

## 현미와 흑미의 발아과정 중 amyolytic activity

이향미 · 임지순<sup>1</sup> · 박종대<sup>2</sup> · 금준석<sup>2</sup> · 이현유<sup>2</sup> · 이영택\*  
가천대학교 식품생물공학과, <sup>1</sup>건양대학교 식품생명공학과, <sup>2</sup>한국식품연구원

### Amyolytic Activity of Brown Rice and Black Rice during Germination

Hyang-Mi Lee, Ji-Soon Im<sup>1</sup>, Jong-Dae Park<sup>2</sup>, Jun-Seok Kum<sup>2</sup>, Hyun-Yu Lee<sup>2</sup>, and Young-Tack Lee\*

Department of Food Science and Biotechnology, Gachon University

<sup>1</sup>Department of Food Science and Biotechnology, Konyang University

<sup>2</sup>Korea Food Research Institute

**Abstract** Enzymatic activity in germinated cereal grains is important for the saccharification of starch materials. This study was conducted to investigate the amyolytic activities of germinating brown rice and black rice that have different amylose contents. Brown rice and black rice were steeped at room temperature for 24 h and germinated at 20 and 30°C for 1, 2, and 3 days.  $\alpha$ - and  $\beta$ -Amylase activities in normal brown rice increased very slightly during the 3-day germination period, but the enzymatic activities were slightly higher in low-amylose (waxy type) brown rice. Diastatic power (DP), a measure of starch-saccharifying enzyme, was higher in the germinating brown rice with low amylose than in those with normal amylose content.  $\alpha$ - and  $\beta$ -Amylase activities in black rice increased gradually during germination, and DP of low-amylose black rice appeared to be higher than that of normal brown rice. Amylase activities in brown rice and black rice germinated at 30°C were higher than those germinated at 20°C. Compared to brown rice, the overall amyolytic activity of germinated black rice was observed to be higher than that of brown rice.

**Keywords:** brown rice, black rice, germination, amyolytic activity

## 서 론

전곡립(whole grain)이란 정제되지 않은 곡류로서 정제된 상태보다 인체에 유용한 각종 영양 및 생리활성 성분이 많이 포함되어 있어 건강지향적 소비자들의 관심을 받으며 다양한 제품으로 개발이 되고 있다. 전곡립의 형태인 현미는 벼에서 왕겨를 제거한 상태로 과피(pericarp), 종피(seed coat), 및 호분층(aleurone layer)을 포함하는 미강과 배(embryo), 배유(endosperm)로 이루어져 있고 백미에 비해 단백질, 비타민, 무기질, 식이섬유 등의 영양성분이 풍부하다(1,2). 현미에는 감마오리자놀( $\gamma$ -oryzanol), 옥타코사놀(octacosanol), phytosterol ( $\beta$ -sitosterol),  $\gamma$ -aminobutyric acid (GABA), tocopherol, tocotrienol 등의 생리활성물질들을 풍부히 함유하고 있으며 이들 생리활성물질들은 혈당강하, 혈압상승억제, 콜레스테롤 저하, 항암성의 효과가 있는 것으로 보고되었다(3,4).

유색미의 일종인 흑미 또한 겉껍질만 제거된 상태로 백미에 비해 식이섬유 함량이 높으며, 비타민, 무기질 등의 영양소 함량이 풍부하다(5). 흑미에는 polyphenols, flavonoids, anthocyanins,

$\gamma$ -oryzanol 등 생리활성 성분들을 함유하고 있으며 이들은 생체에서 항산화 기능을 나타내는 것으로(6) 알려져 있다. 흑미의 쌀겨층에 존재하는 자홍색 색소인 anthocyanin은 cyanidin-3-glucoside, malvidin-3-glucoside와 같은 배당체를 주성분으로 구성되어 있으며 항산화활성뿐만 아니라 항균활성, 항변이원성, 혈전용해활성, 노화방지 효과 등 다양한 생리활성이 있는 것으로 보고된 바 있다(7,8). 쌀은 아밀로오스 함량에 따라 멥쌀과 찰쌀로 구분되며(9) 일반 쌀과 마찬가지로 흑미도 멥쌀과 찰쌀로 나뉘어져 있다(10).

곡류는 발아에 의해 종실에 생화학적, 이화학적 변화를 초래하여 소화율을 향상시키고 생리활성이 높아진다. 현미를 발아시킨 발아현미는 현미에 비해 조직이 연화되어 식미감이 개선되고 종실내 각종 효소가 활성화되어 건강기능성 물질의 함량이 증가하는 것으로(11) 알려져 있다. 발아현미에 대한 연구로 항산화활성 및 항산화 성분, tocopherol, tocotrienol류, squalene, phytosterol류, GABA 등 기능성물질의 함량(12,13), 발아조건 및 건조방법(14,15) 그리고 가공원료로서의 이용(16) 등 다양한 분야에서 보고되어지고 있다. 또한 발아흑미를 새로운 타입의 식체제조를 위한 잠재적 원료로의 가능성을 조사한 바 있다(17).

