

## 발아에 따른 일부 특수미의 GABA 함량 변화

최용민 · 진건욱 · 공수현 · 이준수\*  
충북대학교 식품공학과

### Changes in GABA Content of Selected Specialty Rice After Germination

Youngmin Choi, Geonuk Jeon, Suhyun Kong, and Junsoo Lee\*

Department of Food Science and Technology, Chungbuk National University

#### Abstract

The purposes of this work were to investigate the changes in GABA content of six different rice cultivars along with vitamin E content and antioxidant activity after germination. Brown rice was soaked for 24 hr at 25°C and then germinated at 37°C for 48 hr. The content of GABA and vitamin E in the rice samples was measured by using spectrophotometric and HPLC methods, respectively. Antioxidant activity was measured by ABTS (2,2'-azino-bis-(3-ethylbenzothiazoline-6-sulphonic acid)) and DPPH (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl) radical scavenging methods. GABA and vitamin E contents were significantly increased after germination while no significant change in the antioxidant activity was observed. Among the samples tested, Geunnu cultivar contained the highest GABA content before and after germination. On the other hand, Sinmyungheugchal cultivar showed the highest content of vitamin E and antioxidant activity compared to other rice cultivars. In conclusion, the germinated rice with high GABA content can be used for a functional ingredient in rice processing industry.

**Key words:** brown rice, GABA, germination, vitamin E, antioxidant

#### 서 론

현미는 영양성분이 풍부하여 지질, 미네랄, 철분 등을 많이 함유하고 있는 것으로 알려져 있으며(Choe et al., 2002), 특히 배아부분에 영양소가 집중되어 있을 뿐 아니라 발아 시 여러 가지 건강기능성 물질도 생성하는 것으로 알려져 있다. 이런 점에서 현미식에 대한 소비자들의 관심이 높아졌지만, 현미가 백미에 비해 맛과 식미가 떨어져 이미 백미 맛에 길들여져 있는 현대인들이 현미식으로 식생활을 바꾸기가 쉽지 않은 실정이다. 그리고 또한 현미는 영양분이 충분히 소화, 흡수되지 않으며 살충제 등 잔류농약이 존재할 수 있을 가능성이 문제점으로 부각되고 있다(Kim et al., 1997; Lee et al., 1998). 이와 같은 단점을 극복하기 위해서 최근 발아시킨 현미를 이용하고자 하는 노력이 이루어지고 있는데 현미를 발아시키면 기존 현미에 비해 조직이 연화되어 관능성 향상은 물론 입자내 각종 효

소가 활성화되어 arabinoxylan,  $\gamma$ -aminobutyric acid(GABA), 유용 아미노산 및  $\gamma$ -oryzanol 등과 같은 건강기능성 물질이 형성되는 것으로 알려져 있다(Kim et al., 2001; Oh, 2007).

GABA는 현미를 발아시킬 때 생성되는 물질로서 전구체인 glutamate가 glutamate decarboxylase(GAD)의 촉매작용에 의해 생성되는 것으로 알려져 있다(Tampson et al., 1952). GABA는 중추신경계의 신경전달물질로서 뇌의 혈류를 활발하게 하고 산소 공급량을 증가시켜 뇌세포의 대사기능을 촉진시키기도 하고(Narayan & Nair, 1990) 혈압강화와 알코올 대사를 증진시키는 것으로 알려져 있다(Omori et al., 1987). 한편, GABA의 농도가 급격히 감소하거나 함량이 줄어들 때에는 발작이나 경련 등이 발생하며 이러한 현상이 지속될 시 간질이나 치매 등 신경에 관계된 신경성 질환을 일으킬 수 있는 것으로 보고되었다(Shelp et al., 1999).

