



Research Article

# Physicochemical characteristics and free amino acid content of germinated brown rice, high yield *milyang356*, during germination

## 초다수성벼 밀양356호 발아현미의 발아일수에 따른 이화학적 특성 및 유리아미노산 함량

Gi-Un Seong<sup>1</sup>, Woo-Duck Seo<sup>2</sup>, Ji-Yeong Yang<sup>2</sup>, Ju-Won Kang<sup>1</sup>, Young-Ho Kwon<sup>1</sup>, So-Myeong Lee<sup>1</sup>, Sais-Beul Lee<sup>1</sup>, Jong-Hee Lee<sup>1</sup>, Dong-Soo Park<sup>1</sup>, Jun-Hyeon Cho<sup>3</sup>, Ji-Yoon Lee<sup>1\*</sup>

성기운<sup>1</sup> · 서우덕<sup>2</sup> · 양지영<sup>2</sup> · 강주원<sup>1</sup> · 권영호<sup>1</sup> · 이소명<sup>1</sup> · 이셋별<sup>1</sup> · 이종희<sup>1</sup> · 박동수<sup>1</sup> · 조준현<sup>3</sup> · 이지윤<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Southern Area Crop Science, National Institute of Crop Science, Rural Development Administration, Miryang 50424, Korea

<sup>2</sup>Division of Crop Foundation, National Institute of Crop Science, Rural Development Administration, Wanju 55365, Korea

<sup>3</sup>Sangju Substation, National Institute of Crop Science, Rural Development Administration, Sangju 37139, Korea

<sup>1</sup>농촌진흥청 국립식량과학원 남부작물부, <sup>2</sup>농촌진흥청 국립식량과학원 작물기초기반과,

<sup>3</sup>농촌진흥청 국립식량과학원 상주출장소

**Abstract** We investigated the germination rate, color values, physicochemical properties, antioxidant capacity, and amino acid content of germinated brown rice varieties (*milyang356*, *nampyeong*, and *dasan*), and their statistical correlation were analyzed. *Milyang356* rice was characterized by the highest germination percentage and total color difference value (3.89) at 24 h. In all varieties, the amylose and crude protein content increased on the 1st day of germination but decreased over time ( $p < 0.05$ ). The paste viscosity value significantly decreased over time in all varieties. DPPH and ABTS scavenging activities decreased or increase over time depending on the variety. By contrast, the total phenol and flavonoid content increased with time in all varieties. Furthermore, the total free amino acid and GABA content increased gradually with the germination time. The essential amino acid content was highest on day 3 of germination in *milyang356* (276.9 mg/100 g) and *dasan* varieties (344.1 mg/100 g). The total phenol content showed a negative correlation with  $L^*$  value ( $r = -0.778$ ) and a strong positive correlation with  $\Delta E$  ( $r = 0.927$ ). Considering its paste viscosity, and high essential amino acid and GABA content, we conclude that germinated brown rice *milyang356* is suitable as a functional medical material, such as a health supplement.

**Keywords** *milyang356*, brown rice, germination, physicochemical characteristics, free amino acids

OPEN ACCESS

**Citation:** Seong GU, Seo WD, Yang JY, Kang JW, Kwon YH, Lee SM, Lee SB, Lee JH, Park DS, Cho JH, Lee JY. Physicochemical characteristics and free amino acid content of germinated brown rice, high yield *milyang356*, during germination. Korean J Food Preserv, 29(2), 311-326 (2022)

**Received:** December 20, 2021  
**Revised:** February 21, 2022  
**Accepted:** February 22, 2022

**\*Corresponding author**  
 Ji-Yoon Lee  
 Tel: +82-55-350-1164  
 E-mail: minitia@korea.kr

Copyright © 2022 The Korean Society of Food Preservation. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

## 1. 서론

쌀은 많은 아시아 국가에서 중요한 식량자원으로 자리잡고 있으며, 전분이 풍부하여 주식으로 사용되고 있다(Lamberts 등, 2007). 쌀은 낱알 모양에 따라 장립종인 인디카(Indica type)

와 단립종인 자포니카(Japonica type)로 구분되고, 국내에서는 자포니카형과 인디카형의 인공교배를 통해 통일형(Tongil type)의 다수확 품종을 개발하고 있다(Yang 등, 2019). 최근 식생활의 고급화 및 다양화로 인해 쌀 소비량은 매년 감소하는 추세이다(Oh, 2016). 이에 따라 쌀의 소비 확대를 위해 밥쌀용뿐만 아니라 가공적성이 우수한 가공전용 품종 개발 등의 다양한 노력이 이어지고 있으며(Lee 등, 2020b; Seong 등, 2021), 건강에 대한 관심과 함께 최근에는 검정색, 적갈색 및 녹색을 띠는 유색미에 대한 관심도 크게 증가하고 있다(Han 등, 2021). 특히 유색미 중 적미는 일반 현미와는 달리 겨층이 적갈색을 띠는 품종으로 국내에서는 특수미로 분류되며, 다량의 항산화 물질(tocopherol, tocotrienol,  $\gamma$ -oryzanol, phenolic acids, flavonoids 등)이 미강층에 분포되어 있고, 백미보다 강한 항산화 효과를 나타낸다고 알려져 있다(Jeon 등, 2019).

벼는 현미 80%, 왕겨 20%로 구성되어 있으며, 현미는 과피, 종피 및 호분층으로 구성된 미강(bran), 배아(germ) 및 배유(embryo)로 이뤄져 있다. 쌀의 배아에는 양질의 단백질, 필수지방산 및 생리활성 물질이 다량으로 함유되어 있다(Nam 등, 2016). 현미의 영양성분 및 기능성 성분 중에서도 대표적인 기능성 물질인  $\gamma$ -aminobutyric acid (GABA)는 자연계에 분포하는 비단백질 아미노산으로 식품 중에서도 야채, 과일, 녹차 그리고 발아현미 등의 식물체에서 많이 보고되고 있다(Jeong 등, 2019). GABA의 효능으로는 인체에서 중추신경계의 억제성 신경전달물질(inhibitory neurotransmitter)로 뇌기능을 촉진시키고, 혈압상승 억제, 불면, 불안, 우울증 등의 신경안정효과(Kim 등, 1984)와 당뇨 예방, 혈중 콜레스테롤 및 중성지방의 증가를 억제하여 고혈압 예방, 비만 억제(Kim 등, 2001) 등의 생리작용을 한다. 이처럼 현미의 GABA 성분은 기능성 식품 소재로서의 가치와 소비자의 건강에 대한 관심 증대로 인하여 다양한 연구가 진행되고 있으나, 그 함량이 낮아 생리활성을 나타내는 농도를 자연적으로 얻기 어려운 단점이 있다. 이러한 단점을 보완하고 기능성 물질인 GABA 함량을 증대하기 위해 현미를 발아시키는 가공법이 활용된다(Capanzana와 Buckle 1997).

곡류의 발아는 종자에서 뿌리와 싹이 나오는 과정을 말하며, 적당한 수분과 온도 조건에서 종자의 외피 호흡이 증

가하여 각종 효소 작용이 활성화된다. 발아된 현미의 경우, 세포벽 분해효소가 작용하여 외피 일부가 가수분해되어 조직이 연해져 식감이 향상되고 전분, 단백질 등이 분해되어 올리고당과 아미노산 함량이 증가한다(Choi 등, 2004; Choi 등, 2009). 또한, 발아과정중  $\gamma$ -oryzanol, tocopherols, policosanols, stigmasterol, squalene, phytosterols 등 현미의 다양한 생리활성 물질이 증가되었다는 연구도 보고되고 있다(Cho와 Lim, 2016; Jung 등, 2008; Kim 등, 2012). 이처럼 발아 가공법은 현미의 단점을 보완함과 동시에 여러 가지 생리적 기능을 향상시킴에 따라 발아현미의 다양한 활용을 위해 취반 특성(Cho 등, 2017), 선식 등의 가공원료로서의 이용(Bang 등, 2017) 등의 연구들이 보고되고 있다. 그러나 발아현미에 관하여 화학적 조성 및 그 함량에 관한 연구는 많이 진행된 바 있지만, 산업체에서 최적 원료곡 선정을 위한 개별 품종의 발아일수에 따른 발아현미의 물리화학적 특성 및 항산화능에 대한 연구는 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 국내에서 육성된 통일형 초다수성 적미인 밀양356호를 자포니카형 남평과 통일형 다산을 대비품종으로 하여 발아일수별 발아현미의 물리화학적 특성, 항산화능 및 GABA 성분을 포함한 유리아미노산 함량을 비교 분석하였고, 그 상관성을 조사하여 발아현미 이용 확대를 위한 기초자료로 이용하고자 한다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 실험재료 및 현미 발아

본 연구에 사용된 시료는 2020년 국립식량과학원 남부 작물부(Department of Southern Area Crop Science, National Institute of Crop Science, Miryang, Korea)에서 농촌진흥청 표준재배법에 의하여 시험포장에서 생산된 초다수성 적미인 밀양356호와 대비 품종으로 남평과 다산을 이용하였다. 남평은 자포니카형의 중만생종으로 전국적으로 재배 비율이 높은 품종이고(Kim 등, 2011), 다산 품종은 통일형 초다수성 가공용 품종으로서 대비 품종으로 선택하였다(Kim 등, 2017). 발아현미의 제조는 수확한 정조를 임펠라식 현미기(FC2K, Yamamoto)를 이용하여 왕겨를 제거한 후 우량 현미를 선별하였으며, GABA 함량 증

진을 위한 선행연구를 참고하여 발아일수를 설정하였다 (Han 등, 2014). 우량 현미는 27℃로 설정된 볍씨 발아기 (BG-300A/B, Bulls, Seongju, Korea)를 이용하여 증류수에 24시간 동안 침지하였으며, 24시간 이후 볍씨 발아기의 온도는 30℃로 변경하여 4일 동안 24시간 간격으로 발아일수에 따라 발아시켰다. 침지 동안 불순물 제거와 부패 방지를 위해 증류수는 12시간 간격으로 교환해 주었다. 발아일수에 따라 종료된 발아현미는 여분의 수분을 제거하고, -70℃에서 동결시킨 후 동결건조장치(FDU-2100, EYELA, Tokyo Rikakikai Co., Ltd., Tokyo, Japan)를 이용하여 건조하였다. 건조된 분말은 색도, 유리아미노산 함량 분석을 위한 시료로 사용하였고, 항산화능 분석은 건조된 분말 1 g에 80% methanol 10 mL를 섞은 후 37℃에서 24시간 진탕 추출하여 원심분리(3,000 rpm, 10 min)하고, 상등액을 0.45 μm syringe filter로 여과 후 분석용 시료로 사용하였다.

## 2.2. 발아율 측정

현미의 발아율은 현미 100개를 기준으로 하였으며, 전체 현미에서 싹이 나온 수를 계수하여 발아율을 계산하였다. 최소 측정단위가 mm인 캘리퍼스(530-101, Mitutoyo, Kawasaki, Japan)로 현미 싹의 길이를 측정하여 초엽장의 길이가 1 mm 미만인 발아현미는 발아되지 않은 것으로 분류하여 발아율에서 제외하였다.