곡류의 발아에 따른 주요한 변화 중 하나가 hydrolytic enzyme의 함성이며 이는 곡류의 주성분인 전분을 분해하는 당화에 관여하는데(18) 이에 따라 곡류의 발아 이용은 식품, 주류 등의 가공에 널리 이용되고 있다. 본 연구는 영양기능성이 우수한 전곡립인 현미와 흑미를 이용하여 식품가공시 효소원으로서의 활용성을 모색하기 위하여 발아과정 중 전분분해 효소활성을 조사하고자 하였다.

\*Corresponding author: Young-Tack Lee, Department of Food Science and Biotechnology, Gachon University, Seongnam, Gyeonggi 461-701, Korea

Tel: 82-31-750-5565

Fax: 82-31-750-5273

E-mail: ytleee@gachon.ac.kr

Received January 22, 2013; revised April 17, 2013;

accepted April 18, 2013

## 재료 및 방법

### 재료

본 실험에 사용된 현미와 흑미는 2010년산 일반계 멥쌀 현미와 찹쌀 현미 그리고 멥쌀 흑미와 찹쌀 흑미로 농협(Seoul, Korea)에서 구입하여 4°C에서 보관하면서 실험에 사용하였다. 멥쌀 현미와 찹쌀 현미의 아밀로오스 함량은 각각 20.1 및 7.3%이었으며, 멥쌀 흑미와 찹쌀 흑미의 아밀로오스 함량은 각각 17.4 및 7.0%이었다.

### 발아현미와 흑미의 제조

정선된 현미와 흑미를 상온(25°C)에서 24시간 침지한 후 각각 20 및 30°C의 항온기에서 1-3일동안 발아시켰다. 발아과정 중의 현미와 흑미를 48시간 동결건조시킨 후 coffee grinder로 60 mesh를 통과하도록 분쇄하여 분석을 위한 시료로 사용하였다.

### $\alpha$ -Amylase 활성 측정

$\alpha$ -Amylase 활성은  $\alpha$ -amylase assay kit (Megazyme, Wicklow, Ireland)를 사용하여 McCleary와 Sheehan (19)의 Ceralpha 방법으로 측정하였다. 시료 0.5 g을 100 mL 정용플라스크에 넣고 1% sodium chloride +0.02% calcium chloride+0.02% sodium azide 용액으로 정용하였으며 20°C에서 15분동안 효소를 추출한 후 원심분리(1,000×g, 10분)하였다. BPNPG7 (blocked *p*-nitrophenyl maltoheptaoside)를 포함하는  $\alpha$ -amylase 기질용액 0.2 mL를 테스트 튜브에 넣고 희석된 효소 추출물 0.2 mL를 첨가하여 40°C에서 10분간 반응시켰으며 반응 후 생성된 *p*-nitrophenol에 의한 용액의 흡광도를 400 nm에서 측정하였다. 1 unit/g의 효소활성은 1분동안 BPNPG7로부터 *p*-nitrophenol 1 micromole을 생성하는데 필요로 하는 효소의 양으로 정의되며 Ceralpha unit으로 표시되었다.

### $\beta$ -Amylase 활성 측정

$\beta$ -Amylase 활성은  $\beta$ -amylase assay kit (Megazyme)를 사용하여 McCleary와 Codd (20)의 Betamyl-3 방법으로 측정하였다. 0.5 g의 시료에 5.0 mL 추출 buffer를 넣고 20°C에서 1시간동안 효소를 추출하였으며 원심분리(2,000×g, 10분)하여 추출액을 분리하였다. PNP $\beta$ -G3 (*p*-nitrophenyl- $\beta$ -D-maltopentaoside)를 포함하는 기질용액 0.2 mL를 튜브에 넣고 효소추출액 0.2 mL를 첨가한 후 40°C에서 10분간 반응시켰으며 3.0 mL의 반응중결시약을 넣고 튜브 내용물을 저어주었다. 반응후 생성된 *p*-nitrophenol에 의한 색의 발현은  $\beta$ -amylase에 의한 maltose의 생성속도와 직접적인 관련이 있으며 이에따른 반응 내용물의 흡광도를 400 nm에서 측정하였다. 1 unit/g의 효소활성은 1분동안 PNP $\beta$ -G3로부터 *p*-nitrophenol 1 micromole을 생성하는데 필요로 하는 효소의 양으로 정의되며 Betamyl-3 unit으로 표시되었다.

