

아밀로스 함량이 다른 자포니카 벼 품종의 전분 특성

송진[†] · 김재현 · 김덕수 · 이춘기 · 윤종탁 · 김선림 · 서세정

농촌진흥청 작물과학원

Physicochemical Properties of Starches in Japonica Rices of Different Amylose Content

Jin Song[†], Jae-Hyun Kim, Deog-Su Kim, Choon-Ki Lee, Jong-Tag Youn, Sun-Lim Kim, 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 find out starch properties of rice grains in three varieties with different amylose content, Ilpumbyeo (non-waxy), Goami2 (high amylose), and Hwasunchalbyeo (waxy rice). There was no difference among physico-chemical characteristics of rice grains, but Goami 2 showed 2~3 folds higher crude fat (1.36%) than Ilpumbyeo. Pasting properties of RVA showed the highest values of maximum viscosity, breakdown, and final viscosity in Ilpumbyeo. A similar chain length distribution of amylopectin was found in Ilpumbyeo and Hwasunchalbyeo, indicating that DP 12 had the highest distribution. Goami 2 had the highest distribution in DP 14, and showed the lower percent (14.1%) than other rice cultivars. Thermal properties of DSC showed that the values of Tc and Tp of Hwasunchalbyeo were similar to Ilpumbyeo, whereas a slightly higher Tc was observed. The absorption enthalpy was also the highest (11.1 mJ/mg) in Hwasunchalbyeo. Goami 2 showed higher To, but the lowest enthalpy (6.52 mJ/mg) compared to Ilpumbyeo (7.92 mJ/mg). Retrogradation properties, which were measured with the gelatinized rice sample used for DSC, and stored in 4°C during 6 days, indicated that retrogradation absorption peak was the first peak at 52.6~55.2°C, and the second peak above 95°C. Retrogradation enthalpy of Goami 2 was the highest value (5.12 mJ/mg).

Keywords : amylose, amylopectin, DSC, RVA, gelatinization, retrogradation

쌀은 건조중량의 약 90%가 아밀로스 및 아밀로펙틴으로 구성된 전분으로 이루어져 있으며 품종에 따라 차이는 있으나

[†]Corresponding author: (Phone) +82-31-290-6789
(E-mail) songjin@rda.go.kr <Received March 19, 2008>

일반적으로 찰벼는 약 0.8~1.3%의 아밀로스를 지니며, 찰벼를 제외한 자포니카 타입의 일반미는 8~37%의 아밀로스와 나머지는 아밀로펙틴으로 이루어져 있다. 일반적으로 쌀은 아밀로스 함량에 따라 1~2%는 waxy, 7~20%는 저 아밀로스, 20~25%는 중간 아밀로스와 25% 이상의 고 아밀로스 로 분류된다.

아밀로스는 α -(1→4)-linked D-glucopyranosyl units이 직쇄상으로 연결되어진 구조를 지니고 있으며 분자량은 $1 \times 10^5 \sim 1 \times 10^6$, 중합도(Degree of polymerisation, DP) 324~4920, 평균 사슬길이 250~370, β -amylolysis limit(%) 73~84%이다. 아밀로펙틴은 95%의 α -(1→4)-linked D-glucosyl과 5%의 α -(1→6)-bonds으로 이루어져 있으며 알려진 분자량은 대략 $1 \times 10^7 \sim 1 \times 10^9$, 중합도 9600~15,900, 평균 사슬길이 12~24, β -amylolysis limit(%) 49~59%이다.

아밀로스 함량에 따라 벼의 호화 및 노화특성 등 품질은 많은 차이를 보이는데 일반적으로 전분의 호화특성은 전분 입자의 크기, 아밀로스와 지방 함량 및 아밀로펙틴 구조에 의해 영향을 받는다고 알려져 있다. 호화개시온도는 아밀로스 함량이 많을수록 높아진다는 보고가 있으며 그 이유로 홍 등(1989)은 고아밀로스 품종의 전분 입자들은 아밀로스 함량이 낮은 품종보다 밀집된 상태의 입자로 되어 있어 호화시 팽창에 대한 저항성이 높아진다고 하였다. 한편 Huang 등(2007)은 호화개시온도가 높을수록 보다 치밀한 결정구조를 지님을 의미하고, Matveev 등(1991)은 결정내 보다 긴 체인이나 큰 결정 구조간의 상호작용에 의해서라고 하였다. Suzuki 등(2006)은 찰쌀을 분석한 결과 자포니카산 찰벼의 중합도 37이상에서 최소 및 최종 점도, 치반점도, 호화온도와 정의 상관관계가 있었으며 중합도 13이상 사슬이 차지하는 비율은 밥의 물리적 특성과 매우 강한 상관관계가 있

있음을 보고하였다.