## 2.3. 발아현미의 색도 측정

발아현미의 색도 측정은 표준백색판으로 보정된 색차계 (CM-3500d, Konica Minolta Co., Osaka, Japan)를 이용하여 명도(lightness)를 나타내는 CIE L\*값, 적색도(redness)를 나타내는 CIE a\*값, 황색도(yellowness)를 나타내는 CIE b\*값을 측정하였으며, 전반적인 색차(total color difference, ΔE)는 아래의 식을 이용하여 계산하였다.

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$$

## 2.4. 발아현미의 조단백질 측정

발아현미의 조단백질 함량은 시료 0.6 g을 micro insert ring을 끼운 mini sample cup에 채운 뒤, sample cup

backs를 이용하여 시료 내 공극을 없애준 후, 실온 조건 가시광선 및 근적외선 대역(400-2,500 nm)에서 근적외선(near-infrared, NIR) 스펙트럼을 측정하였다. 스펙트럼 측정은 NIR spectroscopy(XM-1100 series, FOSS NIR Systems Inc., Laurel, MD, USA)를 이용하였으며, 단백질 함량 계산은 NIRS 예측 모델이 입력된 NIRS 전용프로그램인 ISI scan version 4.5.0(InfraSoft International, Port Matilda, PA, USA)을 사용하였다(Oh 등, 2017; Song 등, 2014).

## 2.5. 발아현미의 아밀로스 함량 측정

발아현미의 아밀로스 함량은 Juliano(1971)의 비색 정량법에 따라 측정하였다. 시료 0.1 g에 ethanol 1 mL와 1 N sodium hydroxide 9 mL를 가하여 90℃ 건조기에 20분간 넣어 호화시킨 후 증류수를 넣어 전량이 100 mL가 되도록 하였다. 이 중 5 mL를 취하여 1 N acetic acid 1 mL와 2% I<sub>2</sub>-KI(iodine solution) 2 mL를 가하여 발색시키고 증류수를 넣어 전량이 100 mL가 되도록 하였다. 이 시액을 30℃ 인큐베이터에서 반응시켜 흡광도 620 nm의 파장에서 UV/Vis spectrophotometer(UV-2700, Shimadzu Co., Kyoto, Japan)를 이용하여 측정하였다.

## 2.6. 발아현미의 호화특성 측정

호화특성은 신속점도측정기(rapid viscosity analyzer, RVA)(RVA-TecMaster, Perten Instruments AB, Hagersten, Sweden)를 이용하여 측정하였다. 시료 3 g(수분함량 12% 기준)을 RVA용 알루미늄 용기에 담고 증류수 25 mL를 가하여 0-1분은 50℃, 1-4.7분은 95℃까지 상승, 4.7-7.2분은 95℃를 유지, 7.2-11분은 50℃까지 냉각, 11-13분은 50℃를 유지하면서 점도를 측정하였다. 신속점도측정기의 측정치는 호화개시온도(initial pasting temperature), 최고온도 도달시간(peak time), 최고점도(peak viscosity, P), 최저점도(trough viscosity, T), 50℃에서 냉각점도(final viscosity, F)로부터 breakdown(P-T)과 set back(F-T) viscosity를 계산하여 비교하였다.

## 2.7. 발아현미의 DPPH 라디칼 소거능 측정

발아현미의 DPPH 라디칼 소거 활성 측정은 Blois(1958)

의 방법을 일부 변형하여 측정하였다. 96 well plate에 분석용 시료 50  $\mu\text{L}$ 와 0.15 mM DPPH 용액 200  $\mu\text{L}$ 를 혼합하여 30분간 암실에서 반응시킨 후, 517 nm에서 multimode plate reader(Thermo Scientific Varioskan Flash, Thermo Fisher Scientific, Waltham, MA, USA)를 이용하여 흡광도를 측정하였으며, 아래 식을 이용해 저해율을 계산하여 IC<sub>50</sub>값으로 나타내었다.

$$\text{DPPH radical scavenging activity (\%)} = \left[ \frac{(\text{Abs sample} + \text{DPPH}) - (\text{Abs sample blank})}{(\text{Abs DPPH}) - (\text{Abs Solvent})} \right] \times 100$$

### 2.8. 발아현미의 ABTS 라디칼 소거능 측정

발아현미의 ABTS 라디칼 소거 활성은 Re 등(1999)의 방법을 일부 변형하여 측정하였다. ABTS solution은 7 mM 2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) diammonium salt와 2.45 mM potassium persulfate를 1:1(v/v)로 혼합한 후 4시간 동안 4°C에서 반응시켰다. 그 후 ABTS solution을 734 nm에서 흡광도가 0.7-0.8 사이가 나오도록 약 5배 정도 희석한다. 96 well plate에 희석한 ABTS solution 225  $\mu\text{L}$ 와 분석용 시료 25  $\mu\text{L}$ 를 넣고 암실에서 1분간 반응시킨 후, 734 nm에서 multimode plate reader를 이용하여 흡광도를 측정하였으며, 아래의 식을 이용해 저해율을 계산하여 IC<sub>50</sub> 값으로 나타내었다.

$$\text{ABTS scavenging activity (\%)} = \left[ \frac{\text{Abs sample} - \text{Abs sample blank}}{\text{Abs control}} \right] \times 100$$

### 2.9. 발아현미의 총폴리페놀 함량 측정

총폴리페놀 화합물 함량 측정은 Folin-Ciocalteu 방법을 이용하여 측정하였다. 분석용 시료 10  $\mu\text{L}$ 에 10% sodium carbonate 200  $\mu\text{L}$ 를 가하고 실온에서 3분간 반응시켰다. 이후 1 N Folin-Ciocalteu's phenol reagent 10  $\mu\text{L}$ 를 가하고 37°C에서 27분간 반응시키며, 750 nm에서 multimode plate reader를 이용하여 흡광도를 측정하였다. 표준물질 gallic acid 검량선의 회귀식에서 gallic acid equivalent (mg GAE/g)로 환산하여 함량을 나타내었다.

### 2.10. 발아현미의 총플라보노이드 함량 측정

총플라보노이드 화합물 함량 측정은 Zhishen 등(1999)의 방법을 일부 변형하여 측정하였다. 분석용 시료 70  $\mu\text{L}$ 에 50% ethanol 430  $\mu\text{L}$ 와 5% sodium nitrite 50  $\mu\text{L}$ 를 가하여 20분간 실온에서 반응시켰다. 이후 10% aluminium nitrate nonahydrate 50  $\mu\text{L}$ 를 가해 6분간 반응시킨 후, 1 N sodium hydroxide 500  $\mu\text{L}$ 를 넣고 510 nm에서 multimode plate reader를 이용하여 흡광도를 측정하였다. 표준물질 catechin 검량선의 회귀식에서 catechin equivalent(mg CE/g)로 환산하여 함량을 나타내었다.

### 2.11. 발아현미의 유리아미노산 분석

유리아미노산 성분의 분석을 위해 시료 1 g에 증류수 10 mL를 섞어 30°C에서 5시간 동안 초음파 추출하여 원심분리(15,000 rpm, 30 min)하고, 상등액을 0.2  $\mu\text{m}$  Syringe filter로 여과하였다. 여액 10  $\mu\text{L}$ 를 vial에 넣고 AccQ-Tag Ultra derivatization kit(Waters Co., MA, USA)의 유도체화 시액 중 borate buffer 70  $\mu\text{L}$ 와 flour reagent 2A 20  $\mu\text{L}$ 를 섞어 실온에서 5분간 방치한 후 55°C에서 10분간 반응시켜 형광유도체화하여 분석용 시료로 하였다. 유리아미노산의 분석은 Waters ACQUITY UPLC TUV system (Waters Co., MA, USA)에 2475 fluorescence(FLR) 검출기와 AccQ-Tag Ultra C18(2.1 $\times$ 100 mm, 1.7  $\mu\text{m}$ ) 컬럼을 이용하였다. 검출기에 사용된 파장은 여기파장 350 nm와 방출파장 450 nm이고, 칼럼오븐 온도는 49°C, 주입량은 1  $\mu\text{L}$ , 유속은 0.7 mL/min의 속도를 유지하였다. 분리는 이동상 A용액 100% Acc-Tag Ultra Eluent A, B용액 deionized water:AccQ-Tag Ultra Eluent B(90:10, v/v), C용액 deionized water 및 D용액 100% AccQ-Tag Ultra Eluent B를 이용하여 gradient의 방법으로 분석하였다.

### 2.12. 통계처리

본 실험에 대한 결과 값은 평균과 표준편차(Mean $\pm$ SD)로 나타내었고, Statistical Analysis System(9.4, SAS Institute, Cary, NC, USA)을 이용하여 one-way ANOVA 분석을 실시한 후, Duncan's multiple range test로 발아 시기에 따른 차이를 검정하였으며(p<0.05), 요인들 간의 상



관성은 Pearson's correlation coefficient로 분석하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 발아율

발아일수에 따른 발아율은 Fig. 1에 나타내었다. 발아율은 생리학적으로 종자의 수명 및 품질을 평가하는 방법 중 하나로 알려져 있으며, 발아현미는 싹이 1-5 mm 자란 것으로, 발아 조건은 온도 25-30℃, 습도 90% 이상으로 알려져 있다(Watanabe 등, 2004). 발아율은 품종, 수확 후 저장 조건, 환경 요인에 의해 영향을 받으며, 현미로 도정하는 과정에서 배(embryo)의 물리적 손상에 의해 외부가 노출되면 산화되기 쉬워 발아력을 상실할 수 있다(Kim 등, 2012). 또한, 낮은 발아율을 나타내는 현미는 자체 활력을 잃은 것으로 취반 후 윤기 감소, 찰기와 질감 저하, 고미취 생성 등 쌀 품질의 저하를 나타낸다(Kim 등, 2007). 발아일수 1일 차에는 초다수성 밀양356호가 발아율 70%로 초기 발아율이 가장 높게 나타났으며, 남평은 발아율 62%, 다산은 발아율 34%로 나타났다( $p < 0.05$ ). 발아일수 2일 차에는 밀양356호와 남평의 발아율이 각각 84% 및 91%로 높게 나타났으나, 다산은 발아율 56%로 낮게 나타났다( $p < 0.05$ ). 발아일수 3일 차

부터 밀양356호와 남평의 발아율은 90% 이상으로 나타났으나, 다산은 발아일수 3일과 4일 차에 발아율이 각각 79% 및 84%로 다른 품종들과 비교하였을 때 발아율이 낮게 나타났다( $p < 0.05$ ). Kwak 등(2015)의 연구에 따르면 저장기간에 따라 현미의 발아율 및 지방산가 등 품질 저하가 자포니카보다 통일형 품종이 느리다고 하였으며, 발아현미는 일정기간 발아시킨 현미를 건조하여 식용으로 이용하기 때문에 발아일수가 짧을수록 유리하다(Kim 등, 2001). 따라서 통일형 초다수성 적미인 밀양356호는 일반계와 같이 발아율이 높아 가공용 소재 등의 상업적 용도에 적합하다고 사료된다.

