

계통이 다른 쌀 전분의 구조적 성질

강길진[†] · 김 관 · 김성곤*

전남대학교 식품공학과 및 농업과학기술연구소

*단국대학교 식품영양학과

Structure and Properties of Starch on Rice Variety

Kil-Jin Kang[†], Kwan Kim and Sung-Kon Kim*

Dept. of Food Science and Technology, Chonnam National University, Kwangju 500-757, Korea

*Dept. of Food Science and Nutrition, Dankook University, Seoul 140-714, Korea

Abstract

The molecular structure of rice starch was investigated using Korean rice [3 varieties of Japonica type and 3 varieties of Tongil type (Japonica-Indica breeding type)]. The λ_{max} of iodine complex and inherent viscosity of Japonica type were higher than those of Tongil type. β -Amylolysis limit of the starches was not different between the two rice types. In the distribution of molecular weight of rice starch, the molecular size of amylose and amylopectin for Japonica type were smaller than those for Tongil type. The chain of rice starch distributed F1 of above DP 55, F2 of DP 40~50 and F3 of DP 15~20, and the ratio of F3 against F2 for Japonica type was higher than that of Tongil type. The results suggest that rice of Japonica and Tongil type was different molecular structure of starch.

Key words : rice, Japonica type, Tongil type, starch, molecular structure

서 론

쌀은 전세계 인구의 약 40%가 주식으로 이용하고 있는 곡류로서 크게 자포니카형 (Japonica type)과 인디카형 (Indica type)으로 구분되는데 전자는 쌀 알이 둥글고 밥은 끈기가 있으나 후자는 길고 가늘며 밥의 끈기가 약한 특징을 보인다(1). 우리나라에서는 전통적으로 자포니카형 쌀을 재배하여 왔으며 1970년대 이후에 자포니카와 인디카의 교배종인 통일계가 보급되었으나 최근 쌀의 과잉생산과 더불어 식미가 좋은 양질미에 대한 선호도의 증가로, 1993년 부터서는 통일계의 재배는 거의 사라지게 되었다.

일반적으로 쌀의 취반 특성 및 식미는 주로 전분의 아밀로오스와 아밀로펙틴의 구성비에 의하여 크게 영향받는 것으로 알려져 있다(2). 아밀로오스 함량에 따라 쌀을 분류할 때 우리나라 쌀은 아밀로오스 함량이 20% 내외로서 낮은 그룹에 속하며, 일반계와 통일계

사이에 큰 차이를 보이지 않는다. 그러나 식미는 일반계가 통일계 보다 좋은 것으로 인식되고 있다. 이러한 사실은 우리나라 쌀의 경우 아밀로오스 함량 차이만으로는 식미의 차이를 충분히 설명할 수 없음을 가리킨다.

최근 일반계와 통일계 쌀의 식미 차이를 이해하기 위하여 많은 연구가 이루어졌으나, 아직까지 뚜렷하게 규명되지 못하고 있다. 특히 쌀의 특성에 크게 영향을 주리라 생각되는 전분의 구조에 대한 연구는 아주 미미한 실정이다. 따라서 저자들은 지금까지 아밀로오스의 분자구조(3), 아밀로펙틴의 분자구조(4), 산처리 전분(5, 6) 그리고 열수 가용성(7) 및 불용성 전분(8)의 분자구조와 밥의 텍스처와의 관계를 연구를 행하여, 쌀 전분의 분자구조는 일반계와 통일계의 사이에 그 특성의 차이를 보이며, 또한, 밥의 텍스처에도 관계하고 있음을 밝혔다.

본 연구에서는 아직까지 보고되지 않은 계통이 다른 우리나라 쌀인, 일반계와 통일계 쌀 전분의 분자구조적 특성을 비교하므로써 쌀의 품질 특성 및 가공 적성을 이해하는 기초 자료를 마련하고자 하였다.

[†]To whom all correspondence should be addressed

재료 및 방법

재료

시료 벼는 전보(3-8)에서와 같은 일반계인 동진벼, 추청벼, 탐진벼와 통일계인 삼강벼, 남영벼, 용주벼를 사용하였다.

전분의 분리

쌀 전분의 분리는 알카리 침지법(9)으로 분리하였다.

