic acid 등의 불포화지방산과 총 파이토스테롤, 스쿠알렌 등은 발아 후의 현미유에서 함량이 높았고 토코페롤, 토코트리에놀,  $\gamma$ -oryzanol 성분은 발아 전의 현미유에서 유의적으로 높은 함량을 보였다.

이상의 결과에서 현미의 발아 과정은 현미유의 조성에서 불 포화지방산의 비율을 높여 체내 흡수 후 다가불포화지방산(poly unsaturated fatty acid)의 합성을 촉진할 뿐 아니라, 콜레스테롤 흡수를 낮추고 동맥경화를 억제하는 파이토스테롤과 스쿠알렌의 작용으로 체내의 지질대사를 바람직하게 도와줄 수 있을 것으로 생각되며, 앞으로 좀 더 다양한 품종과 다양한 발아 조건에서의 연구가 계속 진행된다면 발아현미의 이용확대에 폭 넓게 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

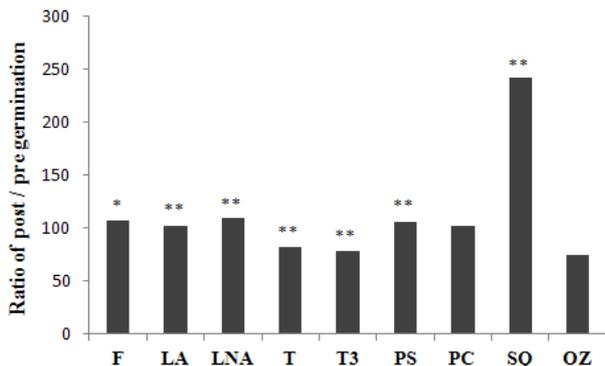


Fig. 2. Changes of physiological active substances of various rice cultivars on pre- and post-germinated brown rice oil. F; crude fat, LA; linoleic acid, LNA; linolenic acid, T; tocopherol, T3; tocotrienol, PS; polycosanols, PC; polycosanols, SQ; squalene, OZ;  $\gamma$ -oryzanol. \* $p < 0.05$ , \*\* $p < 0.01$ : Student's *t*-test in BR and GBR groups

## 감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 공동연구사업(과제번호: PJ907048)의 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

## References

- Castaño G, Fernández L, Mas R, Illnait J, Mesa M, Fernández JC. 2003. Comparison of the effects of policosanol and atorvastatin on lipid profile and platelet aggregation in patients with dyslipidaemia and type 2 diabetes mellitus. *Clin Drug Investig* 23:639-650
- Cho D, Chung HJ, Cho HY, Lim ST. 2011. Health functions and utilization products of germinated brown rice. *Food Science and Industry* 44:76-86
- Choi JH. 2001. Quality characteristics of the bread with sprouted brown rice flour. *Korea J Soc Food Cookery Sci* 17:323-328
- Choi Y, Jeon G, Kong S, Lee J. 2009. Changes in GABA content of selected specialty rice after germination. *Food Engineer Prog* 13:154-158
- Cyiling H, Miettinen T. 2002. LDL cholesterol lowering by bile acid malabsorption during inhibited synthesis and absorption of cholesterol in hypercholesterolemic coronary subjects. *Nutr Metab Cardiovasc Dis* 12:19-23
- Gurr M. 1996. Plant sterols in the diet. *Lipid Technol* 8:114-117
- Ha TY, Ko SN, Lee SM, Kim HR, Chung SH, Kim SR, Yoon HH, Kim IH. 2006. Changes in nutraceutical lipid components of rice at different degrees of milling. *Eur J Lipid Sci Tech* 108:175-181
- Jung HY, Lee DH, Baek HY, Lee YS. 2008. Pre- and post-germination changes in pharmaceutical compounds of germinated brown rice. *Korean J Crop Sci* 53:37-43
- Kang BR, Park M, Lee HS. 2006. Germination dependency of antioxidative activities in brown rice. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 35:389-394
- Kim HY, Hwang IG, Kim TM, Park DS, Kim JH, Kim DJ, Lee YR, Lee J, Jeong HS. 2011. Changes in chemical composition of rough rice (*Oryza sativa* L.) according to germination period. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 40:1265-1270
- Kim HY, Hwang IG, Kim TM, Woo KS, Park DS, Kim JH, Kim DJ, Lee JS, Lee YR, Jeong HS. 2012. Chemical and functional components in different parts of rough rice (*Oryza sativa* L.) before and after germination. *Food Chemistry* 134:288-293
- Kim SL, Park KY, Lee YH, Ryu YH. 2003. Biological activities of phytosterols and their variations in crops. *Korean J Crop Sci* 48:24-30
- Kim SL, Son YK, Son JR, Hur HS. 2001. Effects of germination condition and drying methods in physicochemical properties of sprouted brown rice. *Korean J Crop Sci* 46:221-228
- Kim SR, Ahn JY, Lee HY, Ha TY. 2004. Various properites and phenolic acid contents of rices and rice brans with different milling fractins. *Korean J Food Sci Technol* 36:930-936
- Kim YS, Lee NY, Hwang CS, Yu MJ, Back KH, Shin DH. 2004. Changes of physicochemical characteristics of rice milled by newly designed abrasive milling machine. *Korean Soc Food Sci Nutr* 33:152-157
- Kum JS, Choi BK, Lee HY, Park JD. 2004. Physicochemical properties of germinated brown rice. *Korean J Food Preserv* 11:182-188
- Kwak TS, Park HJ 1998. Evaluation on the contents of anti-oxidative substance at the different layers in several rice varieties. *Korean J Plant Res* 11:257-263
- Kwon KS, Kim HK, Ahn MS. 1996. Comparative studies on the lipid content and neutral lipid composition in Japonica and Indica rice bran oils. *Korean J Food Sci Technol* 28:207-211
- Lee IB, Choi KJ, Yu KK, Chang KW. 1992. Tocopherols and fatty acids in plant seeds from Korea. *J Korean Agric Chem Soc* 35:1-5
- Lee JH, Oh SK, Kim DJ, Yoon MR, Chun AR, Choi IS, Lee JS, Kim YK. 2013. Composition of antioxidant activities by different extraction temperatures of some commercially available cultivars of rice bran in Korea. *Korean J Food Nutr* 26:1-7
- Lee KH, Kim YH, Kim JS. 2000. Inhibition of radiomercyry (Hg-203) by squalene in mice. *J Korean Asso Radiat Prot* 25:45-51
- Lee YR, Kim JY, Woo KS, Hwang IG, Kim KH, Kim KJ, Kim JH, Jeong HS. 2007. Changes in the chemical and functional components of Korea rough rice before and after germination. *Food Sci Biotech* 16:1006-1010
- Lin M, Wallmon A, Olsson-Mortlock C, Wallin R, Saldeen T. 2003. Mixed tocopherols inhibit platelet aggregation in humans: Potential mechanisms. *Am J Clin Nutr* 77:700-706
- Liu GCK, Ahrens Jr EH, Screibman PH, Crouse JR. 1976. Measurement of squalene in human tissues and plasma. *J Lipid Res* 17:38-45
- Moon SH, Lee KB, Han MK. 2010. Comparison of GABA and vitamin contents of germinated brown rice soaked in different soaking solution. *Korean J Food Nutr* 23:511-515