#### 3.2. 발아현미의 색도

발아일수에 따른 발아현미의 색도는 Table 1에 나타내었다. 밝기를 나타내는  $L^*$ 값은 품종에 따라 밀양356호 77.10-82.74, 남평 86.61-87.64, 다산 86.36-87.62의 범위를 보였다. 발아일수에 따라 밀양356호의 밝기는 점차 증가하는 것으로 나타났으나, 남평과 다산은 큰 변화를 나타내지 않았다. 적색도  $a^*$ 값은 적색에서 녹색을 나타내는 값으로, 품종에 따라 밀양356호 1.98-4.61, 남평 -0.22-0.26, 다산 -0.25-0.34의 범위로 모든 발아현미의  $a^*$ 값은 발아일수가 증가함에 따라 그 값은 감소하는 것으로 나타났다( $p < 0.05$ ). 그러나 황색도  $b^*$ 값은 황색에서 청색을 나타내는 값으로 품종에 따라 밀양356호 7.26-10.26, 남평 7.76-10.95, 다산 7.37-11.41의 범위로 모든 발아현미의  $b^*$ 값은 발아일수가 증가함에 따라 그 값이 증가하는 것으로 나타났다( $p < 0.05$ ). 밀양356호의 초기값과 발아일수 4일 차의  $L^*$ 값과  $a^*$ 값의 변화가 각각 5.64 및 2.63으로 다른 품종들과 비교하였을 때 남평( $L^*$ , 0.06;  $a^*$ , 0.48)과 다산( $L^*$ , 0.39;  $a^*$ , 0.25)보다 그 차이가 크게 나타났다. 그러나 밀양356호의 초기값과 발아일수 4일 차의  $b^*$ 값 변화는 0.56으로 크지 않았으나, 남평은 2.16 및 다산은 4.04로 크게 나타났다. 이러한 색도의 주된 변화는 현미를 수침 처리함에 따라 발아일수가 길어지면, 녹색을 띠는 새싹과 뿌리가 생육함에 따라 그 영향으로 발아현미의 색도가 변화는 것으로 사료된다(Lurstwut와 Pornpanomchai, 2017).

전반적인 색차를 나타내는  $\Delta E$ 값은 national bureau of standards(NBS)의 기준에 따라  $\Delta E$ 값이 1.5-3.0이면 noticeable, 3.0-6.0이면 appreciable, 6.0-12면 much라

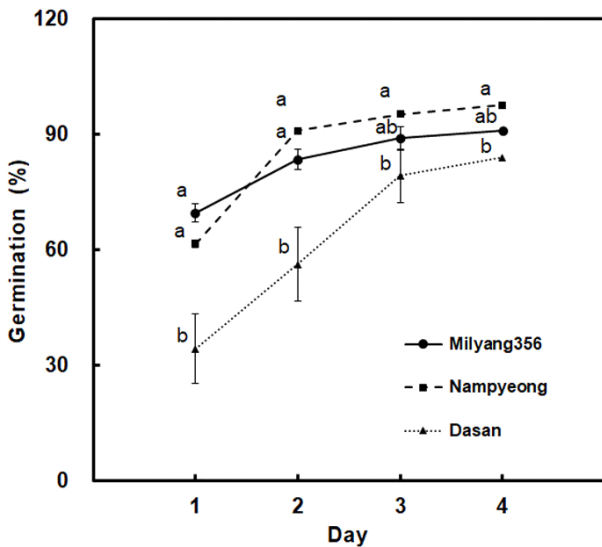


Fig. 1. Germination rate according to germination days of brown rice. Data values were expressed as mean±SD (n=3). Bar with different letters are significant statistical difference ( $p < 0.05$ ) by Duncan's multiple range test.

**Table 1.** Color value according to germination days of brown rice

Variety	Day	L <sup>(*)</sup>	a <sup>*</sup>	b <sup>*</sup>	ΔE
<i>Milyang356</i>	0	77.10±0.28 <sup>(2)</sup>	4.61±0.13 <sup>a</sup>	9.70±0.26 <sup>b</sup>	-
	1	80.05±0.48 <sup>c</sup>	2.96±0.12 <sup>b</sup>	7.81±0.19 <sup>c</sup>	3.89±0.24 <sup>c</sup>
	2	81.09±0.10 <sup>b</sup>	2.19±0.06 <sup>d</sup>	7.26±0.43 <sup>d</sup>	5.27±0.16 <sup>b</sup>
	3	81.51±0.66 <sup>b</sup>	2.37±0.09 <sup>c</sup>	9.62±0.14 <sup>b</sup>	4.96±0.56 <sup>b</sup>
	4	82.74±0.55 <sup>a</sup>	1.98±0.06 <sup>e</sup>	10.26±0.07 <sup>a</sup>	6.25±0.49 <sup>a</sup>
<i>Nampyeong</i>	0	87.20±0.09 <sup>b</sup>	0.26±0.02 <sup>a</sup>	8.79±0.05 <sup>c</sup>	-
	1	87.49±0.03 <sup>a</sup>	0.22±0.01 <sup>a</sup>	8.43±0.01 <sup>d</sup>	0.46±0.01 <sup>d</sup>
	2	87.64±0.09 <sup>a</sup>	0.21±0.08 <sup>a</sup>	7.76±0.30 <sup>e</sup>	1.13±0.24 <sup>c</sup>
	3	86.61±0.19 <sup>c</sup>	0.01±0.03 <sup>b</sup>	10.01±0.07 <sup>b</sup>	1.39±0.04 <sup>b</sup>
	4	87.14±0.03 <sup>b</sup>	-0.22±0.02 <sup>c</sup>	10.95±0.07 <sup>a</sup>	2.22±0.07 <sup>a</sup>
<i>Dasan</i>	0	87.23±0.16 <sup>a</sup>	0.00±0.01 <sup>bc</sup>	7.37±0.17 <sup>e</sup>	-
	1	87.62±0.04 <sup>a</sup>	0.34±0.01 <sup>a</sup>	8.06±0.03 <sup>d</sup>	0.86±0.04 <sup>d</sup>
	2	86.36±0.07 <sup>c</sup>	0.04±0.02 <sup>b</sup>	8.27±0.09 <sup>c</sup>	1.26±0.03 <sup>c</sup>
	3	87.33±0.06 <sup>a</sup>	-0.04±0.02 <sup>c</sup>	9.97±0.08 <sup>b</sup>	2.60±0.08 <sup>b</sup>
	4	86.84±0.43 <sup>b</sup>	-0.25±0.07 <sup>d</sup>	11.41±0.15 <sup>a</sup>	4.09±0.10 <sup>a</sup>

<sup>1)</sup>Numeric description of color using CIELAB color space. L<sup>\*</sup> (lightness or darkness) ranges from black (0) to white (100); a<sup>\*</sup> color direction in red (a<sup>\*</sup>>0) or green (a<sup>\*</sup><0); b<sup>\*</sup> color direction in yellow (b<sup>\*</sup>>0) or blue (b<sup>\*</sup><0); ΔE (the total color difference) is calculated based on delta L<sup>\*</sup>, a<sup>\*</sup>, b<sup>\*</sup> color differences and represents the distance of a line between the germination day and initial day.

<sup>2)</sup>Mean±SD (n=3) followed by different letters are significantly different according to germinated time (p<0.05).

고 분류하였다(Han, 1991). 밀양356호의 ΔE값은 3.89-6.25의 범위로 발아일수 1일 차에 ΔE값이 3.89로 NBS기준 3.0보다 높게 나타나 육안으로 구분이 될 정도의 차이를 보였으며, 발아일수 4일 차에는 NBS 기준 6.0을 초과하여 뚜렷한 차이를 나타냈다. Sirisoontaralak 등(2015)의 연구에 따르면 발아일수 1일 차에 ΔE값이 4로 나타났으며, 본 연구의 결과와 유사한 값을 나타내었다. 그러나 남평 및 다산의 ΔE값은 각각 0.46-2.22와 0.86-4.09의 범위로, 남평은 발아일수 4일 차까지 NBS 기준 3.0보다 작게 나타났으며, 다산은 발아일수 4일 차에 ΔE값이 4.09를 나타내 육안으로 구분이 되는 변화를 나타냈다. 이러한 변화는 남평과 다산은 적미인 밀양356호와 달리 초기 a<sup>\*</sup>값이 낮아 발아일수에 따른 ΔE값의 변화가 적게 나타난 것으로 판단된다. 식품의 색은 소비자의 기호도에 영향을 줄 수 있는 중요한 관능적 품질특성으로 알려져 있으며(Bang 등, 2017), 백미의 색에 익숙해져 있는 대부분의 사람들에게 유색미를 비롯한 현미를 발아시켜 색 변화를 비교 분석함으로써 발아

현미 가공제품 이용에 도움을 주고자 한다.

### 3.3. 발아현미의 아밀로스, 조단백질 함량 및 호화특성

발아일수에 따른 발아현미의 아밀로스 및 조단백질 함량과 호화특성은 Table 2에 나타내었다. 아밀로스 함량은 취반 시 호화점도 및 밥의 경도에 많은 영향을 주어 식미·취반특성을 결정하는 가장 중요한 요소로 알려져 있다(Bao 등, 2002). 아밀로스 함량은 품종에 따라 밀양356호 17.61-18.59%, 남평 19.89-22.07%, 다산 16.98-19.41%의 범위를 나타냈다. 아밀로스 함량은 모든 품종에서 발아일수 1일 차에 가장 크게 증가하였으나(p<0.05), 발아일수가 길어짐에 따라 점차 감소하는 것으로 나타났(p<0.05). 발아일수 동안 아밀로스 함량의 변화 정도는 품종에 따라 밀양356호는 1% 미만의 변화를 나타냈으나, 남평과 다산은 각각 2.18% 및 2.43%로 그 함량 변화가 밀양356호보다 크게 나타났다. Kim 등(2012)의 연구에 따르면 현미와 발아현미의 아밀로스 함량은 각각 16.67-17.14%와 18.47-