지금까지 여러 식품에서 GABA를 증가시키고자 하는 연구가 활발히 진행되어 왔다. Kum et al.(2004)은 현미를 발아한 뒤 GABA 함량이 약 60% 증가하는 것을 보고하였고 Oh & Choi(2000)는 chitosan 처리를 함으로써 발아현미의 GABA 함량이 증가됨을 보고하였다. 또한 Park et al.(2001)은 녹차에 혐기 처리를 함으로써 약 GABA 함량이 약 6~8배 증가하는 것으로 보고하였다. 뿐만 아니라 유

Corresponding author: Junsoo Lee, Professor, Department of Food Science and Technology, Chungbuk National University, 410 Seongbong-ro, Heungduk-gu, Cheongju-si, Chungbuk 361-763, Korea  
Tel: +82-43-261-2566 ; Fax: +82- 43-271-4412  
E-mail: junsoo@chungbuk.ac.kr  
Received February 9, 2009; revised March 15, 2009; accepted April 3, 2009

산균 중에 *Lactobacillus brevis*와 *Lactococcus lactis* 등이 GABA를 생성하는 것으로 보고된 바 있다(Nomura et al., 1999). 현재 발아 현미에 대한 연구는 주로 단일 품종의 GABA 함량 변화에 대한 연구 뿐 품종별 발아 현미의 GABA 함량 변이 및 그 밖의 활성 성분과 항산화 활성에 대한 연구는 부족한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 기능성 쌀로 육종된 여섯 품종의 발아 전·후의 GABA 함량 변화를 측정하고자 하였으며 이와 함께 vitamin E 함량과 항산화 활성의 변화를 측정하였다.

### 재료 및 방법

#### 재료 및 시약

본 실험에 사용된 쌀 품종은 큰눈(Geunnun), 백진주(Baekjinju), 일품(Ilpum) 고아미 2호(Goami), 신명혹찰(Sinmyungheugchal) 및 설갱(Sulkyeong)의 총 여섯 품종으로 모두 현미 상태였으며 수원 농촌진흥청에서 제공받아 시료로 사용하였다. 품종별 발아 현미의 GABA 함량 및 항산화 활성 측정에 사용된 ABTS(2,2-azino-bis-(3-ethylbenzothiazoline-6-sulphonic acid)), DPPH(1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl), GABA, NADP+ 및 GABase는 Sigma사(St. Louis, MO, USA)에서 vitamin E standard는 Merck사(Darmstadt, Germany)에서 구입하여 사용하였다. 그 밖에 사용된 추출용매 및 시약은 analytical 및 HPLC 등급을 사용하였다.

#### 발아조건 및 시료의 전처리

현미 상태인 벼 6 품종의 시료를 25°C에서 24시간 동안 침지한 뒤 발아기를 이용하여 다시 37°C에서 48시간 동안 발아시켰다. 발아가 완료된 후 발아 현미 시료는 50°C에서 하루 동안 건조시킨 뒤 마쇄하여 -70°C에 보관하면서 GABA와 vitamin E 함량 및 항산화 활성 측정에 사용하였다.

#### GABA 함량 측정

현미의 발아 중 GABA의 함량 변화를 측정하기 위해 마쇄된 시료 1g을 정확히 칭량하여 증류수를 가한 뒤 homogenizer(Ultra-Turrax®T25, IKA Labortechnik Co., Staufen, Germany)를 이용하여 균질화시킨 뒤 50 mL 부피 플라스크에 정용시켰다. 위 균질액 일정량에 70 mM lanthanum chloride와 1 N KOH를 각각 가한 뒤 원심분리하여 상등액을 GABA 함량 측정에 이용하였다. GABA 함량은 GABase를 이용하는 효소 시스템을 사용하였고 생성되는 NADPH의 양을 spectrophotometer를 이용하여 340 nm에서 측정하였다(Zhang & Bown, 1996).

#### Vitamin E 분석

마쇄된 시료 2.5g에 80°C 정도의 증류수 5 mL,

isopropanol 10 mL, 무수 MgSO<sub>4</sub> 5 g, 추출용매(hexane:ethyl acetate. 90:10, v/v) 25 mL를 각각 가하였다. 위 mixture는 homogenizer를 이용하여 약 1분간 균질화 하여 vitamin E를 추출하였고 bell jar filtration 장치를 이용하여 시료를 여과하여 100 mL로 정용한 뒤 HPLC로 분석하였다(Lee et al., 2006).

