

향미찰쌀전분의 이화학적 특성 비교

최영희[†] · 김광호* · 강미영

경북대학교 식품영양학과

*건국대학교 식량자원학과

Physicochemical Properties of Starches from Flavored Glutinous Rice Varieties

Young-Hee Choi[†], Kwang-Ho Kim* and Mi-Young Kang

Dept. of Food Science and Nutrition, Kyungpook National University, Taegu 702-701, Korea

*Dept. of Crop Science, Kongok University, Seoul 143-701, Korea

Abstract

Starches of flavored glutinous rice were analyzed by using scanning electron microscope (SEM) and differential scanning calorimetry (DSC) and tested on the starch granule susceptibility to 15% H₂SO₄, glucoamylase and α -amylase. The shape of starch granules from flavored glutinous rice varieties was polygonal and the size was 4~6 μ m in diameter. According to DSC, glutinous rice starch showed onset temperature (T_o) range 59.8~62.5°C and KR92021-B-B-42-3-B and KR92021-B-B-165-1-B showed higher enthalpy (Δ H) on gelatinization than others. The starches from KR92021-B-B-5-2-B and KR92021-B-B-42-3-B showed lower hydrolysis rate using 15% H₂SO₄ than KR92021-B-B-165-1-B. KR92021-B-B-5-2-B showed higher degree of hydrolysis of glucoamylase and α -amylase than the others.

Key words: flavored glutinous rice, chain length distribution, X-ray diffractogram, glucoamylase, α -amylase

서 론

쌀 품종을 다양화하기 위한 일환으로 쌀알의 유전자들을 적절히 이용한 찰벼 신소재 개발이 활발히 추진되어 다양한 품종의 찰벼 품종이 육성되고 있다(1,2). 새로 개발된 향이 있는 향미찰벼는 밥에 섞어 먹기보다는 가공식품으로 사용될 가능성이 크므로, 이를 이용하여 다양한 찰벼 가공품의 제조를 생각할 수 있다. 찰쌀의 성분은 대부분 전분으로서, 구성하고 있는 전분입자의 호화양상 또는 호화전분 gel의 노화양상이 제품의 가공성에 미치는 영향이 크며 이러한 전분의 호화 및 노화양상은 전분입자의 이화학적 특성과 밀접한 연관이 있으리라 추측된다. 이에 본 연구에서는 가공식품 제조용 찰벼로 개발된 향미 찰벼를 시료로 선정하여 찰전분의 이화학적 특성을 비교 검토하였다. 각 품종의 쌀로부터 전분을 분리하여 SEM에 의한 전분입자의 관찰, DSC thermogram을 분석하여 호화특성의 비교, 산에 의한 가수분해도, glucoamylase 및 α -amylase에 의한 효소가수분해도 비교 등을 통하여 가공적성 검토를 위한 기본 자료로 삼고자 한다.

재료 및 방법

시료

일반찰벼인 화선찰벼, 그리고 일반찰벼 계통으로 국내에

서 개발 육성한 KR 93045-B-B-129-5-B, 향미메벼 품종인 미야카오리 및 국내에서 개발 육성된 향미찰벼 KR 92021-B-B-5-2-B, KR 92021-B-B-42-3-B, KR 92021-B-B-165-1-B 등 6품종의 쌀을 건국대 농축산생명과학대학 식량자원학과로부터 제공받아 시료로 사용하였다.

전분분획의 제조

Asaka 등(3)의 방법을 변형한 알칼리침지법에 의하여 분리하였다. 쌀 3 g을 50 mM LiOH에 침적시킨 후 막자사발에 곱게 갈아서 isoamylalcohol, acetone, ethyl alcohol의 순서로 단백질을 및 지질분획을 제거하고 물로 잘 수세한 후, 전분침전물을 얻어 풍건시켜 데시케이터에 보관하면서 사용하였다.

요드정색반응

전분시료 12 mg을 증류수 0.5 mL에 잘 현탁시켜 2 N NaOH 0.5 mL을 첨가하여 4°C에서 하루밤 알칼리 호화시킨 후 1/9N acetic acid로 중화하였다. 이 전분 용액 1 mL를 취하여 1% I₂-10% KI용액 200 μ L를 첨가하여 요드정색반응을 시킨 후 25 mL로 정용하여 분광광도계로 500~700 nm까지의 흡수 스펙트럼을 측정하였다. 이 흡수스펙트럼으로부터 λ max와 최대흡수파장에서의 흡광도, 680 nm에서의 흡광도 값인 blue value를 구하였다.