**Table 2.** Amylose and crude protein contents, and paste viscosity according to germination days of brown rice

Variety	Day	Amylose content (%)	Crude protein content (%)	Paste viscosity				
				Peak (P, cP)	Trough (T, cP)	Final (F, cP)	Break (P-T, cP)	Setback (F-T, cP)
<i>Milyang356</i>	0	17.61±0.12 <sup>b1)</sup>	9.44±0.03 <sup>e</sup>	304.46±0.63 <sup>a</sup>	160.5±5.17 <sup>a</sup>	268.54±5.46 <sup>a</sup>	143.96±5.79 <sup>a</sup>	108.04±0.29 <sup>a</sup>
	1	18.06±0.07 <sup>ab</sup>	15.48±0.42 <sup>a</sup>	163.92±0.25 <sup>b</sup>	36.04±0.46 <sup>b</sup>	73.17±0.50 <sup>b</sup>	127.88±0.71 <sup>b</sup>	37.13±0.04 <sup>b</sup>
	2	18.39±0.61 <sup>a</sup>	12.88±0.01 <sup>c</sup>	30.46±3.38 <sup>c</sup>	3.75±0.08 <sup>c</sup>	6.29±0.04 <sup>c</sup>	26.71±3.30 <sup>c</sup>	2.54±0.04 <sup>c</sup>
	3	18.59±0.26 <sup>a</sup>	13.97±0.06 <sup>b</sup>	12.55±0.13 <sup>d</sup>	2.25±0.08 <sup>c</sup>	3.29±0.04 <sup>c</sup>	10.30±0.04 <sup>d</sup>	1.04±0.04 <sup>d</sup>
	4	18.11±0.35 <sup>ab</sup>	10.35±0.02 <sup>d</sup>	7.04±0.04 <sup>e</sup>	1.83±0.00 <sup>c</sup>	2.63±0.04 <sup>c</sup>	5.21±0.04 <sup>d</sup>	0.80±0.04 <sup>d</sup>
<i>Nampyeong</i>	0	19.89±0.50 <sup>d</sup>	7.23±0.03 <sup>e</sup>	219.42±3.08 <sup>a</sup>	105.00±1.92 <sup>a</sup>	187.29±2.04 <sup>a</sup>	114.42±1.16 <sup>a</sup>	82.29±0.12 <sup>a</sup>
	1	22.07±0.26 <sup>a</sup>	11.75±0.12 <sup>a</sup>	116.67±0.25 <sup>b</sup>	17.75±0.08 <sup>b</sup>	40.17±0.16 <sup>b</sup>	98.92±0.17 <sup>b</sup>	22.42±0.09 <sup>b</sup>
	2	21.12±0.11 <sup>bc</sup>	10.97±0.05 <sup>c</sup>	29.00±0.58 <sup>c</sup>	3.79±0.04 <sup>c</sup>	5.59±0.09 <sup>c</sup>	25.21±0.54 <sup>c</sup>	1.80±0.04 <sup>c</sup>
	3	21.50±0.26 <sup>b</sup>	11.53±0.03 <sup>b</sup>	15.21±0.13 <sup>d</sup>	2.54±0.04 <sup>d</sup>	3.50±0.08 <sup>d</sup>	12.67±0.09 <sup>d</sup>	0.96±0.04 <sup>d</sup>
	4	20.80±0.30 <sup>c</sup>	9.59±0.06 <sup>d</sup>	8.38±0.04 <sup>e</sup>	2.13±0.04 <sup>e</sup>	3.04±0.04 <sup>d</sup>	6.25±0.09 <sup>e</sup>	0.92±0.09 <sup>d</sup>
<i>Dasan</i>	0	17.87±0.26 <sup>b</sup>	8.19±0.07 <sup>d</sup>	309.34±2.59 <sup>a</sup>	152.34±2.33 <sup>a</sup>	238.75±2.75 <sup>a</sup>	157.58±4.92 <sup>a</sup>	86.42±0.42 <sup>a</sup>
	1	19.41±0.19 <sup>a</sup>	12.53±0.26 <sup>a</sup>	103.92±0.09 <sup>b</sup>	16.67±0.16 <sup>b</sup>	36.55±0.38 <sup>b</sup>	87.25±0.25 <sup>b</sup>	19.88±0.21 <sup>b</sup>
	2	19.28±0.08 <sup>a</sup>	11.02±0.09 <sup>b</sup>	12.79±0.04 <sup>c</sup>	2.58±0.00 <sup>c</sup>	3.54±0.04 <sup>c</sup>	10.21±0.04 <sup>c</sup>	0.96±0.04 <sup>c</sup>
	3	19.17±0.07 <sup>a</sup>	9.48±0.05 <sup>c</sup>	7.29±0.04 <sup>d</sup>	2.13±0.04 <sup>c</sup>	3.04±0.04 <sup>c</sup>	5.17±0.00 <sup>d</sup>	0.92±0.00 <sup>c</sup>
	4	16.98±0.29 <sup>c</sup>	8.39±0.05 <sup>d</sup>	6.88±0.04 <sup>d</sup>	2.71±0.04 <sup>c</sup>	3.67±0.00 <sup>c</sup>	4.17±0.09 <sup>d</sup>	0.96±0.04 <sup>c</sup>

<sup>1)</sup>Mean±SD (n=3) followed by different letters are significantly different according to germinated time (p<0.05).

18.85%로 현미에 비하여 발아현미의 함량이 높게 나타났으며, 본 연구의 결과와 유사하였다(Kim 등, 2012). 조단백질 함량은 품종에 따라 밀양356호 9.44-15.48%, 남평 7.23-11.75%, 다산 8.19-12.53%의 범위를 보였으며, 밀양356호의 조단백질 함량이 다른 품종들과 비교하였을 때 더 높게 나타났다. 조단백질 함량은 발아일수에 따른 아밀로스 변화처럼 발아가 시작된 후 모든 품종에서 발아일수 1일 차에 가장 큰 변화를 나타냈으며, 발아처리 후의 모든 시료에서 무처리 시료의 단백질 함량보다 높게 나타났다(p<0.05). 이러한 단백질 함량 변화는 protease 효소 활성 증가, 효소 가수분해로 인해 유리아미노산이 방출됨으로써 더 많은 단백질이 합성되었거나, 호흡작용으로 인한 건조중량이 감소하여 단백질 함량이 증가되었다고 보고된 바 있다(Kim 등, 2001; Sibian 등, 2017).

발아일수에 따른 발아현미의 호화특성 최고점도(peak vis.), 최소점도(trough vis.), 최종점도(final vis.), 강하점도(break vis.) 및 치반점도(setback vis.)를 측정하였으며,

모든 품종의 점도값들은 발아일수가 길어짐에 따라 감소하였다(p<0.05). 이는 발아일수가 길어짐에 따라 전분의 구조적 변화가 나타나 호화되기 쉬운 구조를 갖는 것으로 아밀로오스 분자 간 수소결합이 붕괴되었거나, 이중나선의 공유결합이 파괴되어 나타난 것으로 사료된다(Zavareze와 Dias, 2011). 밀양356호의 현미분은 최고점도, 최소점도, 최종점도, 강하점도 및 치반점도가 각각 304.46 cP, 160.5 cP, 268.54 cP, 143.96 cP 및 108.04 cP로 나타났으며, 발아일수 1일 차 발아현미부터 최고점도, 최소점도, 최종점도 및 치반점도 값들이 큰 폭으로 감소하였다. 호화 중 열과 전단에 대한 저항성을 나타내는 강하점도는 높을 경우 식미가 양호하며(Lee 등, 2020a), 이를 이용하여 조리할 경우 부드러운 질감으로 인해 노인 및 환자식과 같은 죽 요리에 유용하다고 알려져 있다(Gayin 등, 2009). 밀양356호의 초기 강하점도는 143.96 cP를 보였으며, 발아일수 1일 차에 127.88 cP로 발아로 인한 호화점도 감소가 크지 않았다. 그러나 발아일수 2일 차에는 26.71 cP로 강하점도가

101.17 cP나 감소하여 그 변화가 크게 나타났다. Hu 등 (2017)의 연구에 따르면 발아현미 적미의 강하점도가 다른 점도값들과 비교하였을 때 발아일수에 따른 변화가 늦게 나타난다고 보고하였으며, 본 논문의 결과와 일치하였다(Hu 등, 2017). 이러한 결과를 바탕으로 밀양356호를 발아시켰을 때 강하점도가 높게 유지되는 특성을 활용한다면 발아현미를 죽류 등에 활용할 수 있을 것으로 사료된다.

### 3.4. 발아현미의 항산화능

발아일수에 따른 발아현미의 항산화능은 Table 3에 나타내었다. 항산화 활성은 DPPH 라디칼 소거 활성과 ABTS 라디칼 소거 활성방법으로 측정하여 IC<sub>50</sub>으로 나타냈으며, 총폴리페놀 화합물과 총플라보노이드 화합물 함량을 측정하였다. DPPH 라디칼 소거 활성은 품종에 따라 밀양356호 0.60-3.42 mg/mL, 남평 1.64-2.24 mg/mL, 다산 1.24-3.46 mg/mL의 범위를 나타냈으며, ABTS 라디칼

소거 활성은 품종에 따라 밀양356호 0.23-1.13 mg/mL, 남평 0.66-1.26 mg/mL, 다산 0.55-1.25 mg/mL의 범위를 나타냈다. 단미를 포함한 국내에서 육성된 10개 품종의 발아현미 항산화 활성을 비교한 연구에 따르면 품종에 따라 그 경향이 다르게 나타났으며(Lee 등, 2016), 본 연구의 결과에서도 품종에 따라 그 경향이 다르게 나타났으나, 적미인 밀양356호의 항산화 활성이 남평과 다산보다 높게 나타났다. 쌀의 총폴리페놀 화합물은 대부분 배유(endosperm), 배아(embryo) 및 미강(bran)에 존재한다고 알려져 있다(Masisi 등, 2016). 총폴리페놀 화합물 함량은 품종에 따라 밀양356호 0.86-1.23 mg GAE/g, 남평 0.60-0.81 mg GAE/g, 다산 0.59-0.93 mg GAE/g의 범위로 나타났고, 수침에 의한 발아일수가 길어짐에 따라 발아현미의 총폴리페놀 화합물 함량은 소폭 증가하였으며, 이는 발아로 인해 페놀화합물인 ferulic acid, *p*-coumaric acid, sinapinic acid 등의 성분들이 증가하였기 때문인 것으로 사료된다

**Table 3.** Antioxidant capacities according to germination days of brown rice

Variety	Day	DPPH radical scavenging activity (IC <sub>50</sub> , mg/mL)	ABTS radical scavenging activity (IC <sub>50</sub> , mg/mL)	Total phenolic content (mg GAE/g)	Total flavonoid content (mg CE/g)
<i>Milyang356</i>	0	0.60±0.01 <sup>d1)</sup>	0.23±0.00 <sup>e</sup>	1.23±0.01 <sup>a</sup>	0.87±0.04 <sup>a</sup>
	1	1.10±0.01 <sup>c</sup>	0.50±0.01 <sup>d</sup>	0.86±0.01 <sup>d</sup>	0.54±0.02 <sup>d</sup>
	2	1.14±0.01 <sup>c</sup>	0.84±0.01 <sup>b</sup>	0.86±0.01 <sup>d</sup>	0.68±0.06 <sup>c</sup>
	3	3.30±0.05 <sup>b</sup>	1.13±0.04 <sup>a</sup>	0.97±0.01 <sup>c</sup>	0.65±0.01 <sup>c</sup>
	4	3.42±0.05 <sup>a</sup>	0.63±0.00 <sup>e</sup>	1.08±0.01 <sup>b</sup>	0.80±0.05 <sup>b</sup>
<i>Nampyeong</i>	0	2.24±0.02 <sup>a</sup>	0.66±0.01 <sup>e</sup>	0.60±0.01 <sup>e</sup>	0.55±0.01 <sup>c</sup>
	1	2.05±0.02 <sup>b</sup>	1.07±0.02 <sup>b</sup>	0.68±0.02 <sup>d</sup>	0.62±0.03 <sup>b</sup>
	2	1.64 ±0.02 <sup>d</sup>	0.91±0.02 <sup>c</sup>	0.70±0.01 <sup>c</sup>	0.63±0.04 <sup>b</sup>
	3	1.90±0.01 <sup>c</sup>	0.82±0.01 <sup>d</sup>	0.78±0.01 <sup>b</sup>	0.67±0.04 <sup>ab</sup>
	4	2.05±0.01 <sup>b</sup>	1.26±0.03 <sup>a</sup>	0.81±0.01 <sup>a</sup>	0.71±0.02 <sup>a</sup>
<i>Dasan</i>	0	1.43±0.00 <sup>c</sup>	0.57±0.01 <sup>d</sup>	0.59±0.01 <sup>e</sup>	0.57±0.04 <sup>bc</sup>
	1	1.33±0.01 <sup>d</sup>	0.55±0.01 <sup>d</sup>	0.64±0.00 <sup>d</sup>	0.53±0.05 <sup>c</sup>
	2	1.24±0.00 <sup>e</sup>	0.84±0.02 <sup>c</sup>	0.72±0.01 <sup>c</sup>	0.60±0.01 <sup>bc</sup>
	3	3.00±0.05 <sup>b</sup>	1.04±0.02 <sup>b</sup>	0.84±0.00 <sup>b</sup>	0.62±0.04 <sup>b</sup>
	4	3.46±0.04 <sup>a</sup>	1.25±0.03 <sup>a</sup>	0.93±0.00 <sup>a</sup>	0.86±0.04 <sup>a</sup>
Standards	Ascorbic acid	0.026±0.001	-	-	-
	Trolox	-	0.005±0.000	-	-

<sup>1)</sup>Mean±SD (n=3) followed by different letters are significantly different according to germinated time (p<0.05).