분자구조적 성질 측정

전분의 요오드반응은 Williams 등(10)의 방법에 따라 측정하였다. 시료(0.5g/100ml)의 고유점도는 모세관 점도계(Cannon-Ubbelohde, No. 75)를 사용하여 30°C에서 측정하였다(11). β -아밀라아제 분해 한도는 Suzuki 등(12)의 방법에 의하여 전당(13)과 환원당(14)의 비율로서 구하였다.

전분의 분자량 분포

전분의 분자량 분포는 Sepharose CL-2B 컬럼(1.6×95cm)을 이용하여 조사하였다(6). 시료 10mg을 DMSO 0.5ml와 물 1.5ml를 가하여 끓는 수조에서 용해시킨 다음 1ml를 컬럼에 주입하고 0.02% sodium azide를 함유한 증류수로 시간당 12.5ml의 속도로 20°C에서 용출시키면서 3ml씩 분획하였다. 각 획분에서 0.5ml를 취하여 총당을 페놀-황산법(11)으로 측정하고, 그의 용출양상으로 분자량 분포를 조사하였다. 한편 컬럼의 보정은 void volume 측정을 위하여 dextran(분자량 $5 \times 10^6 \sim 4 \times 10^7$, Sigma사)를 사용하였고, total volume은 글루코오스를 사용하였다.

전분의 사슬 분포

전분의 사슬 분포는 pullulanase로 알파-1,6 결합을

절지한 후 Sephadex G-50 컬럼을 이용하여 조사하였다(6). 효소처리는 시료 25mg을 DMSO 1ml와 0.1M 초산완충용액(pH 4.6) 4ml를 가하고 끓는 수조에서 완전히 녹인 다음, pullulanase 1 단위를 가하고 37°C에서 48시간 반응시킨 다음 30분간 가열하여 반응을 종료시켰다.

반응액 1ml를 Sephadex G-50 컬럼(2.8×88cm)에 주입하고 0.02% sodium azide를 함유한 10mM 인산완충용액(pH 7)으로 시간당 21ml 속도로 20°C에서 용출시키면서 5ml씩 분획하였다. 각 획분에서 0.5ml를 취하여 총당을 페놀-황산법(13)으로 측정하여 용출 패턴을 조사하고 사슬 분포를 측정하였다.

컬럼 검사와 void volume은 Blue dextran 2,000(Pharmacia사)를 사용하고 total volume은 글루코오스를 사용하여 결정하였다. 컬럼의 보정은 절지된 아밀로펙틴(30mg/1ml)과 산처리 전분(2.5일 처리, 30mg/1ml)을 주입하여 용출시키고 분획하여 그 획분에 대하여 총당(13)과 환원당(14)을 측정하여 중합도(DPn)를 결정하였다.

결과 및 고찰

구조적 일반성질

전분에 대한 요오드반응, 고유점도, β -아밀라아제 분해 한도는 Table 1과 같다. 전분-요오드 복합체에 대한 625nm에서 흡광도는 일반계가 통일계 보다 약간 높았으며, 최대 흡수파장은 일반계가 594nm, 통일계가 584nm이었다. 쌀전분의 고유점도는 일반계가 106~118ml/g, 통일계가 129~144ml/g으로서 일반계가 낮았다. 이(15)는 일반계(13품종)와 통일계(12품종) 현미전분의 고유점도는 164~198ml/g으로서 일반계와 통일계 사이에 유의적인 차이가 없다고 하였다. 쌀전분의 β -아밀라아제 분해 한도는 66.1~68.9%로서 일반계인 탐진벼와 통일계인 용주벼가 66% 정도로서 다른 품종 보다 2% 정

Table 1. Properties of rice starches

	Iodine reaction		Inherent viscosity (ml/g)	β -Amylolysis limit(%)
	A625 ¹⁾	λ_{max} (nm)		
Japonica type				
Tongjinbyeo	0.250	594	118	68.4
Chucheongbyeo	0.255	594	116	68.7
Tamjinbyeo	0.252	594	106	66.1
Tongil type				
Samgangbyeo	0.244	584	129	68.9
Namyongbyeo	0.240	584	144	68.0
Yongjubyeo	0.238	584	143	66.5

¹⁾Asorbance at 625nm of starch-iodine complex

도 낮았으며 조 등(16)이 보고한 73% 보다는 약간 낮은 값을 보였다.