[†]Corresponding author. E-mail: yh-choi@knu.ac.kr
Phone: 82-53-952-8263. Fax: 82-53-952-8263

SEM 관찰

알칼리침지법에 의해서 분리한 전분입자를 전처리과정을 통한 후 SEM(Scanning Electron Microscope, Hitachi S-4200, Japan)을 사용하여 5000배 배율로 관찰하였다.

DSC 측정

DSC(Differential Scanning Calorimeter(DSC SP+, Eng·land)을 이용하여 알루미늄펜에 전분(1):물(2)의 비율로 담아 25°C에서 95°C까지 10°C/min으로 승온에 따른 thermogram으로부터 호화개시온도, 호화최대온도, 호화종결온도, 호화엔탈피를 각각 산출하였다.

산가수분해도

전분시료 40 mg을 15% H₂SO₄ 3.2 mL에 침지시켜 150 rpm으로 교반하면서 37°C에서 가수분해시켜 경시적으로 채취한 상등액의 총당함량을 phenol-H₂SO₄법(4)으로 측정하면서 가수분해도를 구하였다.

Glucoamylase에 의한 가수분해도

전분 100 mg을 0.4% acetic acid buffer 9 mL(pH 4.8)에 현탁시킨 후 glucoamylase(EC 3.2.1.3, Sigma Chemical Co., St.Louis, USA) 35 unit를 첨가하여 37°C에서 2시간 반응시키면서 경시적인 가수분해도를 측정하였다. 즉, 경시적인 반응액으로부터 100 µL 채취하여 열탕에 넣음으로서 가수분해반응을 정지시킨 다음 반응액을 적당한 농도로 희석하여 총당량은 phenol-H₂SO₄법(4)으로, 생성되는 glucose 함량은 glucose oxidase peroxidase법(5)으로 각각 측정하여 가수분해도를 구하였다.

α-amylase에 의한 가수분해도

전분 100 mg을 인산 buffer 9 mL(pH 5.5)에 현탁시킨 후 α-amylase(EC 3.2.1.1, Sigma Chemical Co., St.Louis, USA) 25 unit를 첨가하여 37°C에서 2시간 반응시키면서 경시적인 가수분해도를 측정하였다. 경시적인 반응액으로부터 100 µL 채취하여 열탕에 넣음으로서 가수분해반응의 정지시킨 다음 반응액을 적당한 농도로 희석하여 총당량은 phenol-H₂SO₄법으로, 생성되는 환원당의 함량은 Somogi-Nelson법으로 측정하여 가수분해도를 구하였다.

통계처리

산가수분해도, glucoamylase 및 α-amylase 가수분해도는 3회 실험한 데이터를 통계프로그램인 SPSS PC+(ver.9.0)를 이용하여 일원배치 분산분석을 실시하였고, 사후검정으로는 Duncan 다중검정을 실시하였다.

결과 및 고찰

SEM 관찰에 의한 전분입자의 형태비교

알칼리침지법에 의해서 제조한 전분입자들의 SEM 사진

은 Fig. 1에 나타내었다. 5000배로 확대한 찹쌀전분입자의 모양은 쌀품종간 큰 차이를 보이지 않았으며 쌀전분 고유의 다각형 구조를 나타내었다. 대체로 쌀의 생전분입자는 주로 2~8 µm정도이며 그 중 찹쌀의 전분은 3 µm 이하의 것이 많다(6). SEM 사진을 관찰해 본 결과 향미메벼인 미야가오리(miyakaori)에 비해 찹벼전분입자의 크기가 작은 것이 더 많았다. 일반찰벼인 KR93045 B-13-129-5-B와 그로부터 유래된 향미찰벼 KR92021-B-B-5-2-B, KR92021-B-B-42-3-B, KR-92021-B-B-165-1-B는 입자상 큰 차이를 보이지 않았으며 대조구로 사용된 화선찰벼와도 큰 차이를 보이지 않았다.