### Diastatic Power 측정

발아현미와 흑미의 Diastatic Power는 AACCB방법(21) 22-16에 준하여 측정하였다. 시료 5 g ( $\pm 0.01$  g)을 E-flask에 넣고 증류수 100 mL를 넣은후 20°C로 유지된 항온수조에 2시간 반 동안 20분 간격으로 매우 조심스럽게 돌려서 저어주며 추출한 다음 여과하였다. 2 mL의 추출물을 20°C로 유지된 100 mL 전분용액(2%, w/v)에 넣고 혼합하여 30분동안 반응시켰으며 10 mL의 0.5 N NaOH 용액을 넣어 잘 혼합하였다. 발아전곡류 추출물에 의해 분해된 전분용액 5 mL를 취해 10 mL alkaline ferricyanide 시약을 첨가하여 반응시키고 요오드 적정법에 의해 0.05 N sodium thio-

sulfate 용액으로 적정하여 산출하였다.

### Rapid Visco-Analyzer 측정

발아현미와 발아흑미의 호화양상을 신속점도측정계(Rapid Visco-Analyzer, Newport Scientific, Sydney, Australia)로 점도변화를 측정하였다. 즉, 가루시료 3.5 g (14% moisture basis)을 증류수에 분산시켜 25 mL로 조제한 시료를 RVA cup에 넣고 50°C에서 1분간 유지한 후 분당 12.16 속도로 95°C까지 증가시켰으며 95°C에서 2.5분간 유지시킨 후 다시 11.84의 속도로 50°C로 냉각시켜 측정하였다. 이로부터 호화개시온도(initial pasting temperature), 최고점도(peak viscosity), 최저점도(trough, 95°C에서 2.5분 후의 점도), 50°C로 냉각 후의 최종점도(final viscosity)를 측정하였다.

## 결과 및 고찰

### 발아현미의 amylase 활성

현미의 발아에 따른 전분분해효소 활성(amylolytic activity)을 측정하여 가공제품에 효소원으로 활용성을 조사하였다. 20 및 30°C 발아온도에서 발아 중 멥쌀 현미와 찹쌀 현미의  $\alpha$ -amylase 활성을 측정한 결과는 Fig. 1에 나타나 있다. 발아 전의 현미에는  $\alpha$ -amylase의 활성이 거의 없으나 발아가 진행됨에 따라 증가하는 추세를 나타냈는데 20°C 보다 30°C 발아조건에서 효소활성이 높았으며 멥쌀 현미가 찹쌀 현미에 비해  $\alpha$ -amylase의 활성이 낮은 경향이였다. 현미는 발아 초기에  $\alpha$ -amylase 활성이 낮아 아주 미미하게 증가하였으나 2일에서 5일까지는 급격히 증가한다고(22) 하였다.

20과 30°C 발아온도에서 발아 중 현미의  $\beta$ -amylase 활성을 나타낸 결과는 Fig. 2와 같다. 현미는 발아 중에  $\beta$ -amylase 활성이 아주 미미하게 증가하였으며, 찹쌀 현미가 멥쌀 현미에 비해 활성이 약간 높게 나타났다. 보리의 경우에는 발아에 의해 대부분의 가수분해 효소들이 호분층과 scutellum에서 합성되는데 전분을 maltose로 분해하여 당화시키는  $\beta$ -amylase는  $\alpha$ -amylase와는 달리 미발아 곡립에서 amylolytic activity에 중요한 역할을 하며 발아와 함께 활성화되는 것으로(18) 알려져 있다. 일반적으로 곡류는 발아에 의해  $\alpha$ -와  $\beta$ -amylase를 생성하고 활성이 증가하게 되며 일정기간 이후에는 활성이 감소하는데(14), 이러한 효소활성

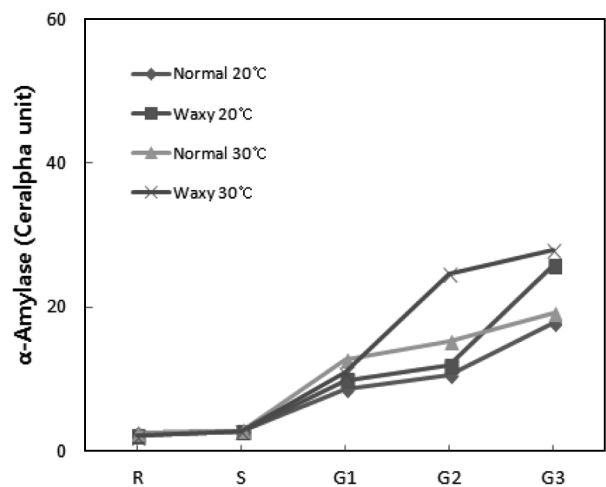


Fig. 1.  $\alpha$ -Amylase activities of normal and waxy brown rice germinated at different conditions. R=raw, S=after steeping, G=germination (day).