전분의 분자량 분포

전분의 Sepharose CL-2B에 의한 용출 패턴은 Fig. 1과 같이 세개의획분을 보였다. 요오드 복합체의 최대 흡수 파장은 획분 1이 550nm, 획분 2가 580nm, 그리고 획분 3이 625nm 부근이었다. 각 획분의 요오드 최대 흡수 파장으로 보아 획분 1은 아밀로펙틴, 획분 2와 획분 3은 주로 아밀로오스로서 획분 2는 획분 3 보다 큰 아밀로오스 또는 분지상 아밀로오스와 사슬 길이가 짧은 아밀로펙틴으로 추정된다(17).

Fig. 1의 각 획분의 면적 비율로부터 계산한 탄수화물 분포를 보면 Table 2와 같다. 각 획분의 탄수화물 함량은 획분 1은 일반계가 통일계 보다 낮았으나 획분 2와 획분 3은 일반계가 약간 높았다. 일반계 중 동진벼와 추청벼, 그리고 통일계인 남영벼와 용주벼는 획분의 비율이 비슷하였다. 일반계인 탐진벼와 통일계인 삼강벼는 서로 비슷한 획분의 비율을 보였으나, 탐진벼는 일반계의 다른 품종 보다 획분 1의 비율이 크고 획분 2와 3은 낮았으며 삼강벼는 획분 1의 비율이 통일계의 다른 품종 보다 낮았고 획분 2와 3은 높았다.

전체 아밀로오스와 아밀로펙틴의 함량에 대한 각 획분의 아밀로오스와 아밀로펙틴의 함량을 보면 다음과 같다. 아밀로펙틴인 획분 1의 경우 일반계는 전체 아밀로펙틴의 86.5~87.5%, 통일계는 전체 아밀로펙틴의 87.6~91.1%를 차지하였으며, 아밀로오스인 획분 3은 일반계가 전체 아밀로오스의 58.4~58.7%, 통일계가 53.7~57.7%이었다. 나머지 아밀로펙틴과 아밀로오스는 획분 2에서 용출되었다. 이러한 결과, 즉, 획분 1의 아밀로펙틴 함량이 일반계가 통일계 보다 낮고 획분 3의 아밀로오스 함량이 일반계가 높은 것은 기본적으로 일반계와 통일계의 아밀로오스 함량의 차이에 기인하는 것으로 생각된다. 또한 전체 아밀로펙틴에 대한 획분 1의 아밀로펙틴 비율은 일반계가 통일계 보다 작으며 획분 2에 대한 비율은 일반계가 통일계 보다 큰 것으로 보아 아밀로펙틴의 분자 크기는 일반계가 통일계 보다 작을 것으로 볼 수 있다. 그리고 아밀로오스의 경우, 전체 아밀로오스에 대한 획분 3의 아밀로오스는 일반계가 통일계 보다 크고 획분 2에 대한 비율은 일반계가 더 작은 것으로 보아 아밀로오스의 분자 크기는 일반계가 통일계 보다 더 작은 것으로 볼 수 있다.

