

## 발아 거대배아미의 당화력 및 전분입자의 이화학적 특성

강미영 · 이연리 · 남석현<sup>1,\*</sup>

경북대학교 식품영양학과, <sup>1</sup>아주대학교 생명과학과

(2003년 3월 3일 접수, 2003년 7월 2일 수리)

메품종의 거대배아미인 화청거대배아미, 남풍거대배아미, 그리고 찰품종인 화청찰거대배아미, 신선찰거대배아미 등 4품종의 거대배아미 품종의 벼씨를 각각 27°C에서 3일간 발아시켜, 발아에 따른 전분 가수분해 효소의 활성 및 전분입자의 이화학적 특성을 각각 비교하였다. 3일간 발아시킨 벼의  $\alpha$ -amylase의 활성은 맥아에 비해서 활성이 높게 나타났으며, 특히 화청거대배아미 및 신선찰거대배아미는 맥아보다 약 2배 정도의 활성을 나타내고 있었다. 이에 비해서  $\beta$ -amylase의 경우는 일반품종보다는 거대배아미품종의 활성이 높기는 하지만 비교군인 맥아에 비해서 상당히 낮은 활성을 나타내고 있었다. 전분분자 중 아밀로오스 분자 유래의 긴 포도당 사슬의 양은 발아와 더불어 메품종 거대배아미에서는 줄어들고 있었으며, 찰품종에서는 증가하고 있었다. 아밀로펙틴 분자 유래의 포도당 사슬길이 분포는 찰벼와 메벼 품종에 관계없이 발아와 더불어 중합도가 14부터 66까지 비율은 증가하고 있었으며, 중합도 130 이상 또는 13 이하의 비율은 감소하고 있었다. Glucoamylase에 의한 가수분해도는 거대배아미 메품종의 경우에는 발아와 더불어 현저히 낮아지고 있었고, 찰품종의 경우에는 오히려 증가하고 있었다. 그리고 호화개시온도, 호화종료 및 호화엔탈피는 감소하고 있었다.

**Key words:** 발아, 거대배아미, 전분 가수분해효소, 아밀로오스, 아밀로펙틴, 가수분해도, 호화특성

### 서 론

쌀의 품종육종에 관한 연구는 여러 연구자들에 의해서 의욕적으로 진행되어서 저아밀로오스,<sup>1)</sup> 고아밀로오스,<sup>2)</sup> 분상질, 고당미,<sup>3)</sup> 고단백,<sup>4)</sup> 고라이신<sup>5)</sup> 품종 등 다양한 미질 변이체들이 유기되어 쌀 품종 및 용도의 다양화에 기여할 품종들이 육종 개발되어 있으며, 영양성분 중 양질의 단백질과 비타민 그리고 필수지방산이 종실의 어느 부분보다도 다량 축적되어 있는 배아의 크기가 큰 거대배 변이체<sup>6,7)</sup> 등도 개발되었다. 이러한 거대배아미는 배아의 크기가 큰 만큼 배유가 위축된 상태이므로 배유의 등숙상태가 원품종에 비해서 다소 충실하지 못한 경향이 있다. 그러므로 취반용 보다는 가공식품의 형태로 이용하는 것이 바람직한 쌀 품종이다.

한편 식물종자는 알맞은 물, 산소, 온도가 주어지면 발아하며, 발아가 진행됨에 따라 생리적 활성이 증대되고 성분의 변화가 일어나기 때문에 발아에 의한 영양소의 유효도를 극대화하기 위한 연구들이 활발하게 이루어져서, 유채, 대두, 녹두 등의 두류와 보리 옥수수 등의 곡류를 중심으로 발아 중 영양성분인 단백질과 아미노산,<sup>8,9)</sup> 지방산,<sup>10,11)</sup> 탄수화물,<sup>12)</sup> 무기질,<sup>13)</sup> 비타민<sup>9,10)</sup> 및 효소활성<sup>12)</sup> 변화, 트립신 저해제<sup>14)</sup>나 피틴산<sup>15,16)</sup> 등의 변화에 관한 연구들이 보고되었다. 벼도 발아와 더불어 특수성분으로서 아라비녹실란, 감마아미노낙산 등의 성분이 증가한다.<sup>17,18)</sup> 본 연구는 거대배아미를 건강 기능성 식품 제조용 신소재로서 개발하기 위한 기초적인 연구의 일환으로서 우선

발아 거대배아미를 쌀 가공식품 제조용 스타터(맥아와 같은 용도)로서의 이용가능성을 검정하고, 동시에 가공식품의 형태로 이용하기 위해서는 역시 주성분인 전분입자의 발아에 따른 이화학적 특성 변화를 검토하여야 할 필요성이 있다고 생각되기 때문에, 거대배아미 4품종을 시료로, 27°C에서 3일간 발아시킨 발아거대배아현미로부터 조효소액과 전분입자를 각각 제조하여 품종별 현미의 발아에 따른 조효소액의 전분 가수분해력 및 발아 거대배아미 전분입자의 이화학적 특성을 각각 비교하였다.

