

## 쌀의 알칼리붕괴도와 아밀로펙틴 미세구조 및 호화 물성과의 관계

송진<sup>†</sup> · 이춘기 · 윤종탁 · 김선림 · 김덕수 · 김재현 · 정응기 · 서세정

농촌진흥청 작물과학원

### Relationship Among Alkali Digestive Value, Amylopectin Fine Structure and Physical Properties of Cooked Rice

Jin Song<sup>†</sup>, Choon-Ki Lee, Jong-Tag Youn, Sun-Lim Kim, Deog-Su Kim, Jae-Hyun Kim, Eung-Gi Jeong, and Sae-Jung Suh

National Institute of Crop Science, RDA, Suin-ro 151th, Seodun-dong, Gwonseon-gu, Suwon Gyeonggi-do, Republic of Korea

**ABSTRACT** This study was performed to effect of chain length distribution of amylopectin on gelatinization physical properties of cooked rice grains which were analyzed by alkali digestive value (ADV) in six rice cultivars. Those rice cultivars were Hwangumnuribyeo, Ilpumbyeo, Sangju-byeo, Taebongbyeo, Nampyunbyeo, and Dasanbyeo. The ADV values were evenly distributed from 7.0 (Hwangumnuribyeo) to 5.0 (Dasanbyeo). A similar chain length distribution of amylopectin was found in rice cultivars, indicating that DP12 had the highest distribution. Rice cultivars with high ADV value showed higher portion of short chain distribution upto DP15. The surface hardness of cooked rice increased consecutively to Dasanbyeo, Ilpumbyeo, and Hwangumnuribyeo. Among japonica type rice cultivars, the highest overall hardness was observed in Dasanbyeo followed by Hwangumnuribyeo and Ilpumbyeo. Correlation between hardness of rice grain and chain length distribution of amylopectin had the similar inclination to surface hardness of rice grains and overall hardness.

**Keywords** : amylopectin, physical properties, alkali digestive value

**최근** 벼 육종의 목표가 고품질의 양질미를 추구함에 따라 근래 육성되어진 자포니카 타입의 일반미는 품종간 아밀로스과 단백질 함량이 각각 15~20%, 5.0~9.5%로 변이가 적은편이다. 그러나 비슷한 아밀로스 함량을 지니는 쌀일지라도 밥의 물리적 특성을 비롯한 밥맛 관련 쌀의 품질 특성이 달라짐에 대한 이유를 구명하고자 많은 연구자들에 의해 아

밀로스함량 이외의 다른 품질 특성들 즉 단백질 함량, 전분의 호화 특성, 물리적 특성, 알칼리붕괴도 등에 대한 연구가 진행되어왔다(장 등, 1996; Xie *et al.*, 2007; Ong *et al.*, 1995; Champagne *et al.*).

Reddy 등(1980)은 쌀의 물리화학적 특성과 아밀로펙틴의 미세 구조와의 관계에 대한 논문을 통해 긴 B-chains의 함량과 특징이 쌀의 경도를 결정하는 주요 인자이며, Ramesh (1999)도 밥의 경도는 중합도가 클수록 강한 상관관계가 있음을 발표하였으며 Hiroyuki와 Yasuhito(2000)는 단단하고 끈기가 적은 밥일수록 아밀로펙틴의 중합도가 큰 사슬을 많이 지니며 그 이유는 중합도가 큰 사슬 함량이 많을수록 강하점도가 낮은 전분이기 때문에 서로 연결된 아밀로펙틴 분자에 의해 전분입자의 붕괴가 억제된다고 하였다.

처음 SEC(Size-exclusion chromatography)를 이용하여 아밀로펙틴의 구조에 대한 연구가 이루어진 이후 HPLC 등 기기 및 분석방법의 발전과 더불어 아밀로펙틴 미세구조와 밥의 품질 관계에 대한 지속적인 연구가 이루어지면서 최근 밥맛을 설명하는 인자로서 아밀로펙틴이 많이 다루어지고 있다. 즉 밥의 품질을 구명하고자 하는 연구가 전분 입자의 형성과 관련한 전분 생합성 효소에 대한 연구와 만들어진 전분입자를 구성하는 아밀로스와 아밀로펙틴 특히 아밀로펙틴의 미세구조에 대한 연구가 증가하는 추세이다. 그러나 발표된 아밀로펙틴 구조 분포와 쌀 특성과의 연구는 주로 자포니카와 인디카 등 기원이 다른 전분작물에서 분석되어 발표된 것이 대부분이어서 주식으로 이용되는 쌀의 대부분이 자포니카 타입인 우리 나라에서는 적용하기 어렵다. 따라서 본 연구는 알칼리붕괴도에 따른 쌀 품종의 아밀로펙틴 구조와 호화물성에 대한 결과이다.