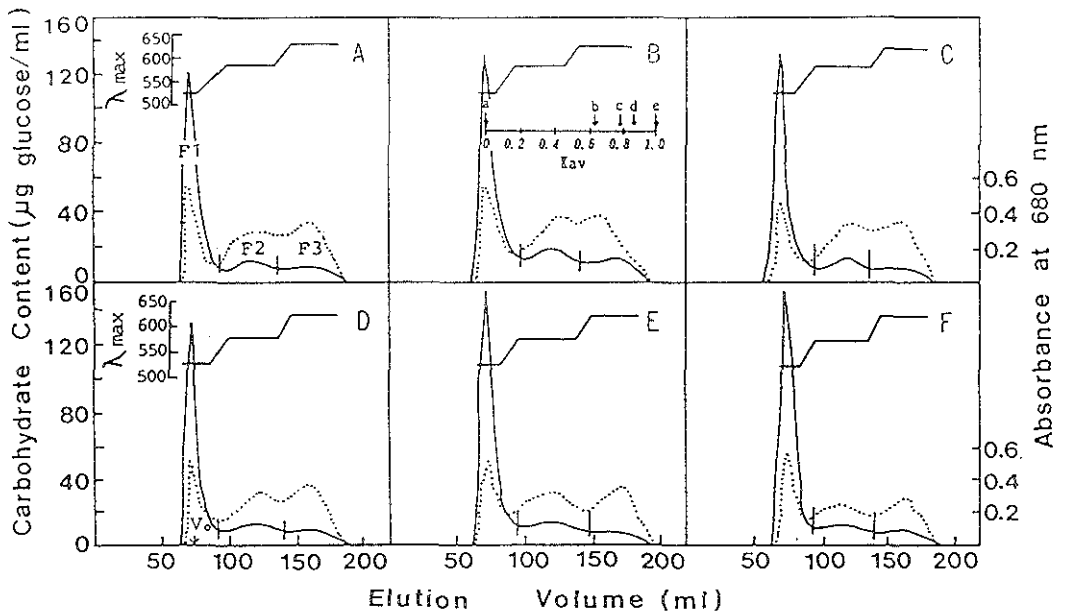


Fig. 1. Elution profiles of Sepharose CL-2B of rice starches.

Solid line indicates carbohydrate content and dotted line indicates absorbance at 680nm.

- A : Tongjinbyeo
- B : Chucheonbyeo
- C : Tamjinbyeo
- D : Samgangbyeo
- E : Namyongbyeo
- F : Yongjubyeo

- a : Dextran (M.W. $5 \times 10^6 \sim 40 \times 10^6$)
- b : Dextran T-500 (M.W. 50×10^4)
- c : Dextran T-40 (M.W. 4×10^4)
- d : Dextran T-10 (M.W. 1×10^4)
- e : Glucose

Table 2. Carbohydrate proportion (%) and distribution (%) of amylose and amylopectin of each fraction in gel chromatography of rice starches

	Amylose content (%)	F1		F2			F3	
		Amylopectin ¹⁾ (AP)	AP/TAP ²⁾	(AP+AS) ³⁾	AP/TAP ³⁾	AS/TAS ⁴⁾	Amylose ¹⁾ (AS)	AS/TAS ⁵⁾
Japonica type								
Tongjinbyeo	21.0	68.4	86.5	19.3	13.5	41.3	12.3	58.7
Chucheongbyeo	20.8	68.1	86.0	19.8	14.0	41.6	12.1	58.4
Tamjinbyeo	20.4	69.7	87.5	18.4	12.5	41.6	11.9	58.4
Tongil type								
Samgangbyeo	19.6	70.5	87.6	18.3	12.4	42.3	11.2	57.1
Namyongbyeo	18.8	73.3	90.2	16.3	9.8	44.5	10.4	55.5
Yongjubyeo	19.5	73.3	91.1	16.2	8.9	46.3	10.5	53.7

¹⁾Carbohydrate proportion (%) of each fraction

²⁾Ratio of amylopectin in F1 (AP) to total amylopectin (TAP)

³⁾Ratio of amylopectin in F2 (AP) to total amylopectin (TAP)

⁴⁾Ratio of amylose in F2 (AS) to total amylose (TAS)

⁵⁾Ratio of amylose in F3 (AS) to total amylose (TAS)