(Tian 등, 2005). Moongngarm과 Saetung(2010)에 따르면 2일간 수침하였을 때 발아현미의 총폴리페놀 화합물 함량은 0.84 mg GAE/g으로 밀양356호의 발아일수 2일 차 0.86 mg GAE/g과 유사한 값을 나타내었다. 총플라보노이드 화합물 함량은 품종에 따라 밀양356호 0.54-0.87 mg CE/g, 남평 0.55-0.71 mg CE/g, 다산 0.53-0.86 mg CE/g의 범위를 나타냈으며, 총폴리페놀 화합물의 함량과 유사한 함량 변화를 나타내었다. 수침 전 밀양356호의 총폴리페놀 화합물과 총플라보노이드 화합물의 함량은 각각 1.23 mg GAE/g과 0.87 mg CE/g으로 나타났으나, 수침 처리에 의해 총폴리페놀과 총플라보노이드 화합물 함량이 감소하였다가 점차 증가하는 것으로 나타났다. 이처럼 초기 수침에 의한 총폴리페놀 화합물과 총플라보노이드 화합물 함량의 감소는 보호막으로 작용하는 왕겨(rice husk)의 손실로 인한 영향 때문이거나(Hu 등, 2017), 수침 초기에 6'-O-(E)-feruloyl-sucrose와 6'-O-(E)-sinapoyl-sucrose를 포함한 주요 가용성 페놀화합물이 미강(rice bran)으로부터 빠져나가 페놀화합물 함량이 감소하였던 것으로 사료된다(Tian 등, 2004).

### 3.5. 발아현미의 유리아미노산 함량

발아일수에 따른 발아현미의 유리아미노산 함량은 Table 4에 나타내었다. 유리아미노산 분석은  $\gamma$ -aminobutyric acid(GABA)를 포함한 18개 성분들을 분석하였으며, 머무름 시간(retention time)에 따라 histidine, serine, arginine, glycine, aspartic acid, glutamic acid, threonine, alanine, GABA, proline, cysteine, lysine, tyrosine, methionine, valine, isoleucine, leucine 및 phenylalanine 순으로 검출되었다. 밀양356호의 발아일수 0일, 2일, 4일 차 및 표준품의 chromatogram은 Fig. 2에 나타냈으며, 발아일수가 길어짐에 따라 크로마토그램에서 alanine과 GABA peak를 포함한 아미노산 성분들의 함량이 증가한 것을 확인할 수 있다.

총유리아미노산 함량은 품종에 따라 밀양356호 146.9-1,131.3 mg/100 g, 남평 120.4-1,090.6 mg/100 g, 다산 159.5-1,456.9 mg/100 g의 범위를 보였으며, 필수아미노산 함량은 threonine, lysine, methionine, valine, isoleucine, leucine 및 phenylalanine의 합계로 품종에

따라 밀양356호 26.2-276.9 mg/100 g, 남평 17.5-255.5 mg/100 g, 다산 36.0-344.1 mg/100 g의 범위를 보였다(Woo 등, 2006). 밀양356호 및 다산은 발아일수 3일 차에 필수아미노산 함량이 각각 276.9 mg/100g 및 344.1 mg/100 g으로 가장 높게 나타났으나, 발아일수 4일 차에는 각각 232.4 mg/100 g 및 286.4 mg/100 g으로 감소하는 것으로 나타났다( $p < 0.05$ ). 또한, 쌀의 제 1제한 아미노산인 lysine은 영양균형적인 면에서 의미가 있다고 알려져 있으며(Jung과 Chung, 2013), 품종별 함량은 밀양356호 6.3-39.8 mg/100 g, 남평 4.4-41.0 mg/100 g, 다산 9.3-58.4 mg/100 g의 범위를 나타냈으며, 발아일수에 따라 필수아미노산 함량과 유사한 경향을 보였다.

GABA는 발아현미에서 가장 주목받고 있는 물질 중 하나로 눈큰흑찰(밀양263호)과 같은 씨눈의 크기가 큰 품종에 그 함량이 높은 것으로 보고되었으며(Park 등, 2015), 발아일수가 길어짐에 따라 GABA 함량은 증가하였다(Thititunsumboon 등, 2013). 밀양356호는 발아일수 2일 차에 GABA 함량이 100.7 mg/100 g으로 같은 기간 남평 50.8 mg/100 g과 다산 54.4 mg/100 g의 함량을 비교하였을 때 그 함량이 약 2배 정도로 차이가 크게 나타났다. 이러한 차이는 적미인 밀양356호의 발아세가 남평과 다산보다 빠른 것에 기인한 것으로 판단된다(Anzala 등, 2006). Ohtsubo 등(2005)에 따르면 고시히카리(*Oryza sativa* L., cultivar Koshihikari)를 30°C에서 4일 동안 수침하였을 때 GABA 함량이 149.03 mg/100 g으로 나타났으며, 본 연구결과와 비교하였을 때 발아일수 4일 차에 밀양356호 133.8 mg/100 g, 다산 154.3 mg/100 g으로 유사하게 나타났다. 이처럼 현미를 발아시켰을 때 생리활성물질이 증가하고, 그 과정이 비용이 적게 들고 간편하여 효과적인 가공법으로 알려져 있다(Cho 등, 2011). 따라서 밀양356호는 짧은 발아일수 동안 높은 GABA 함량을 보여 기능성 발아현미로서 우수하다고 사료된다.

### 3.6. 항산화능 및 유리아미노산 함량과 색도의 상관성

발아일수에 따라 발아현미의 항산화능과 유리아미노산 함량 간의 상관관계를 분석한 결과는 Table 5에 나타내었다. DPPH 라디칼 소거 활성은 ABTS 라디칼 소거활성과 GABA 함량, 총유리아미노산 함량, 필수아미노산 함량과

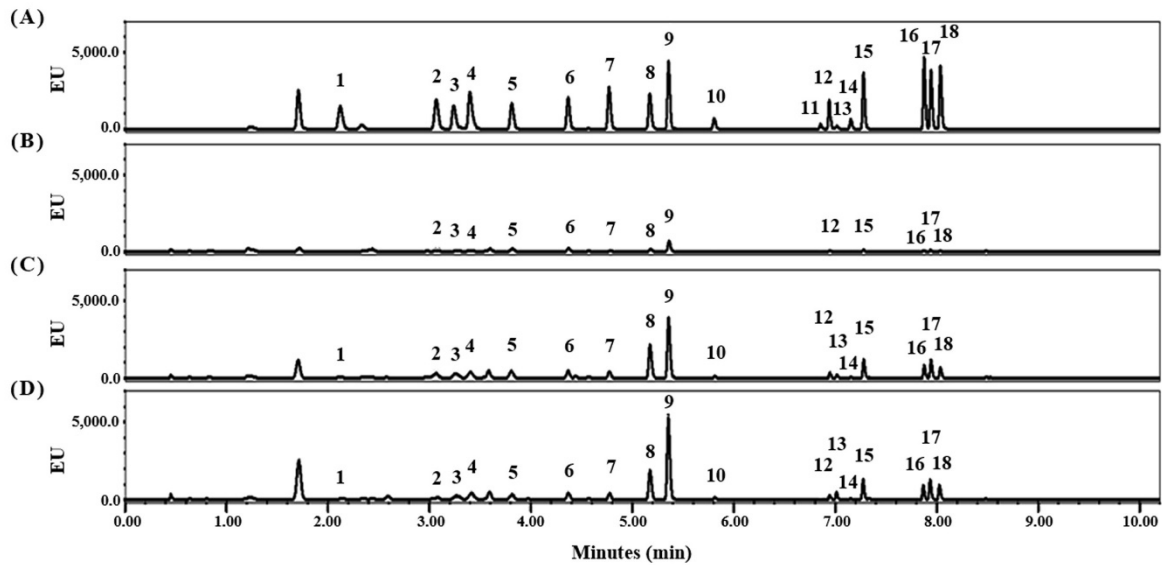
**Table 4.** Amino acid contents according to germination days of brown rice (mg/100 g)