요드정색반응

전분-I₂ 복합체 형성에 기인하는 정색반응물의 흡수스펙트럼으로부터 측정된 최대흡수파장(λ-max)과 요드정색도는 Table 1에 나타내었다. 680 nm에서의 흡광도인 청가(blue value)는 전분의 amylose 함량을 추정하는 방법으로 널리 사용되는데 흡광도가 크다는 것은 전분구조 중 직쇄성분이 많다는 것을 시사하는 것으로 amylose 함량이 높다거나 amylopectin을 구성하는 glucose 사슬의 길이가 긴 것이 많다는 것

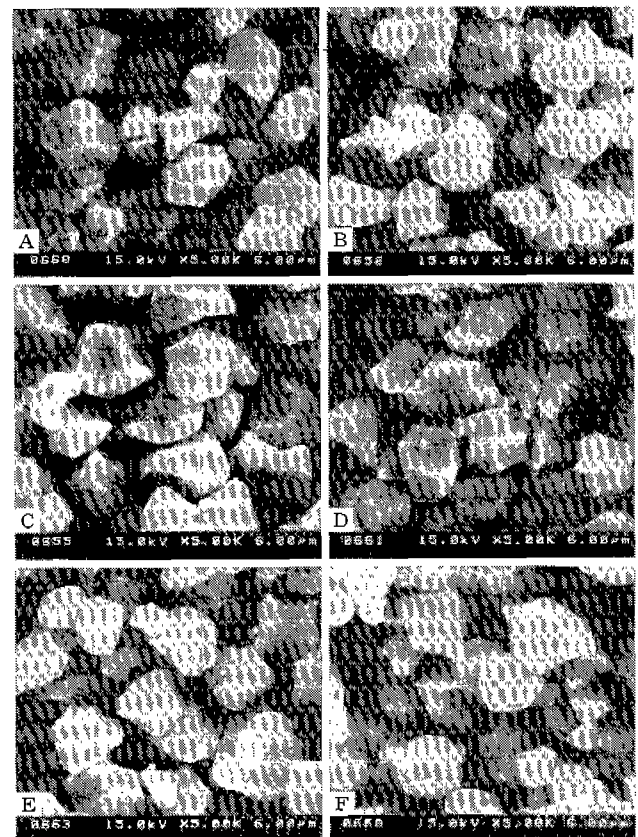


Fig. 1. Scanning electron micrographs of glutinous rice starch granules ($\times 5000$) for different glutinous rice.

A: Whasunchalbyeon, B: KR93045-B-B-129-5-B, C: Miyakaori, D: KR92021-B-B-5-2-B, E: KR92021-B-B-42-3-B, F: KR92021-B-B-165-1-B.

Table 1. Wave length of maximum absorbance and blue value of flavored glutinous rice starches

Varieties	Blue value at 680 nm	Wave length of maximum absorbance (λ max)	
		Wave length (nm)	Optical density (OD)
Whasunchalbyeo	0.085	519	0.092
KR93045-B-B-129-5-B	0.097	523	0.267
Miyakaori	0.332	568	0.461
KR-92021-B-B-5-2-B	0.112	523	0.374
KR-92021-B-B-42-3-B	0.104	523	0.344
KR-92021-B-B-165-1-B	0.117	522	0.392

을 의미한다. λ max의 값으로 사슬길이를 유추할 수 있는데 glucose의 α -1,4 glucose chain length가 긴 성분이 많을수록 λ max가 고파장으로 존재한다고 볼 수 있다. Table 1에 나타난 청가는 메벼인 미야카오리(miyakaori)가 가장 높아 메벼의 전형적인 특성을 보였다. 향미찰벼인 KR92021-B-B-5-2-B, KR92021-B-B-42-3-B, KR-92021-B-B-165-1-B는 화선찰벼나 일반찰벼인 KR93045-B-13-129-5-B보다 다소 높은 값을 나타내었다. 향미찰벼 3품종의 λ max는 520 nm 수준으로 메벼인 568 nm인 미야카오리(miyakaori)보다는 낮으며, 또한 λ max에서의 흡광도는 0.344~0.392로서 화선찰벼 및 KR93045-B-B-129-5-B와 비교해 보았을 때 높은 경향을 보였다.