- Niki E, Tsuchiya J, Yoshikawa Y, Yamamoto Y, Kamiya Y. 1996. Oxidation of lipids. XIII. Antioxidant activities of  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ - and  $\delta$ -tocopherols. *Bull Chem Soc Japan* 59:496
- Oh SK, Hwang PS, Kim KJ, Kim YK, Lee JH. 2010. Changes in nutritional components throughout germination in paddy rice and brown rice. *J Food Sci Nutr* 15:113-119
- Oh SK, Lee JH, Yoon MR, Kim DJ, Lee DH, Choi IS, Lee JS, Kim IH, Lee JS. 2012. Physicochemical properties of germinated brown rice. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 41:963-962
- Park H, Kim JG. 2002. Effects of squalene supplementation on antioxidative capacity and blood profiles. *J Exercise Nutr Biochem* 6:203-209
- Park KY, Kang CS, Cho YC, Lee YS, Lee YH, Lee YS. 2003. Genotypic difference in tocopherol and tocotrienol contents of rice bran. *J Crop Sci* 48:469-472
- Qureshi AA, Buger WC, Peterson DM, Elson CE. 1986. The structure of an inhibitor of cholesterol biosynthesis isolated from barley. *J Biological Chemistry* 261:10554-10550
- Song JC, Park HJ. 2003. Takju brewing using the uncooked germed brown rice at second stage mash. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 32:847-854
- Sung MH, Lyu HK, Lee SM, Lee KT. 2010. Studies on the content of triacylglycerol species, tocopherols, and phytosterols from the selected nuts. *Korean J Food Preserv* 17:376-383
- Xu Z, Godber JS, Xu Z. 2001a. Antioxidant activities of major components of gamma-oryzanol from rice bran using a linolenic acid model. *J Am oil Chem Soc* 78:465-469
- Xu Z, Godber JS. 1999. Purification and identification of components of  $\gamma$ -oryzanol in rice bran oil. *J Agric Food Chem* 47:2724-2728
- Xu Z, Hua N, Godber JS. 2001b. Antioxidant activity of tocopherols, tocotrienols, and  $\gamma$ -oryzanol components from rice bran against cholesterol oxidation accelerated by 2,2'-azobis-(2-methyl-propionamidine) dihydrochloride. *J Agric Food Chem* 49:2077-2081

---

접 수 : 2013년 8월 9일  
 최종수정 : 2013년 9월 10일  
 채 택 : 2013년 9월 11일