### 재료 및 방법

**재료.** 화청거대배아미, 남풍거대배아미 등의 메품종 거대배아미 2종류와 화청찰거대배아미, 신선찰거대배아미 등 찰품종 거대배아미 2종류를 서울대학교 육종학연구실로부터 제공받아 실험에 사용하였으며, 메품종의 비교군은 화청벼와 남풍벼를 찰품종의 비교군으로는 화청찰벼와 신선찰벼를 사용하였다. 그리고 맥이는 시판품을 농협으로부터 구입하여 사용하였다.

**발아거대배아미의 당화력 측정.** 3일간 발아시킨 발아현미를 동결건조 시킨 분말 0.1g에 50 mM malate-50 mM NaCl-2 mM CaCl<sub>2</sub>-3 mM NaN<sub>3</sub>(pH 5.2) 1ml를 첨가하여 실온에서 2시간 동안 진탕 추출하고, 10,000 rpm으로 원심분리 한 후의 상등액을 crude  $\alpha$ -amylase 효소액으로 하고, 이것을 동량의 기질용액(조성: 4 mM BPNPG<sub>3</sub>,  $\alpha$ -glucosidase 2 units, glucoamylase 2 units)과 혼합하여 40°C에서 반응시킨 후 1% Trizma base 1 ml를 첨가하여 410 nm에서의 OD를 측정하고,  $\alpha$ -amylase 활성도/g flour = 410 nm에서의 OD × 0.0955의 식에 의해서 계산하였다.<sup>19)</sup> 이때,  $\alpha$ -amylase 1 unit는 상기의 조건에

\*연락처

Phone: 82-31-219-2619; Fax: 82-31-219-1615

E-mail: shnam@ajou.ac.kr

서 1분간에 1  $\mu\text{mol}$ 의 PNPG<sub>5</sub>를 유리시키는 효소의 양이다. 또한 3일간 발아시킨 발아현미를 동결건조 시킨 분말 0.1 g에 100 mM malate-1 mM EDTA-1 mg/ml BSA-30 mM NaN<sub>3</sub>(pH 6.2)의  $\beta$ -amylase 추출 buffer 1 ml를 첨가하여 실온에서 2시간 동안 진탕 추출하고, 10,000 rpm으로 원심분리 한 후의 상등액을 crude  $\beta$ -amylase 효소액으로 하고, 이것을 약 500배 희석시킨 희석액에 동량의 기질용액(조성; 5 mM BPNPG<sub>3</sub>,  $\alpha$ -glucosidase 20 units)과 혼합하여 40°C에서 반응시킨 후 1% Trizma base 3 ml를 첨가하여 410 nm에서의 OD를 측정하고,  $\beta$ -amylase활성도/g flour = 410 nm에서의 OD  $\times$  447.5의 식에 의해서 계산하였다.<sup>20)</sup> 이때,  $\beta$ -amylase 1 unit는 상기의 조건에서 1분간에 1  $\mu\text{mol}$ 의 PNPG<sub>5</sub>를 유리시키는 효소의 양이다.

**전분시료의 조제.** 발아 및 미발아 현미를 각각 50 mM LiOH에서 14시간 침적시킨 후, 막자사발로 곱게 갈아서 isoamyl alcohol, acetone, ethyl alcohol의 순서로 단백질을 및 지질 분해를 제거시키고 물로 잘 수세한 후, 전분 침전물을 얻어 풍건시켜서 데시케이터에 보관하면서 사용하였다.

**전분-I<sub>2</sub> 정색반응.** 전분시료를 1 N NaOH에 의해서 알칼리 호화 시킨 후, acetic acid 로 중화시켜, 전분 1 mg당 1% I<sub>2</sub>-10% KI 0.2 ml를 첨가하여 정색반응 시켜서 분광광도계에 의해서 500 nm에서 부터 700 nm 까지의 흡광도를 측정하였으며, 680 nm에서의 흡광도인 청가를 시료별로 비교함으로써 품종간 전분분자 중의 아밀로오스 chain의 길이 및 함량의 차이를 비교하였다.

**전분의 포도당 사슬길이 분포 비교.** 전분시료 30 mg을 1 N NaOH에 의해서 알칼리 호화 시키고 중화시킨 후, isoamylase (EC 3.2.1.168, Sigma) 750 units 첨가하여 40°C에서 24시간 반응시킴으로써 전분분자의 포도당간의 결합을 가수분해시킨 후, 이 용액에 에탄올(특급)을 첨가하여 효소 반응을 불활성화 시키고 감압건조 함으로써 전분분자 중  $\alpha$ -1,6결합을 가수분해시킨 debranched 전분분해를 얻는다. 이러한 debranched 전분분자들의 포도당 사슬길이의 분포를 분석하기 위해서 Tosoh TSK-gel G2000PW(7.5  $\times$  300 mm)와 G3000PW(7.5  $\times$  300 mm) 2개를 연결시킨 column을 사용하여, 용출용매; 0.1 M 인산buffer(pH 6.0)-0.02% NaN<sub>3</sub>-1.5% CH<sub>3</sub>CN, chart speed; 1 mm/min, running time; 30 min의 조건에서 HPLC chromatogram을 각각 얻는다. 포도당 사슬의 분자량은 pullulan standard(Shodex standard P-82, MW: 112,000, 22,800, 5,900) 및 ethylenglycol

(MW: 62)를 marker로 사용하여 측정하였다.