<sup>†</sup>Corresponding author: (Phone) +82-31-290-6792

(E-mail) songjin@rda.go.kr

<Received May 20, 2008>

## 재료 및 방법

### 시험재료

본 실험에 사용된 벼 품종은 일품벼, 황금누리벼, 상주벼, 태봉벼, 남평벼, 다산벼 6품종을 2006년 농촌진흥청 작물과 학원 시험포장에서 재배하고 벼의 수분함량을 15%로 조제하였다. 건조된 시험재료는 실험실용 현미기(T.H.U 35A, Satake, Japan)로 현미를 만들고 실험실용 정미기(MCM- 250, Satake, Japan)로 현미 중량을 기준으로 92% 도정하여 10 분도 백미를 만들어 실험에 사용하였다.

### 이화학적 성분 및 쌀의 경도

일반성분은 A.O.A.C. 방법(1995)에 의하여, 즉 수분함량은 105°C 상압 가열 건조법, 조지방은 Soxhlet 법, 조회분은 건식회화법, 조단백질은 Kjeldahl 법으로 질소함량을 구한 후 질소량에 5.95를 곱하여 단백질 함량을 계산하였다. 알칼리붕괴도는 완전미 시료 6립을 15 ml 용량의 사각 검정 플라스크에 넣고 1.4% KOH용액 10 ml를 넣은 후 30°C 항온기에 23시간 정치한 후 쌀의 퍼짐도, 맑음도 등 붕괴도를 조사하여 농촌진흥청 조사기준(2003)에 따라 1~7점으로 분류하였다. 아밀로스 함량은 Juliano(1971)의 방법에 의하여 조사하였으며, 쌀의 경도는 texture analyzer(TX-XT2, TA instrument, U.K.)를 이용하여 지름 2 mm의 프로브를 시료 중심에서 60% strain의 조건으로 측정하였다(2004).

### 아밀로펙틴 구조 분석

시료의 아밀로펙틴 사슬 분포를 측정하기 위해 HPAEC-PAD 방법으로 Suzuki *et al.*(2006)의 방법에 의해 분석하였다. 즉 쌀가루 5 mg을 100% 메탄올 3 ml에 분산시킨 후 10분간 끓인 후 2500 g에서 10분간 원심분리 하고 5 ml의 증류수로 2회 세척하고 5 ml의 증류수를 넣어 60분간 끓인 후 2500 g, 5분간 재 원심분리하여 침전물을 포함한 상정액 1 ml를 새로운 튜브에 옮긴다. 600 mM Na-acetate(pH 4.6) 50 µl와 2%(w/v) NaN<sub>3</sub> 10 µl, 10 µl 1420 units *Pseudomonas amyloclavata* isoamylase(Hayashibara Biochemical Lab., Okayama, Japan)을 넣어 40°C에서 24시간 반응시킨 후 분해생성물의 환원처리를 위해 2%(w/v) sodium borohydride

와 5% ammonia solution(pH9)를 총 150 µl 넣고 25°C에서 24시간 반응시킨 후 동결건조한다. 얻어진 시료 2 mg을 100 µl 1 N NaOH에 1시간 동안 녹이고 증류수 900 µl를 첨가한 후 12,000 rpm, 5분간 원심분리하여 상정액을 0.2 µm 필터를 통과시켜 분석을 위한 시료로 사용하였다.

조제된 시료는 이온크로마토그래피(DX-500, Dionex, CA, USA)를 이용하여 HPAEC-PAD 방법으로 분석하였다. 분석에 사용된 컬럼은 CaboPac PA-1(250×4 mm I.D.)였다. 용매는 150 mM 수산화나트륨용액과 500 mM 아세트산나트륨을 포함한 150 mM 수산화나트륨을 사용하였으며 시간에 따른 용매의 농도는 Table 1과 같으며 시료 주입량은 25 µl이다.