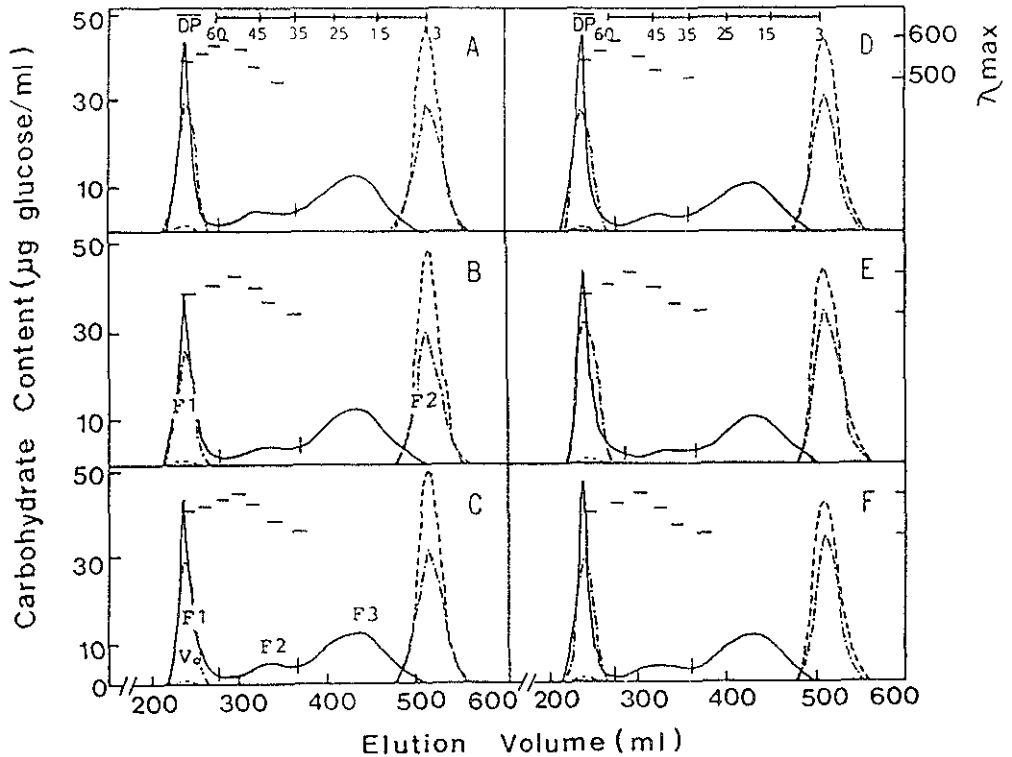


Fig. 2. Elution profiles of Sephadex G-50 of rice starches treated with pullulanase(—), β -amylase(- - -) and combination(- · - ·).

A : Tongjinbyeo

B : Chucheongbyeo

C : Tamjinbyeo

D : Samgangbyeo

E : Namyongbyeo

F : Yongjubyeo

전분의 사슬 분포

쌀 전분을 pullulanase, β -amylase 그리고 두 효소를 함께 처리한 다음 Sephadex G-50으로 용출 패턴을 보면 Fig. 2와 같다. Pullulanase로 분지했을 때의 용출 패

턴을 보면 세개의획분을 보였으며, 획분 1은 \overline{DP} 55 이상의 부근, 획분 2는 \overline{DP} 40~50 부근과 획분 3은 \overline{DP} 15~20 부근에서 용출되었다. β -Amylase로 가수분해한 전분은 void volume 부근(획분 1)과 \overline{DP} 3 부근(획분 2)

에 두 개의 획분을 보였다. 한편 두 효소를 함께 처리한 경우에는 void volume 부근에 흔적 정도의 획분과 \overline{DP} 3 부근에서 획분을 보였다. Kayisu와 Hood(18)는 바나나 전분을 pullulanase, β -amylase, pullulanase 그리고 β -amylase \rightarrow pullulanase \rightarrow β -amylase의 순서로 처리하고 Sephadex G-50으로 용출 시킨 결과 void volume 부근에서 작은 획분(면적 비율 0.8%)를 보인다고 하였다.

Fig. 2의 각 획분의 탄수화물 분포 비율을 보면 Table 3과 같다. Pullulanase로 분지했을 때 각 획분의 비율을 보면 일반계의 획분 1은 39.12~40.11%로서 통일계의 42.36~45.62% 보다 낮았으나 획분 3은 약간 높았고 획분 2는 비슷하였다. 아밀로오스를 16% 함유한 바나나 전분을 pullulanase 처리하고 Sephadex G-50으로 용출했을 때 획분 1의 탄수화물 비율은 38%로 알려져 있다(18). 획분 2에 대한 획분 3의 비율은 일반계가 3.49~3.70으로서 통일계의 3.15~3.32 보다 약간 높았다. 획분 2와 획분 3은 아밀로펙틴이 pullulanase에 의해 분지된 사슬이므로 일반계가 획분 2에 대한 획분 3의 비율이 통일계 보다 높은 것은 일반계가 통일계 보다 더 짧은 사슬을 많이 가지고 있음을 의미한다.