또한 전분의 아밀로펙틴 구조 분포와 노화특성에 대한 관계도 발표가 되고 있다. Chang 등(2007)은 호화시킨 후 4°C에서 7일간 노화 시킨 찹쌀 전분의 T_0 (Onset temperature)은 아밀로펙틴의 중합도가 증가함에 따라 같이 증가되며 짧은 아밀로펙틴 사슬길이와는 반비례함을 보고하면서 찹쌀 전분의 노화특성은 분자크기, 아밀로펙틴 평균 사슬 길이 및 분포와 매우 관련이 있음을 주장하였다. 본 실험은 아밀로스 함량이 다른(고아밀로스벼, 일반벼, 찰벼) 세 품종의 자포니카 타입 쌀을 이용하여 호화특성과 노화특성 등 몇가지 전분 특성을 조사한 결과이다.

재료 및 방법

시험재료

본 실험에 사용된 벼 품종은 자포니카 타입 일반미인 일품벼와 일품벼에 MNU 처리에 의해 돌연변이를 유발하여 육성된 난소화성 전분 함량 및 아밀로스 함량이 높은 고아미 2호 및 화선찰벼를 시험재료로 2006년 농촌진흥청 작물과학원 시험포장에서 재배 생산하고, 수확 후 벼의 수분함량을 15%로 조제하였으며 실험실용 현미기(T.H.U 35A, Satake)로 현미를 만들고 실험실용 정미기(MCM-250, Satake)로 현미중량을 기준으로 92% 도정하여 10분도 백미를 만들어 실험에 사용하였다. 실험을 위한 쌀전분은 알칼리침지법으로 조제하였다.

쌀의 경도 및 외관특성

일반성분은 A.O.A.C. 방법으로, 아밀로스 함량은 Juliano (1971)의 방법에 의하여 조사하였으며, 시료의 입형(길이, 폭, 두께)은 곡립판별기(SatakeE, RGQ120, Japan)를 이용하여 1000립 중 완전미를 측정된 평균값을 나타내었다. 백도는 백도계(C-300, Kett, Japan), 색차는 색차계(Minolta chromameter CR-200, Japan)로 측정하여 Hunter L, a, b값으로 표시 하였다.

신속점도측정기에 의한 호화특성

쌀가루의 호화특성은 신속점도측정기(RVA-3D, Newport Scientific, Sydney, Australia)를 이용하여 사용 시료량은 백미가루 3.5 g(수분함량 15% 환산)에 증류수 25 ml를 첨가하였다. 호화온도 조건은 초기온도 50°C에서 1분, 3.9분 동안 50~93°C 가온, 93°C에서 7분간 유지하였다. 냉각은 93~50°C까지 3.9분간, 최종온도는 50°C에서 3분간을 유지하였

다. 실험 후 초기 호화온도, 최고점도, 최저점도, 최종점도, 강하점도, 치반점도를 계산, 비교하였다.

주사시차열량계에 의한 호화 및 노화 열 특성

쌀전분의 호화 및 노화 열특성은 주사시차열량계(DSC, TA Q1000, TA instrument, US)로 쌀가루의 호화 및 노화 열 특성을 측정하였다. 약 20 mg 건조된 시료를 알루미늄 팬에 담고 40 μ l의 증류수를 넣어 밀봉한 후 1시간동안 방치한 후 30°C에서 150°C까지 10°C/min의 속도로 가열하며 얻은 흡열피크에서 onset, peak와 conclusion temperature 및 호화엔탈피를 측정하였다. 한편 호화된 시료는 6일간 4°C에서 각각 저장 후 다시 DSC를 이용하여 같은 조건으로 측정하여 품종별 노화에 의한 열적 특성을 조사하였다.