**전분의 Glucoamylase에 의한 가수분해도 비교.** 전분 시료 100 mg을 0.4 M acetate buffer(pH 4.8)에 현탁시켜 glucoamylase (EC 3.2.1.3, Sigma) 35 units를 첨가하여 37°C에서 반응하였다. 반응액으로부터 100  $\mu\text{l}$ 씩 경시적으로 채취하여 열탕 처리에 의하여 가수분해 반응의 정지와 더불어 전분을 호화시킨 다음, total sugar의 함량은 phenol-H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>법으로, 그리고 가수분해되어 유리되는 glucose의 함량은 glucose-oxidase peroxidase 법으로 각각 측정하여 가수분해도를 산출하였다.

**전분입자의 호화양상 비교.** 시차주사열량계(DSC)를 사용하여, 알루미늄팬에 전분(1): 물(2)의 비율로 담아 25°C에서 95°C까지 10°C/min으로 승온에 따른 DSC thermogram으로부터 호화 개시온도, 호화 최대온도, 호화 종결온도 및 호화 엔탈피를 각각 산출하였다.

## 결과 및 고찰

**발아에 따른 거대배아미 품종간의 가수분해도 비교.** 거대배아미 4품종으로 각각 3일간 발아시켜 이들의 발아에 따른 전분 가수분해 활성도를 비교하기 위해서  $\alpha$ -amylase와  $\beta$ -amylase의 활성을 각각 비교하였다. 발아에 따른 이들 거대배아미 효소활성의 비교군으로는 시판 맥아(엿기름) 및 일반품종의 멥쌀 및 찰쌀을 사용하였다. Table 1에서 알 수 있듯이 3일간 발아시킨 벼의  $\alpha$ -amylase의 활성은 멥쌀종벼는 시판 맥아와 비슷한 정도이었고, 찰쌀종벼는 시판 맥아보다 활성이 높았으며, 거대배아미 품종들은 품종간에 차이는 있으나 찰쌀종 멥쌀종에 관계없이 일반 품종들 보다 높았다. 특히 화청거대배아미와 신선찰거대배아미의 경우에는 3일간 발아시킨 후의  $\alpha$ -amylase의 활성이 상당히 높아서 비교군인 맥아보다 약 2배 정도의 활성을 나타내고 있었다. 이에 비해서  $\beta$ -amylase의 경우는 거대배아미품종들이 일반품종들에 비해서, 그리고 멥벼 품종보다는 찰벼 품종들의 활성이 높은 경향은 있으나 비교군인 맥아에 비해서는 상당히 낮은 활성을 나타내고 있었다.

이러한 결과들로 미루어 볼 때, 쌀 가공 식품 제조시 쌀전분의 액화용으로는 거대배아미쌀을 발아시킨 것은 발아거대배아미가 효율적으로 사용할 수 있으리라 사료되지만, 당화용으로는 역시 맥아에 비해서 적합하지 않은 듯 하다. 장차 발아에 따른  $\beta$ -amylase의 활성이 높은 품종의 쌀을 개발하여 다양한

Table 1. Changes of diastatic activity for 3 days germination

Rice varieties	Diastatic activity			
	$\alpha$ -Amylase (units/g-flour) (%)		$\beta$ -Amylase (units/g-flour) (%)	
Malt	0.945 $\pm$ 0.050	100	537.0 $\pm$ 4.518	100
Normal type (non waxy rice)	0.962 $\pm$ 0.064	102	135.9 $\pm$ 2.745	25.3
Whachung-ge <sup>1)</sup>	1.865 $\pm$ 0.163	197	170.1 $\pm$ 2.339	31.7
Nampung-ge	1.233 $\pm$ 0.024	131	151.1 $\pm$ 0.358	28.1
Normal type (waxy rice)	1.293 $\pm$ 0.140	137	161.3 $\pm$ 2.804	30.0
Whachungchal-ge	1.430 $\pm$ 0.062	151	222.2 $\pm$ 2.043	41.4
Shinsunchal-ge	1,870 $\pm$ 0.026	199	214.2 $\pm$ 2.339	39.9

<sup>1)</sup>ge means giant embryonic rice

**Table 2. Amylose contents and wavelength in  $\lambda_{max}$  of iodine absorption of starches in endosperm mutants of rice**

Rice varieties		Blue value (A680 nm)	$\lambda_{max}$ (nm)	Absorbance at $\lambda_{max}$
Normal type (nonwaxy rice)	N <sup>2)</sup>	0.509	585.0	0.492
	G <sup>3)</sup>	0.249	600.0	0.418
Whachung-ge <sup>1)</sup>	N	0.332	583.5	0.430
	G	0.215	590.0	0.381
Nampung-ge	N	0.249	571.0	0.353
	G	0.240	590.0	0.368
Glutinous type (waxy rice)	N	0.119	556.0	0.293
	G	0.203	530.0	0.342
Whachungchal-ge	N	0.079	532.5	0.232
	G	0.224	530.0	0.344
Shinsunchal-ge	N	0.078	532.0	0.231
	G	0.172	530.0	0.332

<sup>1)</sup>giant embryonic rice, <sup>2)</sup>not germinated rice, <sup>3)</sup>germinated rice

종류의 쌀가공 식품에 적용하기 위한 연구는 장차 계속되어야 할 것이라고 생각한다.