### 밥의 호화 물성

표면을 거즈로 닦은 쌀 300 g에 증류수를 420 ml 넣어 1시간 담근 후 전기밥솥(SR-ULH10, National Co., Ltd., Japan, 1 l)에서 15분간 취반하고 15분간 뜸을 들인다. 300 ml 플라스틱컵에 밥을 담아 25°C에서 2시간 안정화 시킨 후 tensipresser(Myboy system, Taketomo Electric Corp., Tokyo, Japan)를 이용하여 호화된 밥의 물성을 측정하였다.

이 시험은 low 및 high compression tests로 이루어지며 밥의 쌀 표면 과 밥알 전체에 대한 경도와 끈기를 구하였다. 측정시 사용한 기계의 조건은 Okadome 등(1998)의 방법에 따라 Load cell은 Max. 10 kgf, plunger shape은 flat type (diameter: 3.0 cm), plunger material과 sample stage는 aluminum(alumite coating), plunger speed는 6.0 mm/sec였다.

### 통계분석

분석된 결과의 통계분석은 SAS Enterprise Guide 3.0(Statistical analysis system, 2004) 프로그램을 이용하여 Duncan의 다중검정 분석을 실시하였다.

## 결과 및 고찰

### 일반성분 및 경도

일반성분을 조사한 결과는 Table 2와 같다. 아밀로스 함량은 15.3~20.5%로 시료 모두 일반 자포니카 타입에 속했

**Table 1.** Gradient elution program for analysis of chain-length distribution (%)

Time (min)	0	6	17	34	53	113	213	223
150 mM NaOH	70	60	50	40	35	30	10	0
150 mM NaOH-500 mM NaOAc	30	40	50	60	65	70	90	100

**Table 2.** Chemical composition and textural properties of the six milled rices.

Varieties	Lipid	Protein	Fiber (%)	Ash	Amylose content	ADV <sup>†</sup>	Hardness ( $\varnothing 0.2$ mm, g / 3.14 mm <sup>2</sup> )
Hwangumnuribyeo	0.68 <sup>a</sup>	6.81 <sup>c</sup>	0.36 <sup>bc</sup>	0.55 <sup>ab</sup>	20.5 <sup>a</sup>	7.0 <sup>a</sup>	5766.2
Ilpumbyeo	0.58 <sup>bc</sup>	7.02 <sup>b</sup>	0.33 <sup>d</sup>	0.41 <sup>c</sup>	17.3 <sup>c</sup>	6.0 <sup>bc</sup>	5599.8
Sangjubyeo	0.54 <sup>cd</sup>	6.67 <sup>c</sup>	0.38 <sup>ab</sup>	0.52 <sup>b</sup>	17.5 <sup>c</sup>	5.5 <sup>cd</sup>	5440.9
Taebongbyeo	0.51 <sup>d</sup>	7.46 <sup>a</sup>	0.33 <sup>cd</sup>	0.63 <sup>a</sup>	19.4 <sup>b</sup>	5.5 <sup>cd</sup>	6789.6
Nampyungbyeo	0.33 <sup>e</sup>	6.06 <sup>d</sup>	0.41 <sup>a</sup>	0.42 <sup>c</sup>	19.0 <sup>b</sup>	6.3 <sup>b</sup>	6008.9
Dasanbyeo	0.61 <sup>b</sup>	6.85 <sup>bc</sup>	0.34 <sup>bcd</sup>	0.57 <sup>ab</sup>	15.3 <sup>c</sup>	5.0 <sup>d</sup>	7068.6