아밀로펙틴 구조 분석

시료의 아밀로펙틴 사슬 분포를 측정하기 위해 HPAEC-PAD 방법으로 Suzuki 등(2006)의 방법에 의해 시료 전처리 및 분석하였다.

조제된 시료는 dionex ion chromatography(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 sodium hydroxide solution과 500 mM sodium acetate를 포함한 150 mM sodium hydroxide를 사용하였으며 시료 주입량은 25 μ l이며 시간에 따른 용매의 농도를 달리하여 분석하였다. 분석결과는 중합도 5~56까지 조사되어 각 중합도별 백분율로 구하였고, 품종간 중합도 차이를 알아보기 위하여 일품벼의 아밀로펙틴 사슬 구조에서 고아미2호 및 화선찰벼 각 중합도와의 차(subtraction)를 구하였다.

통계분석

분석된 결과의 통계분석은 SAS Enterprise Guide 3.0 (Statistical analysis system, 2004) 프로그램을 이용하여 평균, Duncan의 다중검정을 실행하였다.

결과 및 고찰

일반성분 및 외관특성

시험에 사용된 시료의 일반성분을 조사한 결과는 Table 1와 같다. 고아미 2호는 지방, 단백질, 조섬유, 회분이 다른 품종에 비해 유의하게 높았으며 백도는 낮았다. 아밀로스함량은 일품벼는 자포니카 타입 일반미의 범위인 18~20%에

Table 1. Proximate composition in milled rice of samples

Varieties	Lipid (%)	Protein (%)	Fiber (%)	Ash (%)	Amylose content (%)
Ilpumbyeo	0.58	7.02	0.33	0.41	17.3
Goami 2	1.36	6.25	0.58	0.85	22.1
Hwasunchalbyeo	1.02	6.41	0.40	0.62	nd [†]

[†]nd : not detected

Table 2. Shape and color characteristics of milled rice used.

Varieties	Length (mm)	Width (mm)	Thickness (mm)	Length/Width	Color and color difference [†]			Whiteness
					L	a	b	
Ilpumbyeo	4.50	2.72	1.93	1.65	68.0	0.16	13.4	38.5
Goami 2	3.92	2.61	1.76	1.51	70.6	1.64	15.4	36.3
Hwasunchalbyeo	4.92	2.84	2.00	1.73	74.7	0.23	12.9	49.0

[†]L: Lightness, a: redness, b: yellowness

속하는 17.3%였고, 고아미2호는 다소 높은 22.1%였으며 아밀로펙틴만으로 구성되어있는 화선찰벼는 측정되지 않았다.

쌀 시료의 입형과 색은 Table 2와 같다. 고아미2호는 길이, 너비 및 두께가 모두 가장 작은 값을 나타내었고, 장폭비도 1.51로 가장 작았으나 시험에 사용된 세 품종은 농촌진흥청 조사기준(2003)에 의해 모두 장폭비가 2.00이하 형에 속하였다. 시료의 색은 화선찰벼는 찰벼의 특징인 불투명한 배유 특성을 나타내어 백도와 명도가 가장 높게 나타났고 고아미2호는 적색도가 높고, 심복백에 의한 영향으로 명도가 높게 나타났다.

신속점도측정기에 의한 호화특성

RVA를 이용하여 아밀로그래프 특성을 비교해 보면 Table 3에서와 같이 시료의 호화특성은 최고점도와 최종점도 등에서 품종간에 현저한 차이를 나타내었다. 고아미2호는 강등(2004)의 보고에서와 같이 호화개시 온도가 82.2°C로 매우 높고, 최고점도와 최저점도는 일품벼에 비해 상당히 낮은 반면 최종점도가 상대적으로 높아 강하점도(-0.47 RVU)

는 낮고 치반점도(83.1 RVU)는 높은 특징을 보였으며, 화선찰벼의 호화개시온도는 일반 메벼인 일품벼와 비슷한 68.5°C였으며 최고 및 최저 점도는 일품벼에 비해 상당히 낮고, 치반점도 또한 가장 낮은 값을 나타냈다. 이 결과는 임 등(1995)이 RVA를 이용한 메벼와 찰벼와의 아밀로그래프 특성 비교실험을 통해 호화개시 온도는 약 68°C로 비슷하며 메벼가 찰벼보다 최고 및 최종점도가 높았고 메벼 중 통일형의 최고점도가 자포니카보다 높다고 한 것과 같은 결과이다.