**전분-I<sub>2</sub> 정색반응.** 일반적으로 쌀가공 식품의 물성에는 구성 전분의 호화 및 노화에 따른 물성의 변화가 식품의 조직감에 미치는 영향이 크며, 특히 구성 전분 중 아밀로오스 함량 및 아밀로오스를 구성하는 포도당 중합사슬의 길이인 쇄장 길이가 영향을 미친다고 알려져 있다. 그러므로 본 연구에서는 발아거대배아미를 기능성 쌀가공 식품의 소재로써 이용하기 위한 기본적인 검토로써 우선 발아에 따른 거대배아미 품종의 아밀로오스 분획 함량 변화 및 아밀로오스를 구성하는 포도당의 쇄장 길이 변화를 전분-I<sub>2</sub> 복합체 형성에 기인하는 정색 반응물의 680 nm에서의 흡광도인 청가(blue value)와 500 nm에서부터 700 nm까지의 최대흡수파장 및 최대 흡수파장에서의 흡광도 비교에 의해서 각각 비교하였다. Blue value(청가)는 일반적으로 아밀로오스 함량을 나타내는데 쓰이는 지표이고, 최대흡광도를 나타내는 파장의 차이는 아밀로오스 분자의 chain length 길이와 관련이 있다고 여겨지는 사항이며, 최대 흡광도를 나타내는 파장에서의 흡광도가 높다는 것은 유사한 chain length의 것들이 중첩되어 있음을 뜻한다고 할 수 있다는 점에서 배유 전분분자 중 아밀로오스 분자 유래의 긴 포도당 사슬의 구조적인 차이를 반영하는 지표로서 사용하기<sup>21-23)</sup> 때문이다.

Table 2에서 알 수 있듯이 우선 거대배아미 품종들은 일반 품종들에 비해서 청가가 낮아 아밀로오스 함량이 낮은 것을 알 수 있고, 멥쌀 품종은 발아와 더불어 청가가 감소하는데, 그 감소의 정도가 일반품종에 비해서 거대배아미 품종들이 낮아 아밀로오스 유래의 긴 사슬의 양은 줄어들고 있음을 알 수 있었으며, 이에 비해서 찰벼 품종은 발아와 더불어 포도당 사슬의 길이가 증가하고 있으며, 그 증가의 정도가 일반품종에 비해서 거대배아미 품종이 큰 것을 알 수 있다. 그리고 전분-I<sub>2</sub> 정색반응의 최대흡광도 파장은 멥벼품종의 경우에는 발아와 더불어 일반품종이나 거대배아미 품종 모두 장파장쪽으로 이동하는 경향이 있었으나, 찰벼품종의 경우에는 일반품종은 단파장 쪽으로 이동하는데 비해서 거대배아미 품종들은 파장의 이동이 없음을 알 수 있다. 최대 흡수 파장에서의 흡광도 또한 청가와

유사한 경향이 있어 멥쌀 품종에서는 감소하고 있었으며, 찰쌀 품종에서는 증가하고 있었다. 일반적으로 전분질 식품의 노화에는 구성 전분분자 중 아미로오스의 함량이 높을수록 노화도가 크다는 점을 감안한다면, 멥쌀종 거대배아미 경우에는 발아시킨 후에 제조하는 가공식품의 노화도는 낮아질 수 있는 가능성이 크기 때문에 쌀가공 식품의 제조에 바람직한 방법이 되리라 생각된다. 이에 비해서 찰벼종 거대배아미의 경우에는 반대의 경향을 가지므로 이러한 특성을 잘 반영시킬 수 있는 종류의 쌀가공 식품 제조에 대한 연구가 필요하리라 생각된다.