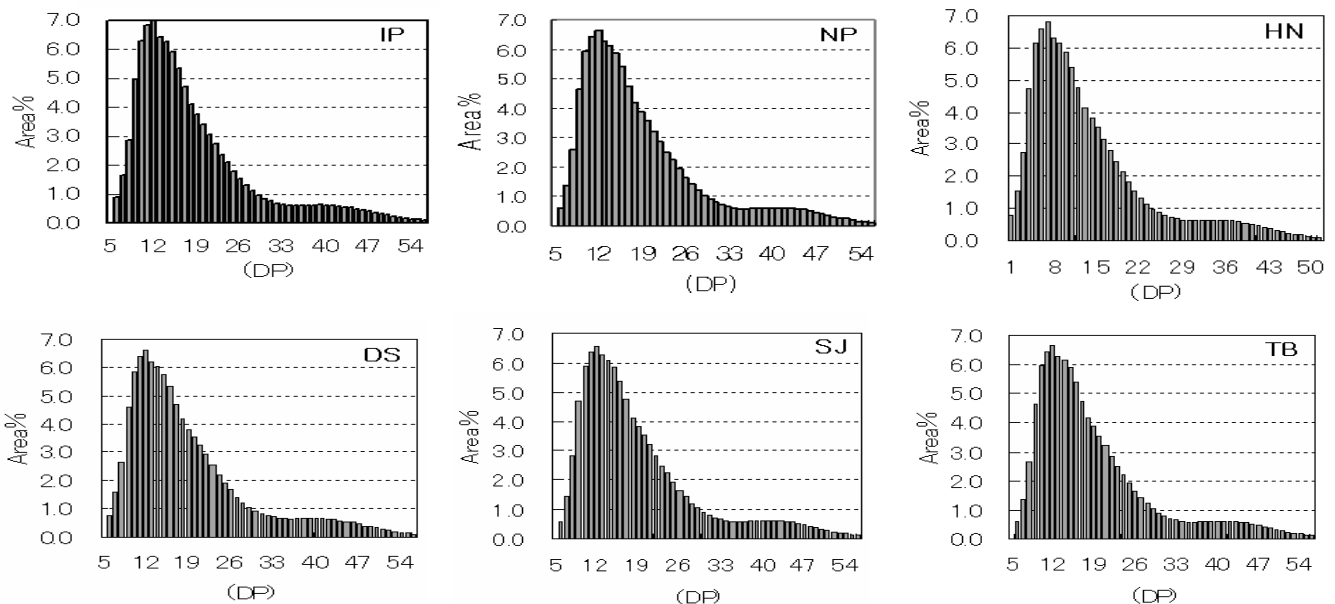
Values with the same letter in a column are not different significantly according to DMR test,  $p < 0.05$

<sup>†</sup>ADV: Score 1~7

다. 일반성분 중 납뽀벼는 조지방과 단백질 함량이 가장 낮은 품종이었고 알칼리붕괴도는 다산벼가 5.0로 가장 낮았고, 황금누리벼는 7.0으로 가장 높은 값을 나타냈으며 다른 시험재료는 5.5~6.3에 속하였다. 김 등(1992)은 쌀알의 알칼리 붕괴에 의하여 품종간에 호화온도 및 호화소요시간의 추정치는 가능하나 비슷한 알칼리붕괴반응을 보인 품종간에도 호화온도나 호화시간의 차이가 있었다고 하였다. 쌀알의 경도는 다산벼가 7068.6 g / 3.14 mm<sup>2</sup>으로 가장 높았고, 태뽀벼가 그 다음이었으며 상주벼와 일뽀벼는 낮은 경도를 나타냈다.

### 아밀로펙틴 구조 분석

Fig. 1는 HPAEC-PAD를 이용하여 분석되어진 아밀로펙틴 구조를 중합도에 따라 Hanashiro *et al.*(1996)의 방법에 의해 백분율로 계산한 결과로서 시험에 사용된 품종 모두 중합도 12에서 가장 높은 면적 %를 나타냈다. 이 결과는 Fredriksson *et al.*(1998)과 Srichwong *et al.*(2005)등이 보리와 찰보리, 귀리, 밀의 아밀로펙틴 체인 분포 경향이 매우 비슷하다고 하였고, 쌀과 같은 A-type 및 C-type은 중합도 11~12에서 최고 분포를 보이며 B-type 작물은 중합도 13에서 가장 큰 분포를 나타냈다고 발표한 것과 같은 결과를 보여주었다. 그러나 Fig. 1에 나타난 결과로는 품종간 비슷한



**Fig. 1.** Chain-length distributions of amylopectins by HPAEC-PAD. Abbreviation: HN, Hwangumnuribyeo; IP, Ilpumbyeo; SJ, Sangjubyeo; TB, Taebongbyeo; NP, Nampyungbyeo; DS, Dasanbyeo