	<i>Milyang356</i>					<i>Nampyeong</i>					<i>Dasan</i>				
	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4
His	2.0± 0.4 <sup>ab3</sup>	4.4± 0.9 <sup>c</sup>	14.6± 2.9 <sup>b</sup>	13.5± 0.2 <sup>a</sup>	13.0± 2.2 <sup>c</sup>	2.8± 0.2 <sup>d</sup>	3.2± 0.0 <sup>d</sup>	9.4± 0.6 <sup>c</sup>	16.1± 1.0 <sup>b</sup>	22.1± 3.2 <sup>a</sup>	4.3± 0.4 <sup>e</sup>	6.9± 0.6 <sup>d</sup>	14.1± 0.1 <sup>c</sup>	28.7± 1.4 <sup>a</sup>	25.0± 2.0 <sup>b</sup>
Ser	5.9± 0.2 <sup>d</sup>	12.2± 0.1 <sup>c</sup>	30.0± 1.1 <sup>b</sup>	32.4± 1.6 <sup>a</sup>	14.2± 1.5 <sup>c</sup>	4.3± 0.3 <sup>d</sup>	5.9± 0.0 <sup>d</sup>	16.5± 1.1 <sup>c</sup>	29.9± 1.0 <sup>b</sup>	34.7± 4.3 <sup>a</sup>	6.1± 0.4 <sup>e</sup>	11.0± 1.0 <sup>d</sup>	23.4± 0.3 <sup>b</sup>	39.0± 1.9 <sup>a</sup>	17.7± 1.5 <sup>c</sup>
Arg	13.4± 0.4 <sup>d</sup>	17.8± 0.3 <sup>d</sup>	60.5± 2.5 <sup>b</sup>	95.3± 0.9 <sup>a</sup>	54.8± 5.1 <sup>c</sup>	13.2± 0.3 <sup>d</sup>	13.2± 0.0 <sup>d</sup>	35.9± 2.2 <sup>c</sup>	70.5± 3.1 <sup>b</sup>	95.9± 11.8 <sup>a</sup>	18.9± 2.2 <sup>d</sup>	20.7± 2.0 <sup>d</sup>	39.6± 0.3 <sup>c</sup>	108.8± 6.5 <sup>a</sup>	81.7± 6.4 <sup>d</sup>
Gly	4.6± 0.2 <sup>c</sup>	5.5± 0.0 <sup>c</sup>	18.2± 0.8 <sup>b</sup>	21.9± 0.2 <sup>a</sup>	18.9± 2.9 <sup>b</sup>	5.4± 0.1 <sup>d</sup>	3.2± 0.0 <sup>e</sup>	8.5± 0.4 <sup>c</sup>	13.7± 0.8 <sup>b</sup>	18.7± 2.4 <sup>a</sup>	5.6± 0.6 <sup>d</sup>	5.6± 0.7 <sup>d</sup>	12.1± 0.1 <sup>c</sup>	27.3± 1.2 <sup>a</sup>	24.8± 1.7 <sup>b</sup>
Asp	20.3± 0.1 <sup>d</sup>	18.4± 0.3 <sup>e</sup>	53.2± 1.2 <sup>b</sup>	61.0± 0.2 <sup>a</sup>	41.4± 1.1 <sup>c</sup>	14.7± 0.8 <sup>d</sup>	8.9± 0.0 <sup>d</sup>	21.9± 1.8 <sup>c</sup>	46.9± 1.1 <sup>b</sup>	56.1± 8.0 <sup>a</sup>	20.6± 3.1 <sup>d</sup>	15.6± 1.7 <sup>d</sup>	34.1± 1.7 <sup>c</sup>	91.0± 2.6 <sup>a</sup>	55.9± 5.0 <sup>b</sup>
Glu	22.6± 0.7 <sup>b</sup>	24.6± 4.0 <sup>b</sup>	44.2± 0.2 <sup>a</sup>	41.2± 2.6 <sup>a</sup>	44.0± 2.1 <sup>a</sup>	18.1± 0.3 <sup>d</sup>	18.3± 0.4 <sup>d</sup>	30.9± 2.3 <sup>c</sup>	43.3± 2.3 <sup>b</sup>	46.5± 1.9 <sup>a</sup>	24.0± 3.6 <sup>d</sup>	25.0± 1.5 <sup>d</sup>	37.6± 0.5 <sup>c</sup>	64.4± 4.9 <sup>a</sup>	43.4± 0.0 <sup>b</sup>
Thr	3.8± 0.1 <sup>e</sup>	6.1± 0.1 <sup>d</sup>	23.5± 0.8 <sup>b</sup>	26.4± 0.2 <sup>a</sup>	21.1± 1.4 <sup>c</sup>	2.6± 0.1 <sup>d</sup>	3.4± 0.0 <sup>d</sup>	9.8± 0.5 <sup>c</sup>	16.8± 0.5 <sup>b</sup>	23.1± 3.0 <sup>a</sup>	4.8± 0.4 <sup>d</sup>	6.6± 0.6 <sup>d</sup>	14.4± 0.0 <sup>c</sup>	33.0± 1.6 <sup>a</sup>	26.7± 2.3 <sup>b</sup>
Ala	8.3± 0.4 <sup>e</sup>	19.1± 0.1 <sup>d</sup>	103.6± 1.4 <sup>a</sup>	67.6± 0.1 <sup>c</sup>	87.5± 5.0 <sup>b</sup>	5.9± 0.3 <sup>d</sup>	9.4± 0.1 <sup>d</sup>	32.6± 2.2 <sup>c</sup>	39.7± 1.1 <sup>b</sup>	64.9± 6.6 <sup>a</sup>	9.0± 0.8 <sup>d</sup>	16.2± 1.4 <sup>c</sup>	45.2± 2.1 <sup>b</sup>	71.9± 3.2 <sup>a</sup>	77.4± 7.6 <sup>a</sup>
GABA	16.7± 0.9 <sup>d</sup>	27.2± 3.3 <sup>c</sup>	100.7± 0.6 <sup>b</sup>	105.6± 0.3 <sup>b</sup>	133.8± 5.0 <sup>a</sup>	12.4± 0.8 <sup>d</sup>	12.6± 0.3 <sup>d</sup>	50.8± 3.0 <sup>c</sup>	76.4± 3.8 <sup>b</sup>	117.7± 13.3 <sup>a</sup>	10.9± 0.2 <sup>d</sup>	22.0± 2.5 <sup>d</sup>	54.4± 4.9 <sup>c</sup>	130.5± 1.4 <sup>b</sup>	154.3± 13.5 <sup>a</sup>
Pro	2.7± 0.1 <sup>d</sup>	5.1± 0.0 <sup>c</sup>	27.3± 0.9 <sup>b</sup>	30.7± 0.6 <sup>a</sup>	28.3± 2.6 <sup>b</sup>	3.3± 0.2 <sup>d</sup>	3.0± 0.0 <sup>d</sup>	10.7± 0.7 <sup>c</sup>	19.6± 0.9 <sup>b</sup>	29.3± 3.6 <sup>a</sup>	3.3± 0.4 <sup>d</sup>	5.0± 0.5 <sup>d</sup>	14.5± 0.0 <sup>c</sup>	38.9± 1.8 <sup>a</sup>	34.6± 3.1 <sup>b</sup>
Cys	0.6± 0.1 <sup>e</sup>	1.5± 0.1 <sup>d</sup>	6.1± 0.0 <sup>b</sup>	7.1± 0.3 <sup>a</sup>	2.6± 0.7 <sup>c</sup>	1.2± 0.1 <sup>d</sup>	2.2± 0.0 <sup>d</sup>	6.5± 0.4 <sup>c</sup>	11.4± 0.3 <sup>b</sup>	13.4± 1.3 <sup>a</sup>	1.6± 0.6 <sup>d</sup>	2.0± 0.0 <sup>d</sup>	5.4± 1.2 <sup>b</sup>	13.5± 0.9 <sup>a</sup>	3.7± 0.3 <sup>c</sup>
Lys	6.3± 0.2 <sup>a</sup>	8.0± 0.1 <sup>d</sup>	32.4± 0.1 <sup>b</sup>	39.8± 1.2 <sup>a</sup>	29.7± 1.6 <sup>c</sup>	4.4± 0.1 <sup>d</sup>	6.3± 0.2 <sup>d</sup>	18.3± 1.2 <sup>c</sup>	32.0± 0.5 <sup>b</sup>	41.0± 4.6 <sup>a</sup>	9.3± 0.7 <sup>d</sup>	12.9± 0.9 <sup>d</sup>	24.4± 1.5 <sup>c</sup>	58.4± 2.2 <sup>a</sup>	42.8± 3.9 <sup>b</sup>
Tyr	23.7± 0.2 <sup>e</sup>	46.4± 1.0 <sup>d</sup>	222.6± 2.2 <sup>c</sup>	332.4± 0.5 <sup>b</sup>	460.3± 0.6 <sup>a</sup>	21.8± 0.5 <sup>d</sup>	37.2± 1.3 <sup>d</sup>	107.8± 5.2 <sup>c</sup>	213.3± 5.5 <sup>b</sup>	335.7± 35.3 <sup>a</sup>	19.1± 0.9 <sup>e</sup>	73.4± 3.2 <sup>d</sup>	139.7± 1.2 <sup>c</sup>	498.9± 23.5 <sup>b</sup>	564.2± 54.2 <sup>a</sup>
Met	2.2± 0.1 <sup>e</sup>	4.7± 0.0 <sup>d</sup>	19.5± 0.6 <sup>b</sup>	23.1± 0.1 <sup>a</sup>	17.4± 0.6 <sup>c</sup>	1.5± 0.2 <sup>d</sup>	3.1± 0.0 <sup>d</sup>	10.9± 0.8 <sup>c</sup>	19.7± 0.4 <sup>b</sup>	26.1± 3.2 <sup>a</sup>	2.6± 0.0 <sup>e</sup>	5.2± 0.3 <sup>d</sup>	12.6± 0.8 <sup>c</sup>	32.6± 1.9 <sup>a</sup>	26.0± 2.0 <sup>b</sup>
Val	4.7± 0.2 <sup>d</sup>	10.0± 0.0 <sup>c</sup>	48.0± 1.3 <sup>b</sup>	57.9± 0.4 <sup>a</sup>	48.5± 1.6 <sup>b</sup>	3.2± 0.2 <sup>d</sup>	5.1± 0.1 <sup>d</sup>	19.4± 1.7 <sup>c</sup>	35.8± 1.3 <sup>b</sup>	55.1± 6.4 <sup>a</sup>	6.5± 0.5 <sup>d</sup>	10.3± 0.8 <sup>d</sup>	26.7± 0.7 <sup>c</sup>	71.0± 2.5 <sup>a</sup>	60.0± 5.2 <sup>b</sup>
Ile	2.4± 0.1 <sup>d</sup>	5.3± 0.0 <sup>c</sup>	27.7± 0.8 <sup>b</sup>	32.4± 0.2 <sup>a</sup>	28.6± 2.4 <sup>b</sup>	1.4± 0.1 <sup>d</sup>	2.5± 0.0 <sup>d</sup>	9.5± 0.6 <sup>c</sup>	18.7± 0.8 <sup>b</sup>	28.1± 3.3 <sup>a</sup>	3.2± 0.3 <sup>d</sup>	5.1± 0.4 <sup>d</sup>	14.5± 0.5 <sup>c</sup>	38.7± 1.9 <sup>a</sup>	32.9± 2.6 <sup>b</sup>
Leu	4.3± 0.3 <sup>d</sup>	9.3± 0.1 <sup>c</sup>	47.7± 1.2 <sup>b</sup>	57.3± 0.1 <sup>a</sup>	49.7± 4.2 <sup>b</sup>	2.7± 0.2 <sup>d</sup>	4.7± 0.0 <sup>d</sup>	17.3± 1.1 <sup>c</sup>	33.3± 1.2 <sup>b</sup>	49.3± 5.6 <sup>a</sup>	6.2± 0.4 <sup>d</sup>	9.4± 0.6 <sup>d</sup>	25.3± 0.8 <sup>c</sup>	66.9± 3.3 <sup>a</sup>	57.3± 4.5 <sup>b</sup>
Phe	2.5± 0.1 <sup>c</sup>	5.7± 0.0 <sup>c</sup>	31.1± 1.7 <sup>b</sup>	40.0± 0.6 <sup>a</sup>	37.4± 7.8 <sup>ab</sup>	1.7± 0.2 <sup>d</sup>	2.8± 0.0 <sup>d</sup>	11.4± 0.7 <sup>c</sup>	21.9± 1.2 <sup>b</sup>	32.8± 4.1 <sup>a</sup>	3.4± 0.3 <sup>d</sup>	5.2± 0.4 <sup>d</sup>	16.0± 0.3 <sup>c</sup>	43.5± 2.5 <sup>a</sup>	40.6± 2.2 <sup>b</sup>
TA <sup>1)</sup>	146.9± 1.6 <sup>e</sup>	231.3± 1.7 <sup>d</sup>	910.7± 20.1 <sup>c</sup>	1,085.6± 3.4 <sup>b</sup>	1,131.3± 38.5 <sup>a</sup>	120.4± 4.2 <sup>d</sup>	145.0± 2.5 <sup>d</sup>	428.3± 26.4 <sup>c</sup>	759.3± 21.6 <sup>b</sup>	1,090.6± 122.1 <sup>a</sup>	159.5± 15.8 <sup>c</sup>	258.0± 19.0 <sup>c</sup>	553.9± 9.7 <sup>b</sup>	1,456.9± 65.2 <sup>a</sup>	1,369.1± 118.0 <sup>a</sup>
EA <sup>2)</sup>	26.2± 1.2 <sup>d</sup>	49.1± 0.4 <sup>c</sup>	229.8± 6.5 <sup>b</sup>	276.9± 2.7 <sup>a</sup>	232.4± 19.7 <sup>b</sup>	17.5± 1.0 <sup>d</sup>	27.8± 0.4 <sup>d</sup>	96.6± 6.5 <sup>c</sup>	178.3± 5.9 <sup>b</sup>	255.5± 30.2 <sup>a</sup>	36.0± 2.6 <sup>d</sup>	54.5± 3.9 <sup>d</sup>	133.8± 4.6 <sup>c</sup>	344.1± 16.0 <sup>a</sup>	286.4± 22.7 <sup>b</sup>

<sup>1)</sup>Total amino acid.