#### 항산화 활성 측정

마쇄된 시료 10 g에 methanol 200 mL를 가한 뒤 상온에서 24시간 추출하였다. 추출 후 고형분은 여과지(No. 2, Advantec, Toyo Roshi Co. Ltd., Tokyo, Japan)를 이용하여 여과하고 상등액을 ABTS와 DPPH 라디칼 제거력을 측정하는데 하는데 사용하였고 각 추출물은 질소 증진 후 -20°C에서 보관하면서 실험에 사용하였다. ABTS 라디칼 제거능의 측정은 Re et al.(1999)의 방법에 의해 측정하였고 DPPH 라디칼 제거능은 Kim et al.(2002)의 방법을 변형하여 실행하였다. ABTS와 DPPH 라디칼 제거능 모두 Trolox<sup>®</sup>를 사용하여 표준 곡선을 작성 한 뒤 항산화 활성을 TEAC(mg Trolox<sup>®</sup> equivalent antioxidant capacity)값으로 나타내었다.

#### 통계처리

모든 결과는 vitamin E를 제외하고 평균±표준편차로 나타내었으며 GABA, vitamin E 함량 및 항산화력의 발아 전·후 차이는 paired t-test를 이용하여 분석하였다.

### 결과 및 고찰

#### 품종별 발아 현미의 GABA 함량 변화

일반적으로 현미를 발아시킬 경우 다양한 효소의 활성화로 인하여 GABA, ferulic acid, arabinoxylan, inositol 등의 기능성 성분들이 증가될 뿐만 아니라 조직을 연화시켜 현미의 식미를 개선시키는 것으로 알려져 있다(Oh, 2007). 특히 혈압강하, 뇌기능 활성화, 혈류개선 등에 효과를 나타내는 GABA는 현미에 외부 물리적·화학적 자극이 가해지면 그 함량이 급격하게 증가하는 것으로 보고되어 있어 발아 현미의 GABA 함량을 증진 시키고자 하는 연구가 활발히 진행되고 있다(Komatsuzaki et al, 2007; Oh, 2007). 품종별 발아 현미의 발아 전후 GABA 함량 변화는 Table 1에 나타내었다. 본 연구에 사용된 6품종의 벼 즉, 큰눈, 고아미, 백진주, 일품, 신명혹찰, 설갱의 발아 전 GABA 함량은 각각 564.6, 181.9, 496.4, 259.8, 211.3, 435.7 nmol/g의 함량을 나타내었다. 반면 시료를 침지 후 37°C에서 48시간 발아시켰을 경우 대부분의 품종에서 발아 전 시료에 비해 10배 이상의 증가된 GABA 함량을 나타내었다( $p < 0.05$ ). 특히 amylose 함량이 높아 쌀국수 제조에 적합한 가공적성을 가지고 있는 고아미의 경우 약 20배 이상의 높은

**Table 1. Changes of GABA contents in six rice cultivars before and after germination**

Cultivar	nmol/g sample <sup>1)</sup>	
	Non-germinated	Germinated
Geunnun	564.6±45.3	8316.0±576.5
Goami	181.9±17.9	4427.5±284.2
Baekjinju	496.4±30.5	4871.5±165.8
Ilpum	259.8±15.7	2659.4±327.2
Sinmyungheugchal	211.3±13.1	2818.1±134.4
Sulkyeong	435.7±28.7	3966.9±300.3

<sup>1)</sup> Mean of triplicate determinations expressed as nmol per g of rice (wet weight basis)

GABA 함량 증가율을 보였다. 높은 기능성 성분 함량을 갖도록 개량된 특수미인 큰눈벼가 발아 후 가장 높은 GABA 함량(8316.0 nmol/g)을 나타낸 반면 일반 현미로 주로 사용되는 일품벼가 발아 현미가 가장 낮은 GABA 함량(2659.4 nmol/g)을 나타내었다. Oh et al.(2002)은 glutamate dehydrogenase(GAD)의 기질인 glutamic acid 용액을 발아수로 사용할 경우 현미의 GABA 함량이 약 200 nmol/g에서 1000 nmol/g까지 증가하는 것을 보고하였으며 Choi et al.(2004)은 현미 발아 8시간 경과 후 GABA 함량이 185.4 nmol/g에서 339.9 nmol/g으로 증가하는 것을 각각 보고한 바 있다. 또한 Yun & Yoo(1996)는 보리와 맥아가 헝기 처리에 의해 GABA 함량이 대조구에 비해 약 1.4-1.9배 증가하였다고 보고하였다.