유형의 아밀로펙틴 분포를 보임을 확인할 수 있을뿐 차이를 찾기 어렵다. 품종간 차이를 알아보기로 하자 알칼리붕괴도가 가장 높은 품종인 황금누리벼와 다른 시험 재료들과의 각 중합도별 차이를 Fig. 2에 나타내었다. 다산벼와 남평벼는 중합도 17까지는 황금누리벼보다 적은량의 분포를 지녔으나 중합도 18 이후에는 더 많은량을 지닌 것으로 나타나 단쇄 비율이 적고, 중합도 18이상의 중장쇄 비율은 많은 분포를 보임을 알 수 있었다. 한편 알칼리붕괴도와 RVA 호화특성이 중간값을 지녔던 태봉벼와 상주벼의 황금누리벼와의 아밀로펙틴 구조차이는 황금누리벼에 비해 짧은 사슬 및 중합

도 33~42는 적고, 중합도 17~32와 중합도 43 이상의 긴 체인에서는 다시 많아지는 아밀로펙틴 구조를 지니고 있었음이 확인 되어 아밀로펙틴 구조 분포와 전분의 호화특성간에 서로 영향이 있으며 각기 다른 유형의 아밀로펙틴 구조를 지니고 있음이 확인 가능하였다.

Table 3은 중합도에 따라 4종류의 그룹으로 나누어(중합도 6~12, 13~24, 25~36, 37이상) 사슬의 분획별 비율로 나타낸 결과이다. 결과에 따르면 각 품종간에는 아밀로펙틴 구조가 차이가 있음을 알 수 있다. Yasuhito와 Isao(2003)의 연구에 의하면 짧은 체인은 하나의 cluster를 포함하며, 긴 체

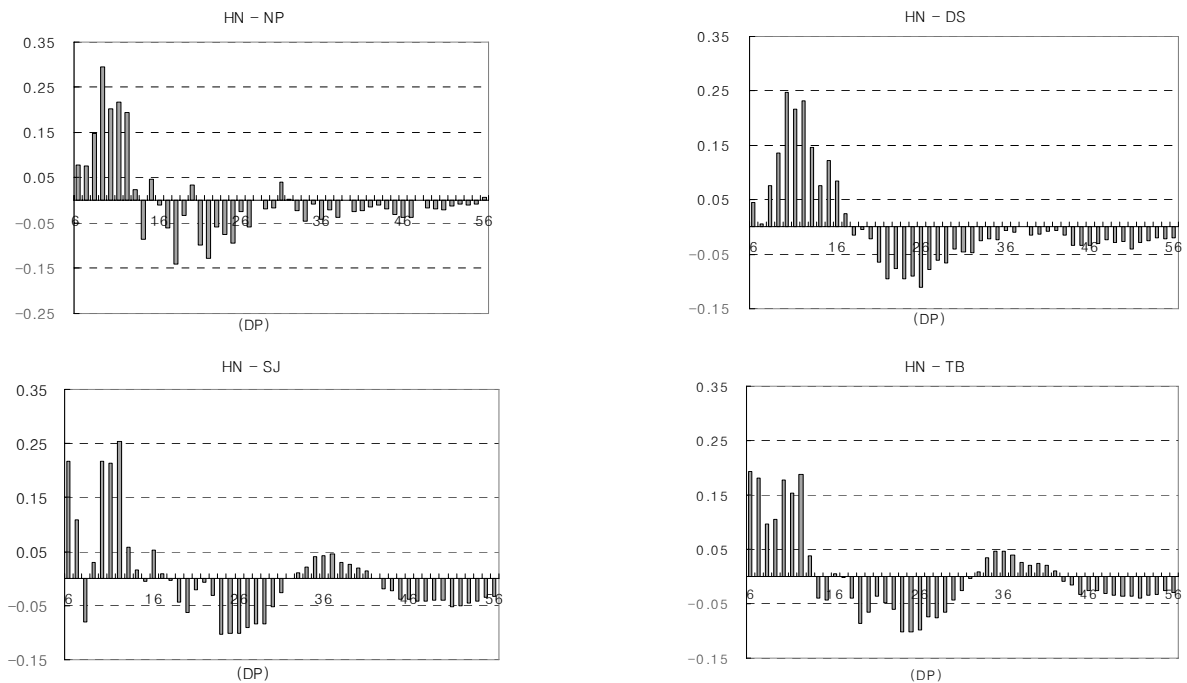


Fig. 2. The chain length difference of the highest ADV rice (HN) and the others samples. Abbreviation: HN, Hwangumnuribyeo; IP, Ilpumbyeo; SJ, Sangjubyeo; TB, Taebongbyeo; NP, Nampyungbyeo; DS, Dasanbyeo