<sup>2)</sup>Essential amino acid (Thr+Lys+Met+Val+Ile+Leu+Phe).

<sup>3)</sup>Mean±SD (n=3) followed by different letters are significantly different according to germinated time (p<0.05).



**Fig. 2.** HPLC chromatograms of standard compounds (A), germination for 0 day (B), 2 day (C), and 4 day (D) of *milyang356* brown rice. 1, His; 2, Ser; 3, Arg; 4, Gly; 5, Asp; 6, Glu; 7, Thr; 8, Ala; 9, GABA; 10, Pro; 11, Cys; 12, Lys; 13, Tyr; 14, Met; 15, Val; 16, Ile; 17, Leu; 18, Phe.

**Table 5.** Correlation coefficients between antioxidant capacities (DPPH, ABTS, TPC, TFC), and amino acids (GABA, TA, EA) according to germination days of brown rice

	DPPH <sup>1)</sup>	ABTS	TPC	TFC	GABA	TA	EA
DPPH	1	0.611 <sup>***2)</sup>	0.178	0.256	0.715 <sup>***</sup>	0.720 <sup>***</sup>	0.676 <sup>***</sup>
ABTS		1	-0.160	0.075	0.633 <sup>***</sup>	0.656 <sup>***</sup>	0.672 <sup>***</sup>
TPC			1	0.757 <sup>***</sup>	0.427 <sup>**</sup>	0.381 <sup>**</sup>	0.355 <sup>*</sup>
TFC				1	0.480 <sup>**</sup>	0.400 <sup>**</sup>	0.343 <sup>*</sup>
GABA					1	0.985 <sup>***</sup>	0.963 <sup>***</sup>
TA						1	0.991 <sup>***</sup>
EA							1

<sup>1)</sup>DPPH, 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl; ABTS, 2,2'-azino-bis(3-ethylbenzthiazoline-6-sulfonic acid); TPC, total phenolic content; TFC, total flavonoid content; GABA,  $\gamma$ -aminobutyric acid; TA, total aminoacid; EA, essential amino acid (Thr+Lys+Met+Val+Ile+Leu+Phe).

<sup>2)</sup>Significant at  $p < 0.05$ ; \*\*significant at  $p < 0.01$ ; \*\*\*significant at  $p < 0.001$ .

$p < 0.001$  유의수준에서 높은 정의 상관관계( $r = 0.611$ ,  $r = 0.715$ ,  $r = 0.720$ ,  $r = 0.676$ )를 보였으며, ABTS 라디칼 소거 활성 또한 GABA 함량, 총유리아미노산 함량, 필수아미노산 함량과  $p < 0.001$  유의수준에서 정의 상관관계( $r = 0.633$ – $0.672$ )를 나타냈다. 특히 총폴리페놀 화합물 함량은 총플라보노이드 화합물 함량과 상관계수가  $p < 0.001$  유의수준에서 0.757로 높은 정의 상관관계를 보였으며, GABA 함량, 총유리아미노산 함량과  $p < 0.01$  유의 수준에서 정의

상관관계( $r = 0.427$ ,  $r = 0.381$ )를 나타내었다. 총플라보노이드 화합물 함량의 경우 GABA 함량, 총유리아미노산 함량과  $p < 0.05$  유의수준에서 정의 상관관계( $r = 0.480$ ,  $r = 0.400$ )를 보였다. GABA 함량은 총유리아미노산, 필수아미노산 함량과의 관계에서 유의적으로 증가하는 높은 상관성을 나타내었다( $p < 0.001$ ).

발아일수에 따라 발아현미의 색도와 항산화능 및 유리아미노산 함량 간의 상관계수를 나타낸 결과는 Table 6에 나

**Table 6.** Correlation coefficients between color values ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $\Delta E$ ) and antioxidant capacities (TPC, TFC, DPPH, ABTS), amino acids (GABA, TA, EA) according to germination days of brown rice

	DPPH <sup>1)</sup>	ABTS	TPC	TFC	GABA	EA	TA
$L^*$	0.263	0.487 <sup>***2)</sup>	-0.778 <sup>***</sup>	-0.355 <sup>*</sup>	0.024	0.048	0.066
$a^*$	-0.298 <sup>*</sup>	-0.573 <sup>***</sup>	0.749 <sup>***</sup>	0.342 <sup>*</sup>	-0.143	-0.167	-0.182
$b^*$	0.650 <sup>***</sup>	0.438 <sup>**</sup>	0.511 <sup>***</sup>	0.573 <sup>***</sup>	0.678 <sup>***</sup>	0.607 <sup>***</sup>	0.664 <sup>***</sup>
$\Delta E$	0.466 <sup>**</sup>	-0.051	0.927 <sup>***</sup>	0.488 <sup>**</sup>	0.631 <sup>***</sup>	0.543 <sup>***</sup>	0.557 <sup>***</sup>

<sup>1)</sup>DPPH, DPPH radical scavenging activity; ABTS, ABTS radical scavenging activity; TPC, total phenolic content; TFC, total flavonoid content; GABA,  $\gamma$ -aminobutyric acid; TA, total aminoacid; EA, essential amino acid (Thr+Lys+Met+Val+Ile+Leu+Phe);  $L^*$ , lightness;  $a^*$ , redness;  $b^*$ , yellowness;  $\Delta E$ , total color difference.

<sup>2)</sup>Significant at  $p<0.05$ ; \*\*significant at  $p<0.01$ ; \*\*\*significant at  $p<0.001$ .

타내었다. 발아현미의  $L^*$ 값은 총폴리페놀 화합물 함량과  $p<0.001$  유의수준에서 높은 부의 상관관계( $r=-0.778$ )를 나타냈으며,  $a^*$ 값의 경우 총폴리페놀 화합물 함량과  $p<0.001$  유의수준에서 높은 정의 상관관계( $r=0.749$ )를 보였다.  $b^*$ 값의 경우 ABTS 라디칼 소거 활성을 제외한 모든 항목에서  $p<0.001$  유의수준에서 높은 정의 상관관계( $r=0.511-0.678$ )를 보였으며,  $\Delta E$ 값은 총폴리페놀 화합물 함량과 매우 높은 정의 상관성( $r=0.927$ )을 나타내었다. 이는  $\Delta E$ 값과 phenolic acids류의 gallic acid, syringic acid 및 ferulic acid의 함량과 상관성이 높다는 연구와 유사하였다(Choi 등, 2018). 따라서 발아기간에 따라 발아현미의 전반적인 색도 차이를 활용하면 폴리페놀성 화합물의 함량을 예측하는 것이 가능하여 발아현미의 이용에 도움이 될 것으로 사료된다.

#### 4. 요약

본 연구에서는 국내에서 육성된 초다수성 적미계통 밀양 356호와 일반계 및 초다수성 품종인 남평 및 다산의 발아일수에 따른 발아현미의 품질특성을 측정하였으며, 그 결과값들의 상관성을 조사하였다. 발아율은 발아일수 1일 차에 밀양356호가 70%로 다른 품종들보다 초기 발아율이 높게 나타났다. 발아현미의 색도를 측정한 결과, 밀양356호는 발아일수가 길어짐에 따라  $L^*$ 값은 증가하였으나  $a^*$ 값은 감소하였다. 또한, 밀양356호의  $\Delta E$ 값은 발아일수 1일 차에 3.89를 나타내어 육안으로 구분될 정도로 색도 변화를 보였다. 아밀로스 및 조단백질 함량은 모든 품종에서 발아일수 1일 차에 증가하였으나, 발아일수가 길어짐에 따라 점차 감소하였다 ( $p<0.05$ ). 호화특성의 점도값들은 모든 품종에서 발아일수

1일 차부터 큰 폭으로 감소하였으나, 밀양356호의 강하점도는 발아일수 2일 차부터 감소한 것으로 나타났다. 항산화 활성은 모든 품종에서 발아일수가 길어짐에 따라 그 경향이 다르게 나타났으며, 총폴리페놀과 총플라보노이드 화합물 함량은 발아일수가 길어짐에 따라 증가하는 것으로 나타났다 ( $p<0.05$ ). 총유리아미노산 및 GABA 함량은 모든 품종에서 발아일수가 길어짐에 따라 점차 증가하였으나, 필수아미노산 함량은 밀양356호와 다산 품종에서 발아일수 3일 차에 각각 276.9 mg/100 g 및 344.1 mg/100 g으로 가장 높게 나타났다( $p<0.05$ ). 발아현미의 발아일수에 따른 품질 특성 결과의 상관관계를 분석한 결과, 항산화 활성은 GABA, 총유리아미노산 함량 및 필수아미노산 함량과 높은 정의 상관관계를 보였다. 총폴리페놀 화합물 함량의 경우 색도값인  $L^*$ 값과는 부의 상관관계( $r=-0.778$ )를,  $a^*$ 값,  $b^*$ 값과는 정의 상관관계를 나타냈으며, 특히  $\Delta E$ 값( $r=0.927$ )과는 매우 높은 정의 상관관계를 보였다. 이와 같은 결과를 토대로 밀양356호 발아현미는 초기 발아율이 높아 상업적 효율이 좋고, 짧은 발아 기간 동안 높은 GABA 등의 필수아미노산 함량과 생리활성이 뛰어나 호화특성을 고려하여 죽류 등 건강식 가공식품 제조에도 적합할 것으로 보인다.

#### 감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 연구사업(과제번호: PJ014279012022)의 지원에 의해 이루어진 것이며 이에 감사드립니다.

#### Conflict of interests

The authors declare no potential conflicts of interest.



### Author contributions

Conceptualization: Cho JH, Lee JY. Data curation: Seong GU, Kang JW. Formal analysis: Seong GU, Seo WD, Yang JY. Methodology: Seong GU, Seo WD, Yang JY. Validation: Kwon YH, Lee SM, Lee SB, Lee JH, Park DS. Writing - original draft: Seong GU. Writing - review & editing: Seong GU, Cho JH, Lee JY.

### Ethics approval

This article does not require IRB/IACUC approval because there are no human and animal participants.