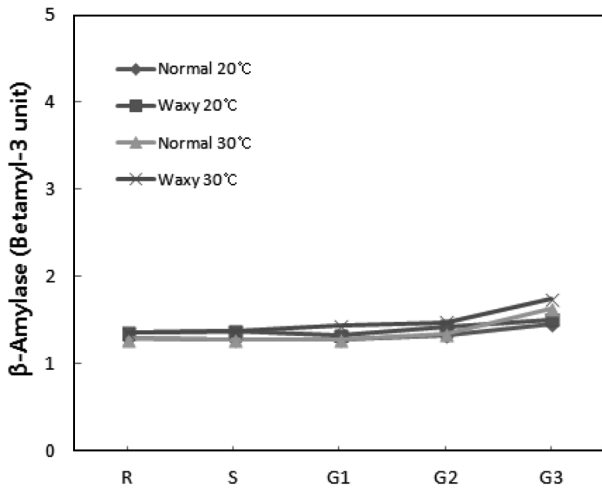


Fig. 2.  $\beta$ -Amylase activities of normal and waxy brown rice germinated at different conditions. R=raw, S=after steeping, G=germination (day).

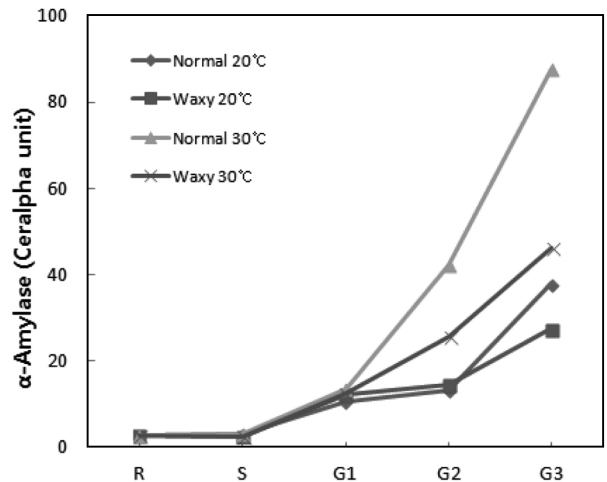


Fig. 3.  $\alpha$ -Amylase activities of normal and waxy black rice germinated at different conditions. R=raw, S=after steeping, G=germination (day).

은 곡류의 종류, 품종 및 환경조건, 발아온도, 수분 등에 따라 차이를 줄 수 있는 것으로 사료되었다.

**발아현미의 당화력**

발아조건별 현미에 대해 전분의 분해에 따른 당의 환원력을 측정하여 나타낸 발아현미의 당화력(diastatic power, DP)은 Table 1과 같다. 발아곡립에서 당화에 관여하는 효소의 활성도를 당화력(diastatic power)이라 하며 이는 주로  $\beta$ -amylase와  $\alpha$ -amylase에 기인하는 것으로 알려져 있다. 발아온도 20°C에서 1-3일 사이에 발아현미의 당화력을 측정된 결과 멥쌀 현미는 2.3에서 13.8°L로 증가하였으며 찰쌀 현미의 경우 9.2에서 16.1°L로 증가하여 찰쌀 현미의 당화력이 다소 높게 나타났다. 30°C 발아온도에서는 멥쌀 현미가 4.6에서 18.4°L, 찰쌀 현미가 13.8에서 18.4°L로 증가하여 발아온도 30°C가 20°C에 비해 당화력이 증가함을 알 수 있었다. 맥아는 전통적으로 보리를 원료로 하여 amylase 효소원으로서 맥주, 식혜, 장류, 물엿 등의 제조에 널리 사용되어 왔다. 발아에 따른 보리의 당화력은 발아조건에 따라 발아 3일에 60-90 정도로 조사한(23) 바와 비교할때 발아 현미의 amylase 활성은 발아 보리에 비해 현저히 낮았으며 이는 당화효소의 이용면에서 큰 도움이 되지 못한다는 이전의 결과(24)와 유사하게 나타났다.

**발아흑미의 amylase 활성**

발아흑미 역시 각종 영양기능성 성분뿐만 아니라 효소들의 활성화로 인해 가공제품에 그 활용도를 모색하고자 하였으며, 발아 흑미를 가공제품의 효소원으로 활용하기 위한 방안으로 발아조

건에 따른 전분분해효소 활성도 변화를 조사하였다. 20과 30°C 발아온도에서 발아 중 멥쌀 흑미와 찰쌀 흑미의  $\alpha$ -amylase 활성을 측정된 결과는 Fig. 3에 나타나 있다. 발아전의 흑미 원곡은  $\alpha$ -amylase 활성이 아주 미미하였으며 3일간의 발아 중에 흑미의  $\alpha$ -amylase 활성은 증가하였다. 멥쌀 흑미는 20°C 발아온도에서 발아 1일 10.7에서 발아 3일 38.0 Ceralph unit로 증가하였으며 30°C 발아온도에서는 발아 1일 12.4에서 발아 3일 87.9 Ceralpha unit로 보다 급격히 증가하였다. 찰쌀 흑미의 경우 발아초기에는 멥쌀 흑미와  $\alpha$ -amylase 활성이 유사하였으나 발아가 진행됨에 따라 멥쌀 흑미보다는 활성의 증가가 낮은 것으로 나타났다. 따라서 흑미의 경우에는 발아현미와 달리 멥쌀 흑미가 찰쌀 흑미에 비해 발아과정 중  $\alpha$ -amylase의 활성이 높았다.  $\alpha$ -Amylase 활성은 발아시간, 침지 정도, 발아온도가 증가함에 따라 증가한다고 보고한 바 있다(25). 벼의  $\alpha$ -amylase 활성은 보리의 활성보다 낮은 것으로 알려져 있으며 보리의 효소 활성은 2일 후부터 4일까지 최대 효소활성을 보인다고 보고된 반면, 흑미는 발아 8일에 최대 활성을 나타낸 것으로 보고하였다(25).