Table 3. The proportions of fractions, fa, fb<sub>1</sub>, fb<sub>2</sub> and fb<sub>3</sub> of the six rice flours

Varieties	fa <sup>†</sup>	fb <sub>1</sub>	fb <sub>2</sub>	fb <sub>3</sub>	fb <sub>1+2+3</sub>	fb <sub>1</sub> /fa	(fa+fb <sub>1</sub> ) / (fb <sub>2</sub> +fb <sub>3</sub> ) <sup>‡</sup>
Hwangumnuribyeo	29.36 <sup>ab</sup>	50.48 <sup>ab</sup>	11.74 <sup>a</sup>	8.42 <sup>a</sup>	70.64 <sup>ab</sup>	1.72 <sup>ab</sup>	3.97 <sup>a</sup>
Ilpumbyeo	30.45 <sup>a</sup>	50.14 <sup>b</sup>	11.41 <sup>a</sup>	8.00 <sup>a</sup>	69.55 <sup>b</sup>	1.65 <sup>b</sup>	4.09 <sup>a</sup>
Sangjubyeo	28.49 <sup>ab</sup>	50.49 <sup>ab</sup>	12.17 <sup>a</sup>	8.86 <sup>a</sup>	71.51 <sup>ab</sup>	1.77 <sup>ab</sup>	3.76 <sup>a</sup>
Taebongbyeo	28.56 <sup>ab</sup>	50.83 <sup>ab</sup>	12.01 <sup>a</sup>	8.60 <sup>a</sup>	71.44 <sup>ab</sup>	1.78 <sup>ab</sup>	3.86 <sup>a</sup>
Nampyungbyeo	28.14 <sup>b</sup>	51.07 <sup>a</sup>	12.03 <sup>a</sup>	8.76 <sup>a</sup>	71.86 <sup>a</sup>	1.81 <sup>a</sup>	3.82 <sup>a</sup>
Dasanbyeo	28.40 <sup>ab</sup>	50.40 <sup>ab</sup>	12.36 <sup>a</sup>	8.85 <sup>a</sup>	71.60 <sup>ab</sup>	1.77 <sup>ab</sup>	3.73 <sup>a</sup>

Values with the same letter in a column are not different significantly according to DMR test, p<0.05

<sup>†</sup>fa: DP 6~12, fb<sub>1</sub>: DP 13~24, fb<sub>2</sub>: DP 25~36, fb<sub>3</sub>: DP 37>

<sup>‡</sup>Number of chains per cluster

Table 4. Physical properties of single cooked rice grain

Varieties	Surface			Overall		
	Hardness (10 <sup>3</sup> dyn)	Stickiness (10 <sup>3</sup> dyn)	Adhered mass (mm)	Hardness (10 <sup>3</sup> dyn)	Stickiness (10 <sup>3</sup> dyn)	Adhered mass (mm)
Hwangumnuribyeo	103.0 <sup>b</sup>	8.2 <sup>bc</sup>	0.52 <sup>bcd</sup>	2.07 <sup>b</sup>	0.32 <sup>b</sup>	1.39 <sup>ab</sup>
Ilpumbyeo	104.5 <sup>b</sup>	12.9 <sup>a</sup>	0.75 <sup>a</sup>	1.92 <sup>c</sup>	0.36 <sup>a</sup>	1.49 <sup>a</sup>
Sangjubyeo	91.3 <sup>c</sup>	8.7 <sup>b</sup>	0.69 <sup>ab</sup>	1.81 <sup>d</sup>	0.29 <sup>b</sup>	1.66 <sup>a</sup>
Taebongbyeo	86.7 <sup>c</sup>	6.4 <sup>bc</sup>	0.46 <sup>cd</sup>	1.72 <sup>e</sup>	0.37 <sup>a</sup>	0.22 <sup>ab</sup>
Nampyungbyeo	101.6 <sup>b</sup>	5.2 <sup>c</sup>	0.32 <sup>d</sup>	1.91 <sup>c</sup>	0.30 <sup>b</sup>	1.22 <sup>b</sup>
Dasanbyeo	115.4 <sup>a</sup>	9.2 <sup>b</sup>	0.58 <sup>abc</sup>	2.37 <sup>a</sup>	0.32 <sup>b</sup>	1.37 <sup>ab</sup>