혈압강하, 뇌기능 활성화, 혈류개선 등에 효과를 나타내는 GABA의 식물체에서의 함량은 녹차 35, 생강 0.7, 배추 0.1, 보리 1.4, 현미 4.7, 발아 현미가 7.9 mg/100 g으로 보

고되어 있다(Kum et al., 2004). 본 연구 결과는 nmol/g으로 나타내었는데 mg/100 g으로 단위환산을 해보면 큰눈벼의 발아 전·후 GABA 함량이 각각 5.8 과 85.7 mg/100 g으로 기존 보고된 발아 현미의 GABA 함량보다 높은 함량을 나타내었다. 또한 일반적으로 GABA 함량이 높은 식물체로 알려진 녹차에 비해서도 큰눈벼 발아 현미가 훨씬 높은 함량을 나타내는 것을 알 수 있었다. 따라서 발아현미 가공품을 개발하는데 있어 일반벼 품종보다는 큰눈 및 고아미, 설갱 등과 같은 품종 개량된 특수미를 사용할 경우 우수한 쌀 상품이 개발될 수 있으며 쌀의 소비 촉진에 도움이 될 것으로 생각된다.

#### 품종별 발아 현미의 vitamin E 함량 변화

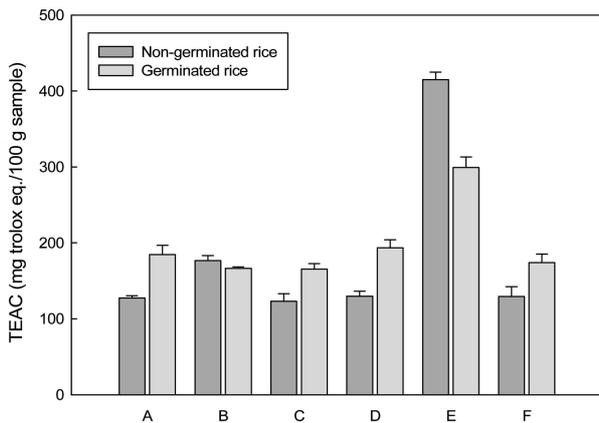
현미를 침지하여 발아하면 식이섬유, 아미노산, 항산화물질, 미네랄 및 vitamin B1, B2, E가 증가함과 동시에 이용하기 쉬운 상태로 변화하는 것으로 알려져 있다. 본 연구에서는 vitamin 중 현미에 대표적으로 존재하는 vitamin E의 함량을 HPLC를 이용하여 발아 전과 후를 비교·분석하였다(Table 2). 현미 즉, 곡류는 vitamin E 유도체 중 tocopherol보다는 tocotrienol의 비율이 상대적으로 높은 것으로 보고되어 있다. 본 연구 결과 역시 품종별 현미에는 tocopherol보다는  $\alpha$ -,  $\gamma$ -,  $\delta$ -tocotrienol이 주로 존재하며  $\beta$ -tocotrienol은 존재하지 않는 것으로 나타났다. 연구 결과, 발아 전 품종별 vitamin E 함량은 품종 간에 다소 차이를 보였으며 신명흑찰벼가 4.87 mg/100 g으로 가장 높은 함량을 큰눈벼가 2.24 mg/100 g의 가장 낮은 함량을 나타냄을 알 수 있었다. 품종별 현미를 발아시킬 경우 설갱을 제외