아밀로펙틴 구조 분석

Fig. 1는 HPAEC-PAD를 이용하여 분석되어진 아밀로펙틴 구조를 중합도에 따라 Hanashiro 등(1996)의 방법에 의해 중합도 6~12, 13~24, 25~36, 37이상 사슬의 분획별 비율을 나타낸 그림이고, Table 4는 결과이다. 화선찰벼의 아밀로펙틴 구조 분포는 일품벼의 구조 분포와 매우 유사한 형태를 보이며 중합도 12에서 가장 높은 분포를 보였으나 고아미2호는 두 품종에 비해 짧은 사슬의 분포가 적고 중합도

Table 3. Pasting properties of rice flours of varieties by RVA (Unit: RVU)

Varieties	Maximum Viscosity	Minimum Viscosity	Break down	Final Viscosity	Setback	Pasting Temp (°C)
Ilpumbyeo	309.4 ^a	193.6 ^a	115.8 ^a	330.7 ^a	137.1 ^a	64.2 ^c
Goami 2	100.9 ^b	91.2 ^b	-0.47 ^c	174.3 ^b	83.1 ^b	82.2 ^a
Hwasunchalbyeo	89.1 ^c	61.3 ^c	27.8 ^b	90.1 ^c	28.9 ^c	68.5 ^b

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

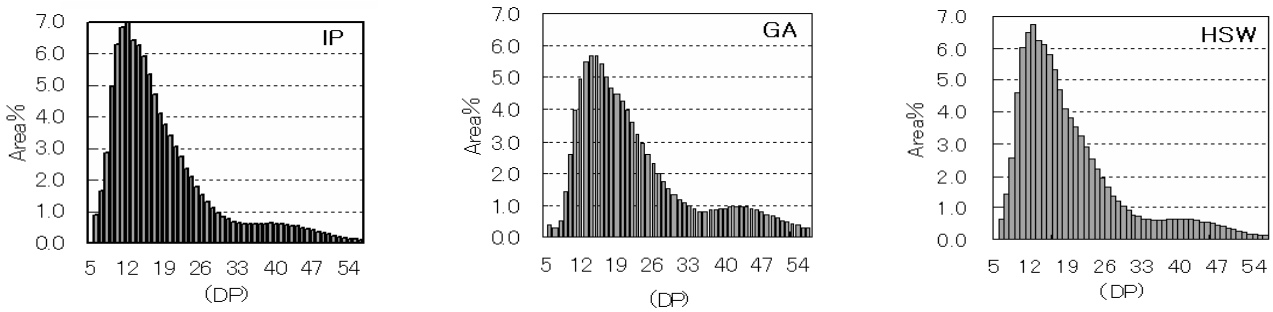


Fig. 1. Chain-length distributions of amylopectins by HPAEC-PAD. Abbreviation: IP, Ilpumbyeo; GA, Goami 2; HSW, Hwasunchalbyeo

Table 4. The proportions of fractions, fa, fb₁, fb₂ and fb₃ of the rice flours

Varities	fa [†]	fb ₁	fb ₂	fb ₃	fb ₁₊₂₊₃	fb ₁ /fa	(fa+fb ₁)/(fb ₂ +fb ₃) [‡]
Ilpumbyeo	30.45	50.14	11.41	8.00	69.55	1.65	4.09
Goami 2	14.12	54.44	17.28	14.16	85.88	3.86	2.18
Hwasunchalbyeo	28.59	50.65	12.15	8.61	71.41	1.77	3.84

[†]fa: DP 6~12, fb₁: DP 13~24, fb₂: DP 25~36, fb₃: DP 37>

[‡]Number of chains per cluster

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

14~15에서 가장 높은 분포를 나타냈다. 이 결과는 Hanashiro 등(1996)이 쌀과 밀 등 10 여종의 전분 함유 작물의 아밀로펙틴 구조를 조사하여 찹쌀과 일반미의 아밀로펙틴 구조가 매우 비슷한 분포를 보이며 각각의 가장 큰 중합도 값은 71과 68이었으며 중합도 12에서 가장 높은 분포도를 보이는 등 두 종류의 시료는 매우 비슷한 분포를 나타냈다고 한 것과 비슷했다.