**전분분자의 포도당 사슬길이 분포.** 현재까지 전분 구성분자 중 아밀로펙틴의 미세구조와 전분질 식품의 가공성(호화 및 노화에 미치는 영향)에 대해서는 체계적으로 연구된 바가 없지만, 구성 전분 중 아밀로오스 함량 및 아밀로오스를 구성하는 포도당의 쇄장 길이가 물성에 영향을 미치고 있다는 점을 감안한다면 쌀 전분 구성 분자 중 약 80% 이상을 차지하고 있는 아밀로펙틴 유래의 포도당 사슬의 길이 또한 전분질 식품의 가공성에 영향을 미치리라 예상 할 수 있겠다. 이에 본 논문에서는 발아에 따른 거대배아미 전분 분자 중 아밀로펙틴 유래의 포도당 사슬길이의 분포를 비교하기로 하였다. 즉 호화시킨 전분의  $\alpha$ -1,6결합을 isoamylase에 의해서 가수분해 시킨 후 얻은 glucose  $\alpha$ -1,4 결합만으로 이루어진 직쇄성분들의 분포를 검토하기로 한 것이다. HPLC를 수행하기 위한 실험방법상의 여과 과정에서 직쇄성분 중 아밀로오스 분획에 해당하리라 여겨지는 장쇄성분들은 대부분 제외되었을 것으로 생각되므로 본 실험방법에 의해서 알 수 있는 전분분자의 포도당 사슬길이 분포는 결국 전분분자 중 아밀로펙틴 유래의 분획에 해당한다고 할 수 있겠다. 전분분자의 glucose  $\alpha$ -1,6 결합을 isoamylase에 의해서 가수분해시킨 후 얻은 glucose  $\alpha$ -1,4 결합만으로 이루어진 직쇄성분들을 Tosoh TSK-gel G2000PW와 G3000PW를 연결시킨 column에 위해서 HPLC를 실시하여, HPLC chromatogram 상의 각 변곡점을 기준으로 분자량이 큰 것부터 Fraction I, II, III, IV, V 등 다섯 부분으로 구분하였고, 각 부분의 면적비를 산출함으로써 품종별 전분분자의 glucose 중합도 분포를 정리하였다(Table 3). 포도당 사슬의 중합도는 분자량을 각각 171[1/

Table 3. Varietal differences in chain length distribution of rice starches debranched by isoamylase

Rice varieties		Chain length distribution (%)				
		Fr. I (Mw ≥ 22560) (Dp ≥ 132)	Fr. II (22560 > Mw ≥ 11280) (132 > Dp ≥ 66)	Fr. III (11280 > Mw ≥ 5640) (66 > Dp ≥ 33)	Fr. IV (5640 > Mw ≥ 2444) (33 > Dp ≥ 14)	Fr. V (Mw < 2444) (Dp < 13)
Normal type (non waxy rice)	N <sup>2)</sup>	10.7 ± 0.08	3.43 ± 0.19	5.17 ± 0.73	42.6 ± 0.16	37.3 ± 0.97
	G <sup>3)</sup>	1.38 ± 0.24	2.86 ± 0.08	14.5 ± 0.06	53.0 ± 0.17	28.2 ± 0.14
Whachung-ge <sup>1)</sup>	N	6.02 ± 0.18	6.49 ± 0.18	7.12 ± 0.63	57.7 ± 0.87	22.6 ± 0.44
	G	1.19 ± 0.11	5.66 ± 0.20	13.4 ± 0.06	61.9 ± 0.15	17.4 ± 0.04
Nampung-ge	N	4.58 ± 0.05	5.83 ± 0.03	9.81 ± 0.05	55.9 ± 0.21	23.8 ± 0.39
	G	1.43 ± 0.09	4.97 ± 0.07	15.9 ± 0.21	60.1 ± 0.10	17.6 ± 0.11
Glutinous type (waxy rice)	N	4.24 ± 0.27	1.63 ± 0.10	5.57 ± 0.63	42.2 ± 1.72	44.8 ± 0.21
	G	2.18 ± 0.09	2.98 ± 0.07	13.9 ± 0.04	58.6 ± 0.16	22.4 ± 0.05
Whachungchal-ge	N	9.73 ± 0.28	3.75 ± 0.17	6.89 ± 0.58	36.5 ± 0.33	43.1 ± 0.41
	G	1.72 ± 0.09	4.19 ± 0.04	17.1 ± 0.05	51.7 ± 0.02	25.3 ± 0.09
Shinsunchal-ge	N	4.03 ± 0.11	1.95 ± 0.21	7.07 ± 1.18	42.3 ± 1.52	44.6 ± 1.54
	G	1.24 ± 0.04	3.24 ± 0.04	11.8 ± 0.06	51.5 ± 5.84	35.3 ± 0.85

<sup>1)</sup>giant embryonic rice, <sup>2)</sup>not germinated rice, <sup>3)</sup>germinated rice

Table 4. Time course of degradation of starch granules by glucoamylase

Rice varieties		% of hydrolysis			
		5 mins	30 mins	60 mins	120 mins
Normal type (non waxy rice)	N <sup>2)</sup>	11.54 ± 0.570	30.99 ± 1.07	60.25 ± 1.55	78.81 ± 4.34
	G <sup>3)</sup>	10.51 ± 0.385	30.59 ± 0.262	58.25 ± 0.486	77.40 ± 0.205
Whachung-ge <sup>1)</sup>	N	11.23 ± 0.700	31.77 ± 1.42	65.74 ± 4.07	92.02 ± 3.75
	G	8.17 ± 1.16	23.22 ± 0.419	56.93 ± 0.491	66.16 ± 0.545
Nampung-ge	N	10.84 ± 0.467	32.06 ± 2.80	68.93 ± 1.49	94.51 ± 4.07
	G	9.87 ± 0.047	25.94 ± 0.455	56.57 ± 0.414	62.43 ± 1.54
Glutinous type (waxy rice)	N	12.44 ± 0.14	31.02 ± 2.04	67.60 ± 2.69	90.98 ± 0.33
	G	12.79 ± 0.640	30.23 ± 0.109	66.85 ± 1.44	90.20 ± 1.30
Whachungchal-ge	N	9.58 ± 0.668	25.14 ± 4.27	54.35 ± 1.15	68.29 ± 2.49
	G	10.06 ± 0.424	30.42 ± 0.131	63.87 ± 0.992	87.57 ± 0.278
Shinsunchal-ge	N	10.19 ± 1.13	27.67 ± 1.12	66.61 ± 3.88	70.23 ± 5.48
	G	12.85 ± 0.967	32.62 ± 0.068	62.77 ± 0.574	87.58 ± 0.277