20과 30°C 발아온도에서 발아 중 멥쌀 흑미와 찰쌀 흑미의  $\beta$ -amylase 활성변화를 Fig. 4에 나타내었다. 흑미 원곡은  $\beta$ -amylase 활성이 아주 미미하였고 수침 후 그리고 발아 1일까지 활성이 미약하였으나 발아 2일경부터 증가하는 추세를 보였다. 흑미는 발아가 진행됨에 따라  $\beta$ -amylase 활성이 증가하는 경향으로 30°C 발아온도가 20°C에 비해 활성이 높았으며, 찰쌀 흑미가 멥쌀 흑미에 비해 발아 중 활성의 증가가 높게 나타났다.

Table 1. Diastatic power (DP, °L) of brown rice germinated at different conditions

Germination temperature		Raw	After steeping	Germination time (day)		
				1	2	3
20°C	Normal	2.3±1.1 <sup>1)</sup>	4.6±1.6	5.8±1.0	11.5±1.9	13.8±1.8
	Waxy	6.9±2.7	9.2±1.9	9.2±2.2	13.8±3.7	16.1±0.9
30°C	Normal	2.3±1.1	6.9±1.9	9.2±1.1	13.8±1.6	18.4±1.3
	Waxy	2.3±2.7	6.9±1.9	13.8±0.7	16.1±0.8	18.4±1.4

<sup>1)</sup>Values are mean±SD of triplicate analyses.

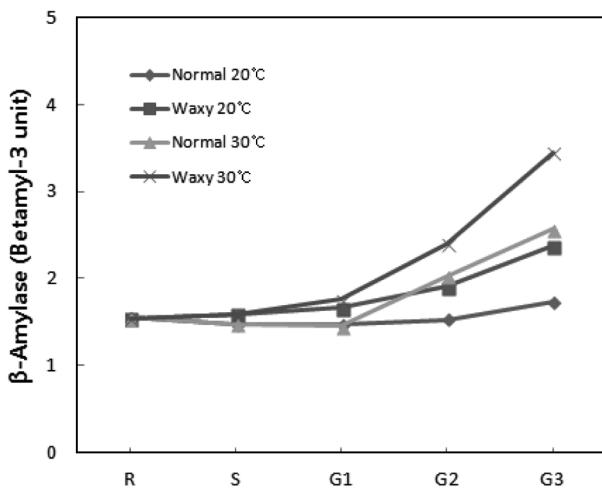


Fig. 4.  $\beta$ -Amylase activities of normal and waxy black rice germinated at different conditions. R=raw, S=after steeping, G=germination (day).

#### 발아흑미의 당화력

발아과정 중의 흑미에 대해 전분의 분해에 따른 당의 환원력을 측정하여 나타낸 발아흑미의 당화력은 Table 2와 같다. 흑미 원곡의 당화력은 6.9 $\pm$ 1.9<sup>1)</sup>이었고 수침후 흑미의 9.2 $\pm$ 1.9로 증가하기 시작하여 20 $^{\circ}$ C 발아 1-3일 사이에 멍쌀 흑미는 11.5에서 18.4 $\pm$ 로 증가하였으며 찰쌀 흑미는 16.1에서 20.7 $\pm$ 로 증가하여 찰쌀 흑미의 당화력이 다소 높은 것으로 분석되었다. 30 $^{\circ}$ C 발아 1-3일 사이에서는 멍쌀 흑미가 13.8에서 18.4 $\pm$ 로, 찰쌀 흑미가 13.8에서 25.3 $\pm$ 로 증가하여 발아온도 30 $^{\circ}$ C가 20 $^{\circ}$ C에 비해 당화력이 증가함을 보여주었다. 앞서 발아현미와 비교해 볼 때 같은 발아조건에서 흑미의 발아 중 당화효소 활성도가 현미보다 약간 높게 나타남을 알 수 있었다. 그러나 흑미 역시 발아보리에 비해서는

당화력이 낮은 것으로 나타났으며, 발아흑미를 효소원으로 활용하기 위해서는 발아보리 이용시에 일부 대체하여 사용하는 것이 바람직할 것으로 판단되었다.