**Table 2. Changes of vitamin E contents in six rice cultivars before and after germination**

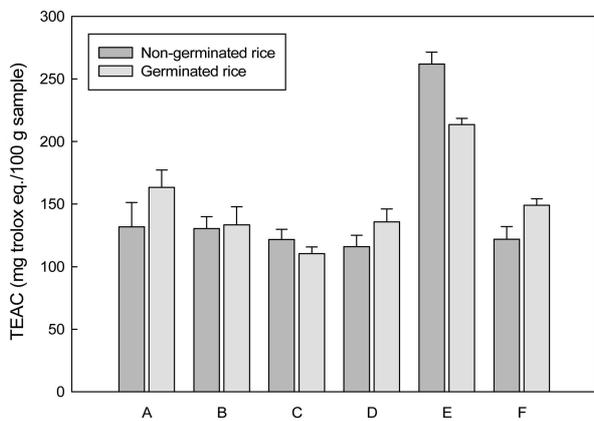
Cultivar	mg/100 g sample <sup>1)</sup>								
	$\alpha$ T <sup>2)</sup>	$\alpha$ T3	$\beta$ T	$\beta$ T3	$\gamma$ T	$\gamma$ T3	$\delta$ T	$\delta$ T3	Total
Geunnun									
non-germinated	0.97	0.59	-	-	-	0.53	-	0.18	2.24
germinated	1.34	0.79	-	-	-	0.67	-	0.27	3.09
Goami									
non-germinated	1.11	0.88	-	-	0.05	1.10	-	0.25	3.40
germinated	1.22	0.95	-	-	0.07	1.25	-	0.46	3.94
Baekjinju									
non-germinated	1.09	0.66	-	-	0.11	1.07	-	0.23	3.19
germinated	1.37	0.83	-	-	0.27	1.29	-	0.35	4.11
Ilpum									
non-germinated	0.97	0.65	-	-	0.16	1.23	-	0.19	3.19
germinated	1.03	0.69	-	-	0.10	1.28	-	0.41	3.50
Sinmyungheugchal									
non-germinated	1.17	1.10	-	-	0.23	1.81	-	0.51	4.87
germinated	1.26	1.08	-	-	0.13	1.81	-	0.56	4.91
Sulkyeong									
non-germinated	1.22	0.74	-	-	0.08	1.05	-	0.22	3.38
germinated	1.26	0.69	-	-	0.10	0.98	-	0.26	3.29

<sup>1)</sup> Mean of duplicate determinations expressed as mg per 100 g of rice (wet weight basis).

<sup>2)</sup> Corresponding tocopherols and tocotrienols



**Fig. 1.** ABTS radical scavenging activity of the methanol extracts from six rice cultivars. A; Geunnun, B; Goami, C; Baekjinju, D; Ilpum, E; Sinmyungheugchal, F; Sulkyeong.



**Fig. 2.** DPPH radical scavenging activity of the methanol extracts from six rice cultivars. A; Geunnun, B; Goami, C; Baekjinju, D; Ilpum, E; Sinmyungheugchal, F; Sulkyeong.

한 나머지 품종에서 통계적으로 유의성 있게 vitamin E의 함량이 증가하는 경향을 나타내었다( $p < 1.0$ , paired t-test). Seo et al.(2007)은 특수미 현미의 vitamin E 함량을 3-5 mg/100 g으로 본 연구와 비슷한 함량을 보고한 반면 Kum et al.(2004)는 찰쌀과 멥쌀의 vitamin E 함량이 각각 271과 310  $\mu\text{g}/100\text{ g}$ 으로 본 연구 결과보다 약 10배 낮은 함량을 보고하였다.

본 연구 결과 현미를 발아시키면 vitamin E 중에서도 우수한 항산화, 항암 및 항콜레스테롤 활성(Theriault et al. 1999)을 나타내는 것으로 연구된 tocotrienol의 함량이 GABA 함량과 동시에 증가되어 기능성이 증대된 쌀 가공품 및 원료 개발에 효과적일 것으로 생각된다.

**품종별 발아 현미의 항산화 활성 변화**

품종별 발아 현미의 항산화 활성 변화는 ABTS와 DPPH 라디칼을 이용하여 측정하였으며 그 결과는 Fig. 1과 2에 각각 나타내었다. 본 연구에서는 표준물질로 vitamin E의

수용성 analog인 Trolox를 사용하여 항산화력을 TEAC값으로 산출하였다. 즉 발아전 큰눈벼의 항산화력이 132 TEAC(mg Trolox equivalent antioxidant capacity/100g)으로 표현이 되는데 이는 시료 100 g 당 Trolox 132 mg과 동일한 항산화력을 지니는 것으로 해석될 수 있다.