아밀로펙틴 사슬 분포도(그림 1)에서 본 바와같이 고아미 2호는 중합도 6~12의 짧은 사슬이 14.1%로 다른 품종의 28.14~30.45%에 비해 상당히 낮게 나타났고 이 결과는 고아미로스 전분의 아밀로펙틴 미세구조가 짧은 체인보다 긴 체인을 가지는 경향이 있다는 Reddy 등(1993)과 같은 결과

이다. Yasuhito and Isao(2003)의 방법에 따라 계산된 하나의 cluster에 연결된 체인의 수는 고아미2호가 2.18개로 가장 적고, 화선찰벼 3.84, 일품벼 4.09의 순으로 많은 것으로 조사되었다.

Fig. 2는 일품벼에서 고아미2호 및 화선찰벼 각 품종의 중합도와의 차(subtraction)를 구한 그림으로 각 그래프의 패턴은 유사하게 나타났으나 일품벼와 화선찰벼의 중합도 차이가 ±0.4인 것에 비해 일품벼와 고아미2호와의 중합도 차는 4.0~1.0으로 매우 넓은 범위를 차지하여 고아미2호의 아밀로펙틴 분포가 매우 다르게 구성되어 있음을 알 수 있었다. 두 그래프 모두 중합도 17을 지나며 양의 값에서 음의 값으로 나타나 일품벼는 DP 16 이하의 짧은 사슬이 보

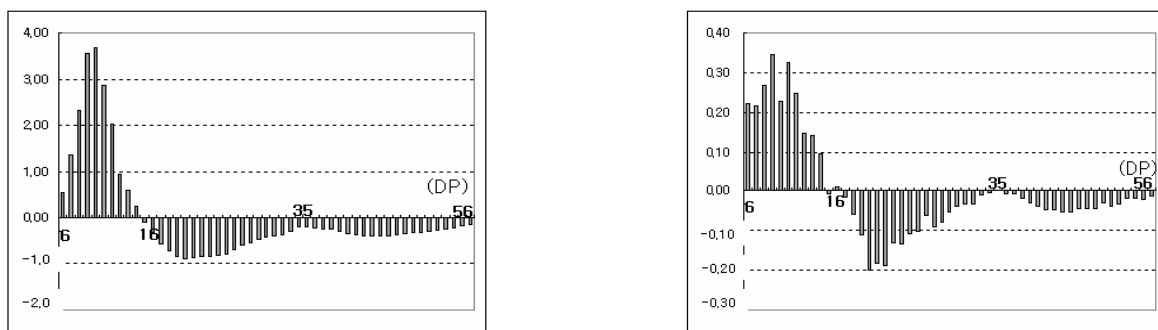


Fig. 2. The chain length difference of the Ilpumbyeo and Goami 2 (Left) and Ilpumbyeo and Hwasunchalbyeo (Right).

다 많으며 DP 17이상 긴 사슬의 함량이 일품벼에 비해 적게 구성되어 있음을 확인 할 수 있었다.

주사시차열량계에 의한 호화 및 노화 열 특성

쌀에서 제조된 전분의 호화 및 노화 DSC 열 특성 결과는 Table 5, Fig. 3과 같이 품종 특성에 따라 다른 양상으로 나타났다. DSC에 의한 쌀가루의 호화 열특성은 찰벼인 화선찰벼의 To, Tp는 일반계 품종과 비슷했으나 Tc가 높게 나타났다, 호화에 필요한 흡열 엔탈피는 화선찰벼, 일품벼, 고아미2호가 각각 11.08 mJ/mg, 7.92 mJ/mg, 6.52 mJ/mg의 순으로 나타났으며, RVA의 결과와 마찬가지로 최고 호화 온도는 고아미2호가 85.3℃로 매우 높게 나타났다. 일반적으로 호화엔탈피는 전분을 구성하는 분자 구조간 결합력과 결정성을 나타내는 것으로 메벼보다 찰벼가, 아밀로스 함량이 낮은 품종이 높은 품종보다 분자 구조간 결합력과 결정성이 크다는 것을 알 수 있다.