#### 발아전곡미의 호화특성

현미 원곡과 발아조건별 멍쌀 현미와 찰쌀 현미의 호화양상을 신속점도측정기(RVA)로 측정된 결과는 각각 Table 3과 4에 나타나 있다. 원곡 현미의 호화개시온도는 멍쌀 현미(74.2 $^{\circ}$ C)가 찰쌀 현미(70.3 $^{\circ}$ C)에 비해 높았다. 발아일수에 따른 발아현미의 호화개시온도는 멍쌀 현미 70.9-73.3 $^{\circ}$ C, 찰쌀 현미 50.3-70.3 $^{\circ}$ C 범위로 현미 원곡에 비해 낮아졌으며, 이는 호화온도에서 전분입자의 결정성을 잃게되는데 발아 중에 생성되는 효소의 활성이 전분입자의 호화개시온도를 낮추는 한가지 요인이기 때문으로 판단되었다. 현미 원곡의 최고점도, breakdown, 최종점도 등 전체적인 RVA 호화점도는 멍쌀 현미가 찰쌀 현미보다 현저히 높게 나타났다. 발아조건에 따른 발아현미의 RVA 점도는 발아기간이 1-3일 경과함에 따라 감소하였으며 30 $^{\circ}$ C 발아현미가 20 $^{\circ}$ C 발아현미에서 보다 점도가 낮게 나타났다. 전곡립 분말은 가열에 의해 주성분인 전분의 호화에 따라 점도가 상승하지만 전분 slurry의 가열에 의해 전분호화뿐만 아니라 동시에 발아현미에 생성된 효소활성으로 전분을 분해하여 점도의 감소를 초래하게 된다. 이에 따라 발아에 따른 현미의 효소활성도가 증가함에 의해 RVA에 의한 점도감소를 확인할 수 있었다. 또한 찰쌀 발아현미가 멍쌀 발아현미에 비해 RVA 점도의 감소 폭이 큰 것으로 나타나(Fig. 5) 찰쌀 현미의 전분분해 효소활성이 멍쌀 현미에 비해 약간 높게 나타난 결과와 일치하는 것으로 확인되었다.

한편 발아현미에서와 마찬가지로 발아흑미에서도 발아기간이 증가함에 따라 효소활성도가 증가하여 RVA 점도가 감소함을 확인하였다. 그러나 발아흑미는 발아현미에 비해 RVA 점도가 현저히 낮았으며 발아에 따른 발아흑미의 점도가 현저히 감소하여 신속점도측정기가 측정하여 기록하기에도 너무 낮은 것으로 나타

Table 2. Diastatic power (DP,  $^{\circ}$ L) of black rice germinated at different conditions

Germination temperature		Raw	After steeping	Germination time (day)		
				1	2	3
20 $^{\circ}$ C	Normal	6.9 $\pm$ 1.9 <sup>1)</sup>	9.2 $\pm$ 1.8	11.5 $\pm$ 0.7	13.8 $\pm$ 4.5	18.4 $\pm$ 1.8
	Waxy	6.9 $\pm$ 1.2	9.2 $\pm$ 1.9	16.1 $\pm$ 1.2	18.4 $\pm$ 1.7	20.7 $\pm$ 1.9
30 $^{\circ}$ C	Normal	6.9 $\pm$ 1.9	9.2 $\pm$ 1.8	13.8 $\pm$ 1.4	16.1 $\pm$ 0.6	20.7 $\pm$ 2.5
	Waxy	6.9 $\pm$ 1.2	9.2 $\pm$ 1.9	13.8 $\pm$ 1.1	20.7 $\pm$ 1.6	25.3 $\pm$ 2.6

<sup>1)</sup>Values are mean $\pm$ SD of triplicate analyses.

Table 3. RVA pasting properties of normal brown rice during 3-day germination period

Normal brown rice	Pasting temp. ( $^{\circ}$ C)	Viscosity (RVU)					
		Peak	Trough	Breakdown	Final viscosity	Setback	
Raw	74.15 <sup>1)</sup>	200.17	129.67	70.50	258.83	58.66	
20 $^{\circ}$ C	G1 <sup>2)</sup>	71.70	187.33	72.75	114.58	145.50	-41.83
	G2	70.95	110.17	24.58	85.58	58.42	-51.75
	G3	70.90	76.17	10.75	65.42	31.17	-45.00
30 $^{\circ}$ C	G1	71.80	100.92	23.33	77.58	61.92	-39.00
	G2	73.35	44.67	2.25	42.42	13.33	-31.34
	G3	73.35	29.25	0.33	28.92	5.50	-23.75

<sup>1)</sup>Values are means of duplicate analyses.