품종에 따라 ABTS와 DPPH 라디칼 제거능 모두 발아 전 현미의 경우 신명흑찰이 각각 262와 415 TEAC로 가장 높은 활성을 나타낸 것을 제외하곤 나머지 시료 간에는 뚜렷한 활성 차이를 나타내지 않았다. 품종별 현미를 발아시킨 뒤 항산화 함량을 측정해 본 결과 신명흑찰을 제외하곤 통계적으로 유의적 차이를 나타내지 않음을 알 수 있었다( $p > 1.0$ , paired t-test). 신명흑찰벼의 경우 발아 후 그 항산화 활성이 감소하였는데 이는 발아 공정에서 신명흑찰의 주요 항산화 성분인 수용성 안토시아닌 색소가 침지수 및 발아수에 용출되어 발아 전 현미에 비해 활성이 감소된 것으로 생각된다. 비록 신명흑찰의 경우 발아 후 그 활성이 상당히 저하되었으나 다른 품종에 비해 높은 활성을 나타내었다. Lee et al.(2004)은 발아 거대배아미의 생리활성 효과를 연구하였는데 일반현미와 남풍거대배아미의 경우 발아 후 환원력이 감소하는 반면에 화청거대배아미는 그 활성이 증가하는 결과를 보고하였다. 또한 곡류 내 주요 항산화 지표 물질인 폴리페놀 함량도 화청거대배아미에서만 증가하는 결과를 보고하였다. Kang et al.(2006)은 발아현미는 일반현미에 비해 증가된 SOD 유사활성을 보였으나 nitrite 소거능은 현미와 발아현미 모두에서 높은 활성을 나타냄을 보고하였다.

본 연구결과 현미를 발아시키면 GABA 및 vitamin E 등과 같은 생리활성 물질이 증가되고 항산화 활성이 전반적으로 유지된 고품질의 쌀 가공품을 개발 원료를 얻을 수 있을 것으로 생각된다.

**요 약**

일반적으로 현미를 발아시킬 경우 다양한 효소의 활성화로 인하여 GABA, ferulic acid, arabinoxylan, inositol 등의 기능성 성분들이 증가될 뿐만 아니라 조식을 연화시켜 현미의 식미를 개선시키는 것으로 알려져 있다. GABA는 발아현미에 존재하는 기능성 물질 중의 하나로 비단백질 아미노산이다. 본 연구의 목적은 발아 후 품종별 GABA 함량의 변화를 측정하고자 하였으며 이와 함께 vitamin E의 변화와 항산화력의 변화를 측정하고자 하였다. GABA 함량은 비색법을 이용하였고 vitamin E는 HPLC 방법을 항산화력은 ABTS와 DPPH 라디칼 소거능을 이용하여 측정하였다. 본 연구 결과 품종별 현미는 발아 과정을 통하여 GABA 함량은 약 10배 이상 그리고 vitamin E의 경우 tocotrienol이 상당히 증가하였으며 항산화 활성에는 전반적으로 변화가 없는 것으로 나타났다. 특히 큰눈 발아 현미

의 경우 GABA 함량이 다른 품종에 비해 월등히 높았고 vitamin E 함량과 항산화 활성은 신명흑찰 발아현미가 높은 값을 나타내었다. 본 연구결과 현미를 발아시키면 GABA 및 vitamin E 등과 같은 생리활성 물질이 증가되고 항산화 활성이 그대로 유지된 기능성 쌀 가공품의 원료를 얻을 수 있을 것으로 생각한다.

### 감사의 글

본 연구는 ‘농촌진흥청’ Biogreen 21(과제번호: 20080401034005) 연구비 지원에 의한 것이며 이에 깊은 감사를 드립니다.