호화된 전분을 4℃에서 6일간 보관하여 측정된 노화 열특성 결과 일품벼와 고아미2호 전분시료에서는 41.9~55.2℃에서 첫 번째 흡열피크가 나타나며, 95℃ 이상에서는 두 번째 흡열 피크가 나타났고, 화선찰벼에서는 흡열피크가 나타나지 않았다. 노화 흡열엔탈피는 고아미2호가 5.12 mJ/mg으로 가장 큰 흡열 피크를 보였으며 그 이유는 RVA와 DSC 호화 결과에서 나타나듯 호화되기 어려운 고아미2호의 품종 특성상 완전히 호화되지 않고 남은 결정 영역이 영향을 준 것으로 해석된다. 한편 이와는 반대로 찰벼의 노화 열특성에서 흡열 피크가 나타나지 않은 것은 아밀로펙틴만으로 구성된 찰벼에서는 원래의 분자 질서를 회복하지 못하였음을 의미한다. Chang와 Lin(2007)은 찰쌀전분을 4℃에서 7일간 저장한 후 노화된 시료의 엔탈피를 측정하였을 경우 본 실험결과와 같이 흡열피크가 관찰되지 않았으나, 산처리된 찰쌀전분에서는 산처리 정도가 클수록 흡열엔탈피가 증가하였다고 보고하였다.

Table 5. Thermal properties of rice starches separated from different rice varieties and retrogradation properties as storage temperature at 4℃, for 6 days by DSC

Varieties	First peak					Second peak					
	To (℃)	Tp (℃)	ΔH (mJ/mg)	Tc (℃)	ΔT (℃)	To (℃)	Tp (℃)	ΔH (mJ/mg)	Tc (℃)	ΔT (℃)	
Gelatinization	Ilpumbebyeo	63.2 ^c	73.2 ^c	7.92 ^b	99.4 ^b	36.2 ^b					
	Goami 2	73.2 ^a	85.3 ^a	6.52 ^c	102.0 ^b	28.8 ^c					
	Hwasunchalbyeo	66.4 ^b	77.8 ^b	11.08 ^a	105.2 ^a	38.8 ^a					
Retrogradation	Ilpumbebyeo	52.6 ^a	63.9 ^b	0.73 ^b	83.3 ^a	30.6 ^a	96.9 ^a	107.3 ^a	0.99 ^a	120.1 ^a	23.2 ^a
	Goami 2	55.2 ^a	73.4 ^a	5.12 ^a	90.4 ^a	35.3 ^a	99.4 ^a	106.5 ^a	0.95 ^a	119.9 ^a	20.5 ^b
	Hwasunchalbyeo	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd

To: onset temperature, Tp: peak temperature (=gelatinization temperature), Tc: completion temperature, ΔT = Tc-To, ΔH: gelatinization enthalpy of rice starch flours
 nd: not detected

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

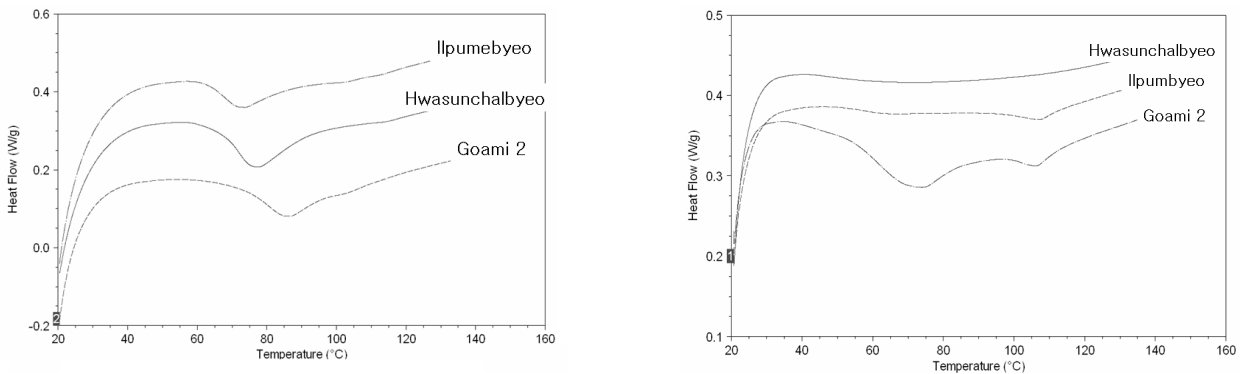


Fig. 3. DSC endotherms of gelatinization of rice starch flours (Left) and retrogradation of rice starch flours at 4℃ (Right)