<sup>1)</sup>giant embryonic rice, <sup>2)</sup>not germinated rice, <sup>3)</sup>germinated rice

2 × {360(2분자의 glucose)-18(H<sub>2</sub>O)}로 나눈 값에 의해서 분류해 보면, Fr. I은 포도당 중합도가 132이상, Fr. II는 66이상, Fr. III는 33이상, Fr. IV는 14이상, Fr. V는 13이하이었다. 품종별 쌀의 아밀로펙틴 유래 포도당 중합도의 분포를 비교해 보면 Table 3에서 알 수 있듯이 포도당의 중합도가 132이상 분획의 경우는 일반품종 거대배아미품종 그리고 찰품종 메품종에 상관없이 발아와 더불어 감소하고 있다. 포도당의 중합도가 66~132까지 분획의 경우는 메품종의 경우에는 일반품종이나 거대배아미 품종에 상관없이 감소하고 있으며, 찰품종의 경우에는 반대로 증가하고 있음을 알 수 있다. 그리고 포도당 중합도가 33~66까지의 분획은 일반품종, 거대배아미품종, 찰품종, 메품종에 상관없이 발아와 더불어 감소하고 있었으며, 중합도 14~33까지의 분획은 일반품종, 거대배아미품종, 찰품종, 메품종에 상관없이 발아와 더불어 증가하고 있으며, 중합도 13이하의 분획은 일반품종, 거대배아미품종, 찰품종, 메품종에 상관없이 발아와 더불어 감소하고 있음을 알 수 있다. 결국 쌀 전분은 3

일간 발아시키면, 아밀로펙틴 유래의 포도당 쇠장은 일반품종, 거대배아미품종, 찰품종, 메품종 등에 따라 다소 차이는 있으나 대체로 평균 중합도 약 30정도의 쇠장을 가지는 분자의 분포가 거의 70%이상을 차지하고 있음을 알 수 있다. 이러한 변화는 발아미를 이용한 쌀가공 식품의 제조시 호화 및 노화에 어떠한 연관이 있으리라 사료되며 이에 대한 심도 깊은 연구가 쌀가공 식품의 조리과학적인 측면에서 필요하다고 생각된다.

**발아거대배아미 전분입자의 glucoamylase에 의한 가수분해도 비교.** 벼를 3일간 발아시키면, 쌀의 품종에 관계없이 전분 구성분자 중 아밀로오스의 함량 및 아밀로오스 유래 포도당의 쇠장의 길이분포는 짧아지고, 아밀로펙틴 유래의 포도당 중합도는 거의 70%이상이 약 30정도임을 앞에서 확인하였다. 발아가 진행됨에 따라 벼에 함유되어 있는 내인성 가수분해 효소들의 작용에 의해서 전분의 가수분해도가 어느 정도 진행된 상태이므로, 이것을 식품으로 섭취하였을 때 소화율은 상당히 높으리라는 기대하에 발아전분입자의 glucoamylase에 의한 가수분해

**Table 5. Heat of gelatinization and endotherm characteristics of starch granules**

Rice varieties		To <sup>1)</sup> (°C)	To <sup>2)</sup> (°C)	To <sup>3)</sup> (°C)	ΔH <sup>4)</sup> (cal/g)
Normal type (non waxy rice)	N <sup>6)</sup>	63.00	68.46	88.42	1.74
	G <sup>7)</sup>	59.17	66.83	79.21	2.60
Whachung-ge <sup>5)</sup>	N	62.55	67.12	78.45	3.25
	G	57.81	65.02	77.10	2.55
Nampung-ge	N	65.44	71.69	83.54	2.74
	G	58.87	64.32	73.70	2.37
Glutinous type (waxy rice)	N	64.28	72.30	88.0	2.55
	G	59.57	64.94	79.0	2.49
Whachungchal-ge	N	64.95	70.51	83.59	2.69
	G	59.49	62.24	77.30	2.20
Shinsunchal-ge	N	65.38	70.61	83.44	2.39
	G	58.37	63.27	72.18	2.10

<sup>1)</sup>on set temperature, <sup>2)</sup>max. peak temperature, <sup>3)</sup>completion temperature, <sup>4)</sup>ΔH: enthalpy  
<sup>5)</sup>giant embryonic rice, <sup>6)</sup>not germinated rice, <sup>7)</sup>germinated rice