### 참고문헌

- Choe JS, Ahn HH, Nam HJ. 2002. Comparison of nutritional composition in Korean rices. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 31: 885-892.
- Choi HD, Park YK, Kim YS, Chung CH, Park YD. 2004. Effect of pretreatment conditions on  $\gamma$ -aminobutyric acid content of brown rice and germinated brown rice. *Korean J. Food Sci. Technol.* 36: 761-764.
- 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 DO, Lee KW, Lee HJ, Lee CY. 2002. Vitamin C equivalent antioxidant capacity (VCEAC) of phenolic phytochemicals. *J. Agr. Food Chem.* 50: 3713-3717.
- Kim IS, Han SH, Han KW. 1997. Study on the chemical change of amino acid and vitamin of rapeseed during germination. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 26: 1058-1062.
- Kim SL, Son YK, Son JR, Hur HS. 2001. Effect of germination condition and drying methods on physicochemical properties of sprouted brown rice. *Korean J. Crop Sci.* 46: 221-228.
- Komatsuzaki N, Tsukahara K, Toyoshima H, Suzuki T, Shimizu N, Kimura T. 2007. Effect of soaking and gaseous treatment in GABA content in germinated brown rice. *J. Food Eng.* 78: 556-560.
- Kum JS, Choi BK, Lee HY, Park JD. 2004. Physicochemical properties of germinated brown rice. *Korean J. Food Preserv.* 11: 182-188.
- Lee HJ, Byun SM, Kim HS. 1988. Studies on the dietary fiber of brown rice and milled rice. *Korean J. Food Sci. Technol.* 20: 576-584.
- Lee SM, Lee HB, Lee J. 2006. Comparison of extraction methods for the determination of vitamin E in some grains. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 35: 248-253.
- Lee YR, Kang MY, Koh HJ, Chin JH, Nam SH. 2004. Screening of physiological functionality of germinated giant embryonic rices. *J. Korean Soc. Appl. Biol. Chem.* 47: 216-221.
- Narayan YS, Nair PM. 1990. Metabolism, enzymology and possible roles of 4-aminobutyrate in higher plants. *Phytochem.* 29: 367-375.
- Nomura M, Nakajima I, Fujita Y, Kobayashi M, Kimoto H, Suzuki I, Aso H. 1999. *Lactococcus lactis* contains only one glutamate decarboxylase gene. *Microbiol.* 145: 1375-1380.
- Oh SH. 2007. Effects and application of germinated brown rice with enhanced levels of GABA. *Food Sci. Industry* 40: 41-46.
- Oh SH, Kim SH, Moon YJ, Choi WG. 2002. Changes of the levels of  $\gamma$ -aminobutyric acid and some amino acids by application of a glutamic acid solution for the germination of brown rices. *Korean J. Biotechnol. Bioeng.* 17: 49-53.
- Oh SH, Choi WG. 2000. Production of the quality germinated brown rices containing high  $\gamma$ -aminobutyric acid by chitosan application. *Korean J. Biotechnol. Bioeng.* 15: 615-620.
- Omori MT, Tano J, Okamoto T, Tsushida T, Higuchi MM. 1987. Effect of anaerobically treated tea (Gabaron tea) on blood pressure of spontaneously hypertensive rats. *Nippon Nigeikagaku Kaishi* 61: 1449-1451.
- Park JH, Han SH, Shin MK, Park KH, Lim KC. 2001. Change in the main constituents by a treatment condition of anaerobically treated green tea leaves. *J. Medicinal Crop Sci.* 9: 275-279.
- 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 Rad. Biol. Med.* 26: 1231-1237.
- Shelp BJ, Bown AW, MacLean MD. 1999. Metabolism and functions of gamma-aminobutyric acid. *Trends Plant Sci.* 4: 446-452.
- Therriault A, Chao J, Wang Q, Gapor A, Adeli K. 1999. Tocotrienol: A review of its therapeutic potential. *Clin. Biochem.* 32: 309-319.
- Tompson JF, Pollard JK, Steward JC. 1952. Investigations of nitrogen compounds and nitrogen metabolism in plants. III.  $\gamma$ -Aminobutyric acid in plants with special reference to the potato  $\alpha$ -amino acids. *Plant Physiol.* 27: 401-414.
- Yun SJ, Yoo NH. 1996. Changes of free amino acid and free sugar contents in barley seedlings in response to anaerobic or cold treatment. *Korean J. Crop Sci.* 41: 139-144.
- Zhang G, Bown AW. 1996. The rapid determination of  $\gamma$ -aminobutyric acid. *Phytochem.* 44: 1007-1009.