β -amylase로 가수분해 했을 때 획분 1의 비율은 일반계가 통일계 보다 낮았으나 획분 2의 비율은 높았다. 획분 2의 비율은 β -아밀라아제 분해 한도(Table 1)와 비슷한 값을 보였다. 따라서 β -amylase로 가수분해 했을 때 획분 1은 β -한계 덱스트린, 획분 2는 말토오스로

분수 있다. 두 효소를 함께 처리 했을 때 주 획분은 β -amylase로 가수분해한 전분의 획분 2와 같은 위치에서 나타나므로 두 효소의 처리에 의하여 전분은 대부분이 말토오스로 가수분해 된다고 볼 수 있다.

전분의 구조적 성질과 밥의 텍스처

쌀 전분의 구조적 성질과 밥의 텍스처와의 상관관계는 Table 4과 같다. 밥의 텍스처는 전보(3)의 결과를 인용하였다. 쌀 전분의 고유 점도는 밥의 경도와 정의 상관관계를 보였으나, β -아밀라아제 분해 한도는 밥의 텍스처와 상관관계를 보이지 않았다. Sepharose CL-2B에 의한 전분의 용출 획분 중 아밀로펙틴 분획인 획분 1은 밥의 경도와는 정의 상관관, 부착성과는 부의 상관관을 보였으나, 획분 2와 획분 3은 반대로 밥의 경도와는 부의 상관관, 부착성과는 정의 상관관을 보였다. 또한, 전분을 pullulanase로 α -1,6 결합을 분해 한 후 Sephadex G-50에 의한 쌀 전분의 사슬 분포에서 \overline{DP} 55 이상의 획분 1은 밥의 경도와 정의 상관관, 부착성과는 부의 상관관을 보였다. 그러나 \overline{DP} 15~20의 획분 3과 획분 2에 대한 획분 3의 비율은 밥의 경도와 부의 상관관, 그리고 부착성과는 정의 상관관을 보였다. 이러한 결과는 쌀 전분의 분자량 분포와 사슬 분포, 즉, 분자 구조는 밥의 텍스처와 관련이 있음을 보여 주었다.

Table 3. Carbohydrate proportion (%) of each fraction in gel chromatography of rice starches debranched by pullulanase and hydrolyzed by β -amylase

	Debranched by pullulanase				Hydrolyzed by β -amylase		
	F1	F2	F3	F3/F2	F1	F2	F2/F1
Japonica type							
Tongjinbyeo	40.1	13.2	46.7	3.54	30.3	69.7	2.30
Chucheongbyeo	39.1	13.0	47.9	3.70	29.8	70.2	2.36
Tamjinbyeo	39.2	13.6	47.2	3.49	30.5	69.5	2.28
Tongil type							
Samgangbyeo	42.4	13.6	45.0	3.32	31.9	69.1	2.17
Namyongbyeo	45.6	13.6	42.8	3.15	31.1	68.9	2.21
Yongjubyeo	44.7	13.8	43.5	3.16	32.0	68.0	2.13

Table 4. Correlation coefficients between structural properties of rice starch and texture of cooked rice

	Inherent viscosity	β -amylolysis limit	Native starch			Debranched with pullulanase			
			F1	F2	F3	F1	F2	F3	F3/F2
Hardness ¹⁾	0.9345**	-0.2818	0.9347**	-0.9355**	-0.9584**	0.9761**	-0.7579	-0.9718**	-0.9602**
Adhesiveness ¹⁾	-0.7849	0.3782	-0.9012*	0.9234**	0.9063*	-0.9049*	-0.8970*	0.9368**	0.9823**

Significant at * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$

¹⁾Data from ref. 3.