쌀 전분의 물리적 특성

Fig. 4은 각 품종별로 용해도와 팽윤력간 회귀관계를 나타낸 결과로 각 품종에 따라 특성이 다름을 확인할 수 있다. Tester와 Morrison(1990)에 따르면 아밀로펙틴이 전분 팽윤에 주요한 원인이 되며 반면에 아밀로스와 지방은 팽윤을 방해한다고 하였다. Leach 등(1959)은 전분 입자내의 결합력이 팽윤 양상에 영향을 주어 결합 정도가 강한 전분은 팽윤을 방해하므로 온도 증가에 따른 팽윤력을 비교함으로써 상대적인 결합강도를 알 수 있다고 하였다.

Table 6은 각 전분의 물결합력을 나타낸 것으로 물결합력은 아밀로펙틴의 분지부분인 무정형부분과 물의 결합 정도를 나타낸 것으로 찹쌀에 비해 멥쌀에서 더 작은 것으로 조사되었다. 이 결과는 멥쌀 전분에 비해 찹쌀 전분에서 더 높은 물결합능력을 보여준 송과 신(1998)의 결과와 같은 경향인데 그 이유는 아밀로스 함량이 적을수록 전분에서 비결정 부분이 많고 내부 치밀도가 낮아서 높은 값을 보인다고 하였다. 고아미2호의 물결합력은 다른 품종에 비해 매우 크고, 팽윤력은 매우 작은 특성을 보였다.

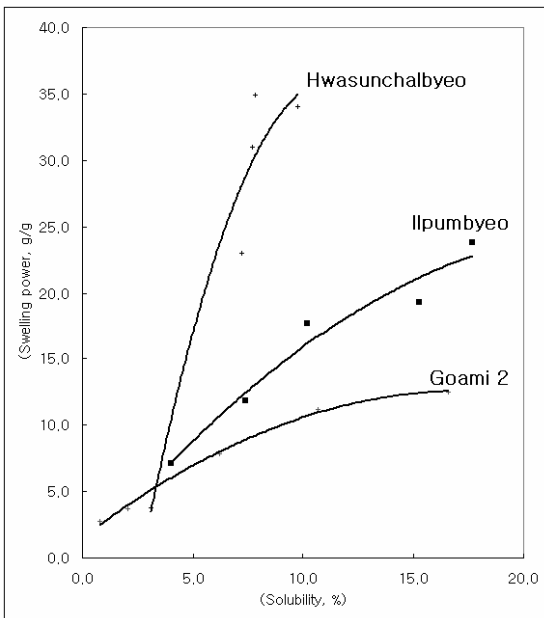


Fig. 4. The regression for swelling power and solubility of rice starches

Table 6. Water binding capacity of rice starch samples

Cultivar	Ilpumbyeo	Goami 2	Hwasunchalbyeo
Water binding capacity (%)	112.2	178.6	116.8

결 론

본 연구는 아밀로스 함량이 다른 세 품종의 쌀을 이용하여 쌀의 호화특성과 노화특성 등 몇가지 전분 특성 분석하였다. 주요 분석된 내용과 결과는 다음과 같다.

시험에 사용된 시료의 일반성분은 품종간 큰 차이는 없었으나 고아미2호는 조지방이 1.36%로 다른 시험재료에 비해 2~3배 높은 함량을 나타냈다. RVA에 의한 호화특성은 최고점도, 최저점도, 강하점도 및 치반점도 등 모든 특성치에서 일품벼가 가장 높은 값을 나타냈으며 고아미2호의 호화개시온도는 82.2℃로 매우 높게 나타났다.

아밀로펙틴 구조 분석 결과 일반미와 화선찰벼는 중합도 12에서 최고 분포를 갖는 등 비슷한 유형을 나타냈으며 고아미2호는 중합도 14에서 최고 분포를 보이며 fa가 14.1%로 다른 품종의 28.14~30.45%에 비해 현저히 적은 특징을 나타냈다.