Values with the same letter in a column are not different significantly according to DMR test,  $p < 0.05$

인은 연결된 cluster를 포함하므로(A+B<sub>1</sub>)/(B<sub>2</sub>+B<sub>3</sub>)은 cluster 당 연결된 체인의 수를 의미한다고 하였다. 계산된 하나의 cluster에 연결된 체인의 수는 일품벼 4.09, 황금누리벼 3.97 개의 순으로 많은 것으로 조사되었다. A-type의 전분 crystalline은 B-type crystalline 전분에 비해 cluster 당 chains의 수가 큰 아밀로펙틴을 갖는 경향이 있고 그 수는 작물에 따라 2~13에 분포하며 곡류의 아밀로펙틴은 구근류의 아밀로펙틴보다 더 많은 수의 체인을 하나의 cluster에 포함한다.

### 밥의 호화 물성

Table 4는 25%의 Low compression 조건에 따라 호화된 밥알의 표면 및 전체 물성을 측정된 결과로 품종에 따라 표면 물성은 유의한 차이를 나타냈으며 품종별 표면 경도는 다산벼, 일품벼, 황금누리벼의 순이었으며 끈기는 일품벼가 가장 높게 나타났다. 한편 90%의 compression 조건에서 측정된 날개 밥알의 전체 물성은 표면경도와 마찬가지로 다산벼가 가장 높은 것으로 나타났고 황금누리벼, 일품벼의 순으로 경도가 높은 것으로 조사되었다. 조사된 품종 중 일품벼의 경도는 낮고, 끈기는 높은 것으로 나타나 물성 측정에 의한 결과 밥맛이 좋을 것으로 추정되어졌다. 한편 밥의 호화 표면물성과 전체 물성간의 상관관계는(실험결과는 제시하지 않음) 표면경도와 전체 경도간에는 매우 높은 정의 상관( $r=0.928$ ,  $p < 0.01$ )을 보였고, 경도와 끈기는 부의 상관( $r=-0.296$ )을 보였으나 통계적 유의성은 없었다.

### 적 요

본 연구는 알칼리붕괴도가 다른 황금누리벼, 일품벼, 상주벼, 태봉벼, 남평벼, 다산벼의 일반미 6품종의 아밀로펙틴 구조와 밥의 호화물성을 조사 하여 상관관계를 조사한 결과

이다.

1. 6품종 쌀의 알칼리붕괴도는 황금누리벼의 7.0부터 다산벼의 5.0까지 고르게 분포하였다. 아밀로펙틴 구조 분석 결과 시료는 모두 중합도 12에서 최고 분포를 갖는 등 비슷한 유형을 나타냈으며 알칼리붕괴도가 높은 품종은 중합도 15까지 짧은 사슬의 함량이 다른 품종에 비해 많이 함유하고 있는 것으로 나타났다.

2. 호화된 밥의 표면 경도는 다산벼, 일품벼, 황금누리벼의 순으로 컸으며 끈기는 일품벼가 가장 높게 나타났다. 밥의 전체 경도는 다산벼가 가장 높은 것으로 나타났고 다음으로 황금누리벼, 일품벼의 순으로 경도가 높은 것으로 조사되었다.