요 약

우리나라 쌀 중 그 계통이 서로 다른 일반계와 통일계 쌀의 품질 특성 및 가공 적성을 이해하기 위하여 쌀 전분의 분자 구조적 특성을 조사하였다. 쌀 전분의 요오드 복합체 최대 흡수 파장은 일반계(594nm)가 통일계(584nm) 보다 높았으나, 고유점도는 일반계가 통일계 보다 낮았다. 그러나 β -아밀라아제 분해 한도는 큰 차이를 보이지 않았다. 쌀 전분의 분자량 분포에서, 아밀로펙틴과 아밀로오스의 분자 크기는 일반계가 통일계 보다 모두 작았다. 쌀 전분의 사슬 분포는 \overline{DP} 55 이상의 획분 1, \overline{DP} 40~50의 획분 2 그리고 \overline{DP} 15~20의 획분 3으로 분획되었는데, 획분 2에 대한 획분 3의 비율은 일반계가 3.49~3.70으로 통일계의 3.15~3.32 보다 컸다. 또한 β -한계 덱스트린에 대한 β -amylase 분해물의 비율은 일반계가 2.28~2.36, 통일계가 2.13~2.21이었다. 쌀 전분의 구조적 성질은 밥의 텍스처와 관련성이 있었다. 이러한 결과는 일반계와 통일계 쌀은 전분의 분자 구조에서 차이가 있음을 시사하고 있다.

문 헌

1. Juliano, B. O. : In "Rice Chemistry and Technology" Juliano, B. O. (ed.), American Association of Cereal Chemists, Inc., St. Paul, Minnesota, USA, p.443 (1985)
2. Juliano, B. O. : The International Rice Research Institute, Los Banos, Philippines, p.69 (1979)
3. Kang, K. J., Kim, K., Kim, S. K. and Murata, A. : Relationship between molecular structure of amylose and texture of cooked rice of Korean rice. *J. Applied Glycosci.*, **41**, 35 (1994)
4. 강길진, 김관, 김성곤 : 쌀의 아밀로펙틴 분자구조와 밥의 텍스처. *한국식품과학회지*, **27**, 105 (1995)
5. Kang, K. J., Kim, K. and Murata, A. : Molecular structure characterization of acid-treated starches from Korean rices. *Bull. Fac. Agr. Saga Univ.*, **76**, 113 (1994)
6. Kang, K. J., Kim, K. and Kim, S. K. : Three stage hydrolysis pattern of rice starch by acid-treatment. *J. Applied Glycosci.*, **41**, 211 (1994)
7. 강길진, 김관, 김성곤 : 열수 가용성 쌀 전분의 구조와 전분의 구조 및 밥의 텍스처와의 관련성. *한국식품과학회지*, **27** (1995)
8. 강길진, 김관, 김성곤 : 열수 불가용성 쌀 전분의 구조적 성질. *한국식품과학회지*, **27**, 631 (1995)
9. Yamamoto, K., Sawada, S. and Onogaki, T. : Properties of rice starch prepared by alkali method with various conditions. *Denpun Kagaku*, **20**, 99 (1973)
10. Williams, P. C., Kuzina, F. D. and Hlynka, L. : A rapid colorimetric procedure for estimating the amylose content of starches and flours. *Cereal Chem.*, **47**, 411 (1970)
11. Corn Refiners Association : Standard analytical methods, Method B-61. The Association, Washington, D. C. (1982)
12. Suzuki, A., Hizukuri, S. and Takeda, Y. : Physicochemical studies of Kuzu starch. *Cereal Chem.*, **58**, 286 (1981)
13. Dubois, M., Gilles, K., Hamilton, J. K., Revers, P. A. and Smith, F. : Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Anal. Chem.*, **28**, 350 (1956)
14. Hizukuri, S., Takeda, Y., Yasuda, M. and Suzuki, A. : Multi-branched nature of amylose and the action of debranching enzymes. *Carbohydr. Res.*, **94**, 205 (1981)
15. 이수정 : 일반계와 다수계 현미의 몇가지 특성 비교. *단국대학교 석사학위 논문* (1991)
16. 조형용, 이신영, 양용, 변유량 : 쌀 전분과 그 구성 성분의 분자 구조적 성질. *한국식품과학회지*, **19**, 371 (1987)
17. Hizukuri, S., Takeda, Y., Maruta, N. and Juliano, B. O. : Molecular structure of rice starch. *Carbohydr. Res.*, **189**, 227 (1989)
18. Kayisu, K. and Hood, L. F. : Molecular structure of banana starch. *J. Food Sci.*, **46**, 1894 (1981)

(1995년 6월 2일 접수)