DSC에 의한 쌀가루의 호화 열특성은 찰벼인 화선찰벼의 To, Tp는 일반계 품종과 비슷했으나 Tc가 높게 나타났고, 흡열엔탈피는 11.08 mJ/mg으로 가장 큰 값을 보였다. 고아밀로스 품종인 고아미2호는 호화온도는 높고, 흡열엔탈피는 가장 낮아 흡열엔탈피는 6.52 mJ/mg였고, 자포니카 타입 일반미인 일품벼는 7.92 mJ/mg였다.

호화된 쌀가루를 4℃에서 6일간 보관 후 DSC에 의해 측정된 노화 열특성은 41.9~55.2℃에서 첫 번째 흡열피크가 나타나며, 95℃ 이상에서 두 번째 흡열피크가 나타났다. 고아미2호의 노화 흡열엔탈피는 5.12 mJ/mg으로 가장 컸다.

인용문헌

강희진, 서한석, 황인경. 2004. 일품벼 유래 배유 돌연변이품종 쌀의 호화 및 노화 특성 비교. 한국식품과학회지. 36(6) : 879-884.

김광호, 오세만. 1992. 쌀 알칼리붕괴반응의 품종간 변이와 호화온도 및 수분흡수율과의 관계. 한국작물학회지. 37(1) : 28-36.

김광호, 오세만. 1992. 쌀 알칼리붕괴반응의 품종간 변이와 호화온도 및 수분흡수율과의 관계. 한국작물학회지. 37(1) : 28-36.

농촌진흥청. 농업과학기술 연구조사분석기준. 2003. 11. 288-290.

홍영희, 안홍석, 이승교, 전승규. 1988. 일반계 및 다수계 쌀의 성질 및 밥의 텍스처 특성. 한국식품과학회지. 20(1) : 59-62.

AACC. Approved Method of the American Association of Cereal Chemists. 8th ed. 1990. Method 44-15A. Method

- 46-13. Method 08-01. Method 55-10. Method 54-40A. AACC Method 56-61A. 87.
- Chang Yung Ho, Lin Jheng Hua. 2007. Effects of molecular size and structure of amylopectin on the retrogradation thermal properties of waxy rice and waxy cornstarches. *Food Hydrocolloids*. 21 : 645-653.
- 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.
- Huang Junrong, Schols Henk A., Jeroen J. G. van Soest, Zhengyu Jin, Sulmann Ellen, Voragen Alphons G. J. 2007. Physicochemical properties and amylopectin chain profiles of cowpea, chickpea and yellow pea starches. *Food Chemistry*. 101 : 1338-1345.
- Juliano, B. O. 1971. A simplified assay for milled-rice amylose. *Cereal Science. Today* 16. 10 : 334.
- Leach Harry, W., McCowen L. D. and Choch J. Thomas. 1959. Structure of the starch granule I. Swelling and solubility patterns of various starches. *Cereal Chemistry* 36. 534-544.
- Matveev, Y. I., van Soest J. J. G., Nieman C., Wasserman L. A., Protserov V. A., Ezernitskaja M., Yuryev V. P. 2001. The relationship between thermodynamic and structural properties of low and high amylose maize starches. *Carbohydrate Polymers*. 44 : 141-160.
- Reddy, K. Radhika, Ali S. Zakiuddin, Bhattacharya K. R. 1993. The fine structure of rice-starch amylopectin and its relation to the texture of cooked rice. *Carbohydrate polymers*. 22 : 267-275.
- Song, J. Y. and Shin M. S. 1998. Solubility patterns and gelatinization properties of waxy rice starches. *Agricultural Chemistry and Biotechnology*. 41(7) : 516-521.
- 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.
- Tester Richard F. and Morrison William R. 1990. Swelling and gelatinization of cereal starches. I. Effects of amylopectin, amylose, and lipids. *Cereal Chemistry*. 67(6) : 551-557.
- Tester Richard F. and Morrison William R. 1990. Swelling and Gelatinization of Cereal Starches. II. Waxy rice starches. *Cereal Chemistry*. 67(6) : 558-563.