### 인용문헌

- 김광호, 오세만. 1992. 쌀 알칼리붕괴반응의 품종간 변이와 호화온도 및 수분흡수율과의 관계. 한국작물학회지. 37(1) 28-36.
- 농업과학기술 연구조사분석기준. 2003. 11. 농촌진흥청. 288-290.
- 송진, 김선림. 2004. 밥의 텍스처 및 색이 측정. 작물의 유용성분 분석 및 평가. 사단법인 한국작물학회, 작물과학원. 277-283
- 장경아, 신명근, 홍성희, 민봉기, 김광옥. 1996. 취반미의 관능적 특성에 따른 쌀의 분류 및 쌀전분의 이화학적 특성. 한국식품과학회지. 28(1). 44-52.
- A.O.A.C. 1995. Official methods of analysis, 16th. ed., Association of official analytical chemists, Washington, D.C.
- Biliaderis, C. G., Maurice T. J., and Vose J. R.. 1980. Starch gelatinization phenomena studied by differential scanning calorimetry. Journal of food science. 45. 1669-1680.
- Champagne Elaine T., Lyon Brenda G., Min Bong Kee, Vinyard Bryan T., Bett Karen L., Barton II Franklin E., Webb

- Bill D., McClung Anna M., Moldenhauer Karen A., Linscombe Steve, McKenzie Kent S., and Kohlwey David E.. Effects of postharvest processing on texture profile analysis of cooked rice. *Cereal Chemistry*. 75(2). 181-186.
- Fredriksson, H., Silverio J., Andersson R., Eliasson A. C., and Aman P. 1998. The influence of amylose and amylopectin characteristics on gelatinization and retrogradation properties of different starches. *Carbohydrate Polymers* 35. 119-134.
- Hanashiro Isao, Abe Jun-ichi, and Hizukuri Susumu. 1996. A periodic distribution of the chain length of amylopectin as revealed by high-performance anion - exchange chromatography. *Carbohydrate Research*. 283. 151-159.
- Hiroyuki Mizukami and Yasuhito Takeda. 2000. Chewing Properties of Cooked Rice from New Characteristic Rice Cultivars and Their Relation to Starch Molecular Structures. *J. Appl Glycosci*. 47(1). 61-65.
- Okadome Hiroshi, Toyoshima Hidechika, Suto Mitsuru, Ando Ikuo, Numaguchi Kenji, Horisue Noboru, and Ohtsubo Ken'ichi. 1998. Palatability evaluation for *Japonica* rice grains based on multiple physical measurements of individual cooked rice grain. *Nippon Shokuhin Kagaku Kogaku Kaishi (J. Jpn. Soc. Food Sci. Technol.)* 45(7). 398-407.
- Ong, M. H. and Blanshard J. M. V. 1995. Texture determinants of cooked, parboiled rice. II: Physicochemical properties and leaching behaviour of rice. *Journal of Cereal Science*. 21. 261-269.
- Ramesh, M., Ali S. Zakiuddin, and Bhattacharya K. R. 1999. Structure of rice starch and its relation to cooked-rice texture. *Carbohydrate Polymers*. 38. 337-347.
- Juliano, B. O. 1971. A simplified assay for milled-rice amylose. *Cereal Science. Today* 16. 10. 334.
- Srichuwong Sathaporn, Sunarti Titi Candra, Mishima Takashi, Isono Naoto, and Hisamatsu Makoto. 2005. Starches from different botanical sources I: Contribution of amylopectin fine structure to thermal properties and enzyme digestibility. *Carbohydrate Polymers*. 60. 529-538.
- Srichuwong Sathaporn, Sunarti Titi Candra, Mishima Takashi, Isono Naoto, and Hisamatsu Makoto. 2005. Starches from different botanical sources II: Contribution of starch structure to swelling and pasting properties. *Carbohydrate polymers*. 62. 25-34.
- Suzuki Keitaro, Nakamura Sumiko, Satoh Hikaru, and Ohtsubo Ken'ichi. 2006. Relation between Chain-length Distributions of Waxy Rice Amylopectins and Physical properties of rice grains. *Journal of Applied Glycoscience*. 53. 227-232.
- Takeda Yasuhito and Hanashiro Isao. 2003. Examination of the structure of amylose and amylopectin by fluorescent labeling of the reducing terminal. *Journal of Applied Glycoscience*. 50. 163-166.
- Xie Lihong, Chen Neng, Duan Binwu, Zhu Zhiwei, and Liao Xiyuan. 2007. Impact of proteins on pasting and cooking properties of waxy and non-waxy rice. *Journal of Cereal Science*.