### ORCID

Gi-Un Seong (First author)

<https://orcid.org/0000-0002-8812-9671>

Woo-Duck Seo

<https://orcid.org/0000-0001-7394-5636>

Ji-Yeong Yang

<https://orcid.org/0000-0001-7141-8242>

Ju-Won Kang

<https://orcid.org/0000-0001-7651-1307>

Young-Ho Kwon

<https://orcid.org/0000-0002-1104-985X>

So-Myeong Lee

<https://orcid.org/0000-0001-9636-4260>

Sais-Beul Lee

<https://orcid.org/0000-0001-6628-215X>

Jong-Hee Lee

<https://orcid.org/0000-0001-5750-112X>

Dong-Soo Park

<https://orcid.org/0000-0002-3386-5719>

Jun-Hyeon Cho

<https://orcid.org/0000-0002-4238-7341>

Ji-Yoon Lee (Corresponding author)

<https://orcid.org/0000-0001-6595-9798>

### References

Anzala F, Morere-Le Paven MC, Fournier S, Rondeau

D, Limami AM. Physiological and molecular aspects of aspartate-derived amino acid metabolism during germination and post-germination growth in two maize genotypes differing in germination efficiency. *J Exp Bot*, 57, 645-653 (2006)

Bang YS, Jang EH, Chung HJ. Quality and physicochemical characteristics of newly developed *Sunsik* products with germinated brown rice. *Korean J Food Sci Technol*, 49, 513-518 (2017)

Bao JS, Sun M, Corke H. Analysis of the genetic behavior of some starch properties in indica rice (*Oryza sativa* L.): Thermal properties, gel texture, swelling volume. *Theor Appl Genet*, 104, 408-413 (2002)

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

Capanzana MV, Buckle KA. Optimisation of germination conditions by response surface methodology of a high amylose rice (*Oryza sativa*) cultivar. *LWT-Food Sci Technol*, 30, 155-163 (1997)

Cho D, Chung HJ, Cho HY, Lim ST. Health functions and utilization products of germinated brown rice. *Food Sci Ind*, 44, 76-86 (2011)

Cho DH, Lim ST. Germinated brown rice and its bio-functional compounds. *Food Chem*, 196, 259-271 (2016)

Cho DH, Park HY, Lee SK, Park J, Choi HS, Woo KS, Kim HJ, Sim EY, Ahn EK, Oh SK. Cooking and textural properties of specialty germinated brown rices. *Korean J Food Sci Technol*, 49, 575-583 (2017)

Choi HD, Park YK, Kim YS, Chung CH, Park YD. Effect of pretreatment conditions on  $\gamma$ -aminobutyric acid content of brown rice and germinated brown rice. *Korean J Food Sci Technol*, 36, 761-764 (2004)

Choi S, Seo HS, Lee KR, Lee S, Lee J. Effect of cultivars and milling degrees on free and bound phenolic profiles and antioxidant activity of

- black rice. *Appl Biol Chem*, 61, 49-60 (2018)
- Choi YM, Jeon GU, Kong SH, Lee JS. Changes in GABA content of selected specialty rice after germination. *Food Eng Prog*, 13, 154-158 (2009)
- Gayin J, Manful J, Johnson P. Rheological and sensory properties of rice varieties from improvement programmes in Ghana. *Int Food Res J*, 16, 167-174 (2009)
- Han E. Numerical principle of food color (II). *Food Technol*, 4, 41-46 (1991)
- Han HB, Lee HW, Kim BS, Kim CM, Woo HG, Jeong JH, Kim SM, Huh CK. Quality and antioxidant characteristics of 'Yakju' prepared with pigmented rice flour 'Nuruk'. *Korean J Food Preserv*, 28, 240-251 (2021)
- Han SI, Ra JE, Seo KH, Park JY, Seo WD, Park DS, Cho JH, Lee JH, Sim EY, Nam MH. Effects of physico-chemical treatment on 'Nunkeunhukchal' (black sticky rice with giant embryo) for the enhancement of GABA ( $\gamma$ -aminobutyric acid) contents. *Korean J Crop Sci*, 59, 398-405 (2014)
- Hu Z, Tang X, Liu J, Zhu Z, Shao Y. Effect of parboiling on phytochemical content, antioxidant activity and physicochemical properties of germinated red rice. *Food Chem*, 214, 285-292 (2017)
- Jeon HI, Song GS, Kim YS. Antioxidant activity of fractions and subfractions of red rice bran. *J Korean Soc Food Sci Nutr*, 48, 49-55 (2019)
- Jeong BG, Moon HG, Chun J. Water-soluble vitamin and GABA contents of brown rice affected by germination. *J Korean Soc Food Sci Nutr*, 48, 1359-1365 (2019)
- Juliano BO. A simplified assay for milled rice amylose. *Cereal Sci Today*, 16, 334-360 (1971)
- Jung HW, Chung HJ. Quality characteristics and amino acid content of cookies with GABA-enhanced brown rice. *J Korean Soc Food Sci Nutr*, 42, 1813-1820 (2013)
- Jung HY, Lee DH, Baek HY, Lee YS. Pre-and post-germination changes in pharmaceutical compounds of germinated brown rice. *Korean J Crop Sci*, 53, 37-43 (2008)
- Kim DJ, Oh SK, Lee JH, Yoon MR, Choi IS, Lee DH, Kim YG. Changes in quality properties of brown rice after germination. *Korean J Food Sci Technol*, 44, 300-305 (2012)
- Kim HJ, Park JY, Lee SK, Park HY, Cho D, Choi HS, Oh SK. Quality characteristics of rice cultivars suitable for rice beer. *Korean J Crop Sci*, 62, 113-117 (2017)
- Kim HR, Kwon YH, Kim JH, Ahn BH. Quality analysis of diverse rice species for rice products. *Korean J Food Sci Technol*, 43, 142-148 (2011)
- Kim HY, Yang CI, Choi YH, Won YJ, Lee YT. Changes of seed viability and physico-chemical properties of milled rice with different ecotypes and storage duration. *Korean J Crop Sci*, 52, 375-379 (2007)
- Kim KJ, Pyun YR, Cho EK, Lee SK, Kim SK. Kinetic studies on hydration of Akibare and *Milyang 23* brown rice. *Korean J Food Sci Technol*, 16, 297-302 (1984)
- Kim SL, Son YK, Son JR, Hur HS. Effect of germination condition and drying methods on physicochemical properties of sprouted brown rice. *Korean J Crop Sci*, 46, 221-228 (2001)
- Kwak JE, Lee JS, Yoon MR, Kim IH, Lee JH, Kim MJ, Lee CK, Kim BK, Kim WH. Changes of seed germination rate and lipid components in different brown rices during ageing. *Korean J Food Nutr*, 28, 933-940 (2015)
- Lamberts L, De Bie E, Vandeputte GE, Veraverbeke WS, Derycke V, De Man W, Delcour JA. Effect of milling on colour and nutritional properties of rice. *Food Chem*, 100, 1496-1503 (2007)
- Lee JY, Park HY, Lee BW, Park HS, Ahn EK, Kim MY, Lee YY, Kim MH, Lee BK, Kim HJ. Physicochemical properties of brown rice by cultivar for selection of cultivar suitable for making brown rice porridge. *Korean J Food Nutr*, 33, 204-209 (2020)
- Lee JY, Song YC, Lee JH, Jo Sm, Kwon YH, Park DS,

- Cho JH. 'Shingil (Milyang317)', tongil-type variety specialized for rice flour. *Korean J Breed Sci*, 52, 502-510 (2020)
- Lee KH, Ham H, Kim HJ, Park HY, Sim EY, Oh SK, Kim WH, Jeong HS, Woo KS. Functional components and radical scavenging activity of germinated brown rice according to variety. *Korean J Food Nutr*, 29, 145-152 (2016)
- Lurstwut B, Pornpanomchai C. Image analysis based on color, shape and texture for rice seed (*Oryza sativa* L.) germination evaluation. *Agric Nat Resour*, 51, 383-389 (2017)
- Masisi K, Beta T, Moghadasian MH. Antioxidant properties of diverse cereal grains: A review on *in vitro* and *in vivo* studies. *Food Chem*, 196, 90-97 (2016)
- Moongngarm A, Saetung N. Comparison of chemical compositions and bioactive compounds of germinated rough rice and brown rice. *Food Chem*, 122, 782-788 (2010)
- Nam S, Kwon YR, Cho JH, Seo WD, Choi SW, Youn KS. Effect of roasting conditions on aromatic compounds and physicochemical characteristics of germinated aromatic rice (*Oryza sativa* L.-Miryang 302) tea. *Korean J Food Preserv*, 23, 673-679 (2016)
- Oh S, Lee MC, Choi YM, Lee S, Oh M, Ali A, Chae B, Hyun DY. Development of near-infrared reflectance spectroscopy (NIRS) model for amylose and crude protein contents analysis in rice germplasm. *Korean J Plant Res*, 30, 38-49 (2017)
- Oh SK. Development of rice varieties for processing and trend of food industry. *Food Ind Nutr*, 21, 8-14 (2016)
- Ohtsubo Ki, Suzuki K, Yasui Y, Kasumi T. Bio-functional components in the processed pre-germinated brown rice by a twin-screw extruder. *J Food Compos Anal*, 18, 303-316 (2005)
- Park DS, Hwang UH, Park SK, Lee JH, Han SI, Cho JH, Lee JY, Oh SH, Jang KC, Seo WD, Shin DJ, Kim SY, Song YC, Yeo US, Park NB, Nam MH, Lee JK. A waxy black giant embryo earley maturing rice variety 'Nunkenheugchal'. *Korean J Breed Scid*, 47, 68-74 (2015)
- Re R, Pellegrini N, Proteggente A, Pannala A, Yang M, Rice-Evans C. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radic Biol Med*, 26, 1231-1237 (1999)
- Seong GU, Kang JW, Cho SM, Lee SB, Cho JH, Park DS, Kwon YH, Lee SM, Lee JY. Comparison of quality characteristics of 'Makgeolli' made using brown and white rice of 'Mirchal'. *Korean J Food Preserv*, 28, 790-798 (2021)
- Sibian MS, Saxena DC, Riar CS. Effect of germination on chemical, functional and nutritional characteristics of wheat, brown rice and triticale: A comparative study. *J Sci Food Agric*, 97, 4643-4651 (2017)
- Singleton VL, Orthofer R, Lamuela-Raventos RM. [14] Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. *Methods Enzymol*, 299, 152-178 (1999)
- Sirisoontarak P, Nakornpanom NN, Koakietdumrongkul K, Panumaswiwath C. Development of quick cooking germinated brown rice with convenient preparation and containing health benefits. *LWT-Food Sci Technol*, 61, 138-144 (2015)
- Song LS, Kim YH, Kim GP, Ahn KG, Hwang YS, Kang IK, Yoon SW, Lee J, Shin KY, Lee WY, Cho YS, Choung MG. Quantitative analysis of carbohydrate, protein, and oil contents of Korean foods using near-infrared reflectance spectroscopy. *J Korean Soc Food Sci Nutr*, 43, 425-430 (2014)
- Thitinunsomboon S, Keeratipibul S, Boonsiriwit A. Enhancing gamma-aminobutyric acid content in germinated brown rice by repeated treatment of soaking and incubation. *Food Sci Technol Int*, 19, 25-33 (2013)
- Tian S, Nakamura K, Cui T, Kayahara H. High-performance liquid chromatographic determination

- of phenolic compounds in rice. *J Chromatogr A*, 1063, 121-128 (2005)
- Tian S, Nakamura K, Kayahara H. Analysis of phenolic compounds in white rice, brown rice, and germinated brown rice. *J Agric Food Chem*, 52, 4808-4813 (2004)
- Watanabe M, Maeda T, Tsukahara K, Kayahara H, Morita N. Application of pregerminated brown rice for breadmaking. *Cereal Chem*, 81, 450-455 (2004)
- Woo SM, Jeong YJ, Whang K. Effect of germinated brown rice extract powder on free amino acid content, antioxidant and nitrite scavenging ability of the Korean cabbage *Kimchi*. *Korean J Food Preserv*, 13, 548-554 (2006)
- Yang J, Lee H, Kwak J, Kim Y, Jeong HS, Lee J. Oxidative stability of japonica and tongil brown rices under accelerated storage conditions. *J Korean Soc Food Sci Nutr*, 48, 1310-1316 (2019)
- Zavareze EDR, Dias ARG. Impact of heat-moisture treatment and annealing in starches: A review. *Carbohydr Polym*, 83, 317-328 (2011)
- Zhishen J, Mengcheng T, Jianming W. The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals. *Food Chem*, 64, 555-559 (1999)