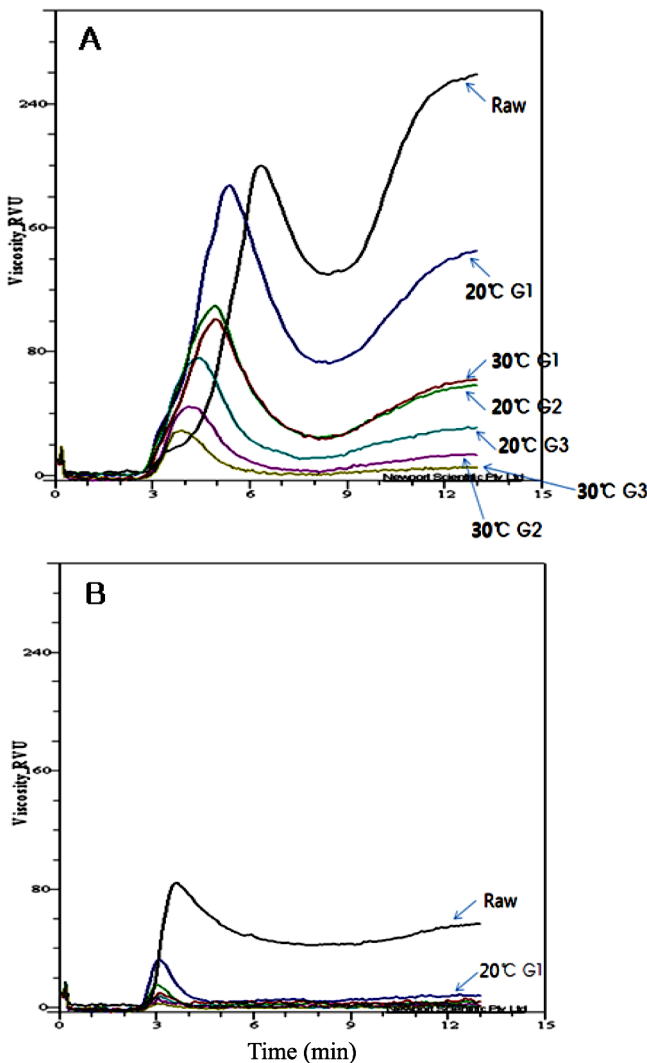
<sup>2)</sup>G=germination (day).

**Table 4. RVA pasting properties of waxy brown rice during 3-day germination period**

Waxy brown rice	Pasting temp (°C)	Viscosity (RVU)					
		Peak	Trough	Breakdown	Final viscosity	Setback	
Raw	70.25 <sup>1)</sup>	84.33	42.17	42.17	56.83	-27.50	
20°C	G1 <sup>2)</sup>	67.70	32.42	3.92	28.50	8.08	-24.34
	G2	69.40	15.42	1.42	14.00	3.83	-11.59
	G3	63.50	8.17	0.25	7.92	0.75	-7.42
30°C	G1	70.15	9.83	2.08	7.75	3.83	-6.00
	G2	70.25	6.25	0.08	6.17	1.25	-5.00
	G3	50.30	2.75	0.25	2.50	0.50	-2.25

<sup>1)</sup>Values are means of duplicate analyses.

<sup>2)</sup>G=germination (day).



**Fig. 5. RVA pasting properties of brown rice during 3-day germination period. A; normal brown rice, B; waxy brown rice.**

났다. 전반적으로 발아흑미가 동일한 발아조건에서 발아현미에 비해 hydrolytic activity가 높은 것으로 분석되어 식품가공용 당화 과정에 유리할 것으로 판단되었으며, 제빵, 양조 등에 일반적으로 사용되는 발아보리(맥아)에 일부 부분적인 대체가 가능할 것으로 생각되었다.

**요 약**

영양기능성이 우수한 전곡립인 현미와 흑미를 이용하여 발아 조건에 따른 전분분해효소 활성도 변화를 조사하였다. 현미의  $\alpha$ -amylase 활성은 3일간 발아과정 중 증가하였으며 찹쌀 현미가 멥쌀 현미에 비해 높게 나타났다. 흑미의  $\alpha$ -amylase 활성 역시 3일간 발아가 진행됨에 따라 계속 증가하였으며 현미와는 달리 멥쌀 흑미가 찹쌀 흑미에 비해 높았다. 현미와 흑미의  $\beta$ -amylase는 3일간의 발아 중 다소 미미하게 증가하였으며 찹쌀 현미와 흑미에서 높게 나타났다. 현미와 흑미의 발아과정 중  $\alpha$ -amylase와  $\beta$ -amylase 활성은 발아온도 30°C가 20°C에서 보다 높게 나타났다. 당화에 관여하는 효소의 활성도를 총칭하는 당화력은 찹쌀 현미와 흑미가 멥쌀에 비해 다소 높았으며 30°C 발아온도에서 보다 높게 나타났다. 발아조건에 따른 발아 전곡립의 호화양상을 신속 점도측정계로 측정된 결과 RVA 점도는 발아기간이 1-3일 경과함에 따라 감소하였으며 발아 전곡립 효소활성도가 증가함에 따른 RVA의 점도감소를 확인할 수 있었다.

**감사의 글**

본 연구는 농림수산식품부 농림기술개발사업의 연구비 지원에 의해 수행된 결과로 이에 감사드립니다.