도를 측정 비교 하였다. 그러나 예상과 달리 Table 4에 나타내는 바와 같이 일반 품종의 멥쌀 및 찰쌀의 경우에는 발아시키지 않은 것이나 발아시킨 것이나 가수분해도에는 별다른 차이가 없었으나, 거대배아미 메품종의 경우에는 발아 후의 가수분해도가 발아 전에 비해서 현저히 낮아지고 있음을 알 수 있다. 그러나 거대배아미 찰품종의 경우에는 발아 후의 가수분해도가 발아 전에 비해서는 증가하고 있었다. 일반현미에 비해서 거대배아미의 식이섬유 함량이 30%정도 다량 함유하고 있으며, 발아와 더불어 일반현미의 경우에는 식이섬유의 함량이 9%, 그리고 거대배아미의 경우에는 17% 증가한다는 결과(미발표) 등에 미루어볼 때, 우선 일반품종에 비해서 거대배아미 품종의 가수분해율이 식이섬유의 함량이 상대적으로 높은데에 비해서 높다는 것도 상당히 고무적인 결과이며, 이것이 발아와 더불어 이번에는 가수분해율이 식이섬유 증가분 보다도 더 떨어진다는 점 또한 상당히 고무적인 결과라고 할 수 있다. 즉 거대배아미의 경우 소화율은 좋으면서 식이섬유의 함량 증가에 따른 생리활성 효과를 기대할 수 있으므로 노약자 및 성인병 환자들의 치료식이로서의 적극적인 이용이 기대되며, 발아거대배아미의 경우에는 소화율이 나쁘기 때문에 식품섭취 후 포도당 증가에 따른 질병, 예를 들면, 당뇨병의 예방 및 치료식이로서의 적극적인 이용을 기대할 수 있기 때문이다.

**호화특성 비교.** 발아에 따른 쌀 전분입자의 호화특성은 일반품종, 거대배아미품종, 메품종, 찰품종에 관계없이 호화개시 온도 및 호화종료온도가 감소하고 있었고, 호화엔탈피 또한 일반 메품종을 제외하고는 모두 감소하고 있었다. 발아와 더불어 이렇게 호화개시 온도가 낮아지고 있음은 다양한 단백질원과의 상호작용에 의한 쌀가공 식품의 개발을 위해서는 바람직한 현상이라고 할 수도 있다. 왜냐하면 쌀의 경우 제빵성이 나쁜 이유 중 구성 전분의 역할 측면에서 보면, 쌀의 호화개시 온도는 약 63°C 정도인데 비해서, 밀전분의 경우 호화개시 온도는 55°C 정도이므로 빵의 dough 형성을 위한 단백질의 열변성 온도인 약 50°C 정도와 거의 부합되기 때문에 밀의 경우 제빵성이 좋다는 등의 보고<sup>24)</sup>를 생각해 볼 때 발아쌀을 이용한다면 제빵성이 어느 정도 향상하리라는 기대가 생긴다고 할 수 있어

이에 대한 보다 깊은 조리과학적인 연구가 필요하다고 생각된다.

### 감사의 글

본 연구는 2000~2002년까지 과학재단 목적기초 과제(과제번호 R04-2000-00063)에 의해서 수행된 결과의 일부이며 이에 감사드립니다.

### 참고문헌

1. Okuno, K., Fuwa, H. and Yano, M. (1983) A new mutant lowering amylose content in endosperm starch of rice. *Jpn J. Breed.* **33**, 387-394.
2. Yano, M., Okuno, K., Kawakami, J., Satoh, H. and Omura, T. (1985) High amylose mutants of rice, *Oriza sativa* L. *Theor. Appl. Genet.* **69**, 253-257.
3. Khush, G. S., Paule, C. M. and De la Cruz, M. M. (1979) In *Proc. of Workshop on Chemical Aspects of Rice Grain Quality, IRRI: Rice grain quality evaluation and improvement at IRRI.* pp. 21-31.
4. Kumamaru, T., Satoh, H., Iwata, T., Omira, T. and Tanaka, K. (1988) Mutants for rice storage proteins. *Theor. Appl. Genet.* **76**, 11-16.
5. Schaeffer, G. W. and Sharpe, F. T. (1987) Increased lysine and seed storage protein in rice plants recovered from calli selected with inhibitory levels of lysine plus threonine and S-(2-aminoethyl) cysteine. *Plant Physiol.* **84**, 509-515.
6. Sato, H. and Omura, T. (1981) New endosperm mutations induced by chemical mutagens in rice, *Oriza sativa* L. *Jpn. J. Breed.* **31**, 316-326.
7. Kim, K. H., Park, S. Z., Koh, H. J. and Heu, M. H. (1992) In *Proceed. of SABRAO Intern. Symp. on The Impact of Biological Research on Agricultural Productivity: New mutants for endosperm and embryo characters in rice: Two dull endosperms and giant embryo.* pp. 125-131.
8. Cho, B. M., Yoon, S. K. and Kim, W.J. (1985) Changes in amino acid and fatty acids composition during germination of