**References**

1. Champagne ET, Wood DF, Juliano BO, Bechtel DB. The rice grain and its gross composition. pp. 93-96. In: Rice Chemistry and Technology. Champagne ET (ed). AACC, St. Paul, MN, USA (2004)
2. Choe JS, Ahn HH, Nam HJ. Comparison of nutritional composition in Korean rices. J. Korean Soc. Food Sci. Nutr. 31: 885-892 (2002)
3. Lin PY, Lai HM. Bioactive compounds in rice during grain development. Food Chem. 127: 86-93 (2011)
4. Liu RH. Whole grain phytochemicals and health. J. Cereal Sci. 46: 207-219 (2007)
5. Defa G, Meiyu X. A study on special nutrient of purple glutinous rice. Scientia Agric. Sinica 25: 36-41 (1992)
6. Fardet A, Rock E, Remesy C. Is the *in vitro* antioxidant potential of whole-grain cereals and cereal products well reflected *in vivo*? J. Cereal Sci. 48: 258-276 (2008)
7. Tsuda T, Watanabe M, Ohshima K, Norinobu S, Choi SW, Kawakishi S, Osawa T. Antioxidative activity of the anthocyanin pigments cyanidin 3-O- $\beta$ -D-glucoside and cyanidin. J. Agr. Food Chem. 42: 2407-2411 (1994)
8. Ichikawa H, Ichiyanagi T, Xu B, Yoshii Y, Nakajima M, Konishi

- T. Antioxidant activity of anthocyanin extract from purple black rice. *J. Med. Food* 4: 211-218 (2001)
9. Wilkinson HC, Champagne ET. Value-added rice products. pp. 474-475. In: *Rice Chemistry and Technology*. Champagne ET (ed). AACC, St. Paul, MN, USA (2004)
  10. Ha TY, Park SH, Lee CH, Lee SH. Chemical composition of pigmented rice varieties. *Korean J. Food Sci. Technol.* 31: 336-341 (1999)
  11. Kum JS, Choi BK, Lee HY, Park JD, Park HJ. Physicochemical properties of germinated brown rice. *Korean J. Food Preserv.* 11: 182-188 (2004)
  12. 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)
  13. Moongngarm A, Saetung N. Comparison of chemical compositions and bioactive compounds of germinated rough rice and brown rice. *Food Chem.* 122: 782-788 (2010)
  14. Kim SL, Son YK, Son JR, Hur HS. Effect of germination and drying methods on physicochemical properties of sprouted brown rice. *Korean J. Crop Sci.* 46: 221-228 (2001)
  15. Lee J, Lim KT, Hong JH, Rhee CO, Choi YS, Lee YB, Choi SM, Chung JH. Effects of germinating types of water-soaking and air-exposure and chitosan treatment on brown rice germination. *J. Biosystems Eng.* 31: 363-368 (2006)
  16. Kim SS, Lee WJ. Characteristics of germinated rice as potential raw material for *sikhe* production. *Korean J. Food Sci. Technol.* 29: 101-106 (1997)
  17. Kim SS, Kim SY, Lee WJ. Characteristics of germinated colored rice as potential raw material for *sikhe*. *Korean J. Food Sci. Technol.* 30: 1092-1096 (1998)
  18. Fincher GB, Stone BA. Physiology and biochemistry of germination in barley. pp. 264-266. In: *Barley Chemistry and Technology*. MacGregor AW, Bhatti RS (ed). AACC, St. Paul, MN, USA (1993)
  19. McCleary BV, Sheehan H. Measurement of cereal  $\alpha$ -amylase: A new procedure. *J. Cereal Sci.* 6: 237-251 (1987)
  20. McCleary BV, Codd R. Measurement of  $\beta$ -amylase in cereal flours and commercial enzyme preparations. *J. Cereal Sci.* 9: 17-33 (1989)
  21. AACC. Approved Methods of the AACC. 10<sup>th</sup> ed. Method 22-16. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN, USA (2000)
  22. Mohan BH, Malleshi NG, Koseki T. Physico-chemical characteristics and non-starch polysaccharide contents of Indica and Japonica brown rice and their malt. *LWT-Food Sci. Technol.* 43: 784-791 (2010)
  23. Lee YT, Mok C. Activities of hydrolytic enzymes in barley malts prepared under different germination conditions. *J. Korean Soc. Agric. Chem. Biotechnol.* 42: 324-329 (1999)
  24. Lee WJ, Kim SS. Preparation of *sikhe* with brown rice. *Korean J. Food Sci. Technol.* 30: 146-150 (1998)
  25. Usansa U, Burberg F, Geiger E, Back W, Wanapu C, Arendt EK, Kreis S, Boonkerd N, Teamroong N, Zarnkow M. Optimization of malting conditions for two black rice varieties, black non-waxy rice and black waxy rice (*Oryza sativa* L. Indica). *J. I. Brewing* 117: 39-46 (2011)