- grape seed. *Korean J. Food Sci. Technol.* **17**, 371-376.
9. Hsu, D., Leung, H. K., Finney, P. L. and Morad, M. M. (1980) Effect of germination on nutritive value and baking properties of dry peas, lentils and faba beans. *J. Food Sci.* **45**, 87-91.
  10. Choi, K. S. and Kim, Z. U. (1985) Changes in lipid components during germination of mungbean. *Korean J. Food Sci. Technol.* **17**, 271-275.
  11. Colmenarse De Ruiz, A.S. and Bressani, R. (1990) Effect of germination on the chemical composition and nutritive value of amaranth grain. *Cereal Chem.* **67**, 519-523.
  12. Lee, M. H., Son, H. S., Choi, O. K. Oh, S. K. and Kwon, T. B. (1994) Changes in physico-chemical properties and mineral contents during buckwheat germination. *Korean J. Food Nutr.* **7**, 267-273.
  13. Kim, I. S., Kwon, T. B. and Oh, S. K. (1985) Study on the chemical change of general composition, fatty acids and minerals of rapeseed during germination. *Korean J. Food Sci. Technol.* **17**, 371-376.
  14. Ikeda, K. Arioka, K. Fujii, S., Kusano, T. and Oku, M. (1984) Effect on buckwheat protein quality of seed germination and changes in trypsin inhibitor content. *Cereal Chem.* **61**, 236-240.
  15. Kim, W. J., Kim, N. M. and Sung, H. S. (1984) Effect of germination on phytic acid and soluble minerals in soymilk. *Korean J. Food Sci. Technol.* **16**, 358-362.
  16. Ahn, B. and Yang, C. B. (1985) Effects of soaking, germination, incubation and autoclaving on phytic acid in seed. *Korean J. Food Sci. Technol.* **17**, 516-521.
  17. Lee, M. H. and Shin, J. C. (1996) In *Proc. Korean Society of Rice Research Conference*. New techniques for the cultivation of quality rice. Seoul, pp. 239-263.
  18. Nakagawa, K. and Onoto, A. (1996) Accumulation of  $\gamma$ -aminobutyric acid(GABA) in the rice germ. *Food Processing* **31**, 43-46.
  19. Macleary, B. and Sheehan, H. (1987) Measurement of cereal  $\alpha$ -amylase: A new assay procedure. *J. Cereal Sci.* **6**, 237-251.
  20. Macleary, B. and Codd, R. (1989) Measurement of  $\beta$ -amylase in cereal flours and commercial enzyme preparations. *J. Cereal Sci.* **9**, 17-33.
  21. Banks, W., Greenwood, C. T. and Muir, D. D. (1971) The characterization of starch and its components III. The technique of semi-micro differential potentiometric iodine titration and factors affecting it. *Stärke* **23**, 118-124.
  22. Banks, W., Greenwood, C. T. and Thomson, J. (1959) The properties of amylose as related to the fractionation and subfractionation of starch. *Macromol. Chem.* **31**, 197-213.
  23. Banks, W., Greenwood, C. T. and Muir, D. D. (1974) A critical comparison of the estimation of amylose content by colorimetric determination and potentiometric titration of the iodine complex. *Stärke* **26**, 3-77.
  24. Tanak, Y. (1980) In *Handbook of Starch Science: A role of starch in baking process*, Iwakuni Press, Tokyo.

#### Amylolytic activity and Properties of Starch Granules from the Giant Embryonic Rices

Mi-Young Kang, Yun-Ri Lee and Seok Hyun Nam<sup>1\*</sup> (*Department of Food Science and Nutrition, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea; <sup>1</sup>Department of Biological Science, Ajou University, Suwon 442-749, Korea*)

**Abstract:** Rice seeds of 4 cultivars including Whachung-giant embryonic rice and Nampung-giant embryonic rice, as a group of the non-waxy rice cultivars, and Shinsunchal-giant embryonic rice and Whachungchal-giant embryonic rice, as that of the waxy rice cultivars, were germinated at 27°C for 3 days to compare the changes in some physico-chemical properties of the starch granules and the starch-hydrolysing enzyme activities during germination, respectively.  $\alpha$ -Amylase activity of rices germinated for 3 days found to be higher than that of malt. Especially, Whachung-giant embryonic rice and Shinsunchal-giant embryonic rice were greater in activity than other rice cultivars and possessed the activities double that of malt. In contrast,  $\beta$ -amylase of germinated rice found to be considerably less active than malt, although the giant embryonic rice group showed prevalent activity as compared to the normal rice group. With the starch granules, the amount of long glucose chains from amylose molecules were reduced in the non-waxy type giant embryonic rices, while the chain length increase was found in the waxy type giant embryonic rices. For the distribution profile of the glucose chain length from amylopectin molecules, we could observed that the chain length with DP (degree of polymerization) ranged 33 to 66 and 14 to 32 increased with the decreasing rate of that above 67 and below 13 regardless of starch waxiness. With non-waxy type of giant embryonic rices, susceptibility for glucoamylase were found to reduce along with germination, however, increase in susceptibility was observed with waxy rice types. In addition, we found the reduction in both initiation and termination temperature, and enthalpy for gelatinization.

Key words: germination, giant embryonic rice, starch hydrolysis enzyme, amylose, amylopectin, gelatinization characteristics

\*Corresponding author