DSC에 의한 호화특성 비교

전분입자의 호화특성은 전분입자가 호화될 때의 흡열반응을 시차주사열량계(DSC)로 측정하였으며 DSC thermogram으로부터 산출한 호화개시온도, peak온도, 종결온도 및 호화엔탈피는 Table 2에 나타내었다. 호화개시온도는 59.8~63.0°C

Table 2. DSC thermogram data of flavored glutinous rice starches

Varieties	T _o (°C)	T _p (°C)	T _c (°C)	Δ H (cal/g)
Whasunchalbyeo	61.47	66.30	78.12	2.61
KR93045-B-B-129-5-B	62.15	68.90	78.70	2.14
Miyakaori	63.04	70.04	78.54	3.63
KR-92021-B-B-5-2-B	61.47	67.23	79.73	2.20
KR-92021-B-B-42-3-B	59.80	68.05	79.07	2.86
KR-92021-B-B-165-1-B	62.52	68.83	80.00	2.93

To: onset temperature, T_p: peak temperature, T_c: completion temperature, Δ H: enthalpy.

로서 품종간 큰 차이는 보이지 않았으나 메벼인 미야카오리가 호화개시온도 및 peak온도가 찰벼품종보다 높은 경향을 보였다. 향미찰벼 3품종은 모두 화선찰벼보다 높은 종결온도를 보였으며 KR92021-B-B-42-3-B와 KR92021-B-B-165-1-B 품종은 호화엔탈피가 화선찰벼보다 높은 특징을 보였다. 일반적으로 곡류전분입자의 경우 찰품종의 호화엔탈피가 메품종보다 높은 경향이 있으나(7) 본 실험에 사용된 찰쌀전분시료들의 호화엔탈피는 메품종인 미야카오리(miyakaori)보다 낮은 값을 보였다.

산기수분해도

아밀로펙틴의 방상구조 모델을 제시하는데 이용하였던 방법 중의 하나로써, 전분입자를 실온에서 15% H₂SO₄에 침적 시켜두면 전분입자의 기원에 따라 가수분해도 및 속도에 차이는 있으나 최종적으로 약 40~50% 정도까지만 가수분해되며, 가수분해 잔사를 현미경으로 관찰하면 전분입자의 형태는 구형을 유지한 채 중심원이 보이는 Naegeli amylo-dextrin이 제조된다. 이렇게 Naegeli amylo-dextrin이 제조과정 중 15% H₂SO₄에 의해서 쉽게 산 가수분해되는 분획을 아밀로펙틴의 무정형부분이라 하며(8), 무정형 부분의 비교에 의해서 아밀로펙틴 분자의 cluster 구조의 무질서도를 유추하기도 한다(9,10). 이러한 맥락에서, 향미찰전분의 아밀로펙틴의 무정형 분획의 품종간 비교를 시도하고자 15% H₂SO₄에 대한 가수분해도 비교를 실시하여 Table 3에 나타내었다. 1일의 가수분해정도는 11~18%정도 가수분해되었는데 향미찰벼중 KR92021-B-B-165-1-B가 가장 높은 가수분해도를 보였으며 화선찰벼와 유사하였다. 가수분해 3일에 화선찰벼의 가수분해도는 25.03%인데 반해 향미찰벼의 가수분해도는 19~27%로서 화선찰벼보다 천천히 가수분해 되는 양상을 보였으며 이러한 경향은 가수분해 5일째와 9일째에도 관찰할 수 있었다. 향미찰벼 3품종의 산기수분해 정도는 5일째에 거

Table 3. Time courses of hydrolysis of glutinous rice starch granules in 15% H₂SO₄ at 37°C

Varieties	Hydrolysis rate (%)			
	1 day	3 day	5 day	9 day
Whasunchalbyeo	17.10±0.23 ^{cl}	25.03±0.37 ^b	23.82±0.37 ^b	24.29±6.45 ^b
KR93045-B-B-129-5-B	15.59±0.05 ^b	34.15±0.14 ^d	33.53±2.87 ^d	26.43±2.31 ^b
Miyakaori	15.05±0.46 ^b	27.51±1.17 ^c	29.79±2.23 ^c	24.31±0.48 ^b
KR-92021-B-B-5-2-B	11.05±0.33 ^a	21.39±1.14 ^a	15.74±0.27 ^a	13.66±1.08 ^a
KR-92021-B-B-42-3-B	14.58±0.93 ^b	19.84±0.60 ^a	15.81±1.21 ^a	13.50±0.83 ^a
KR-92021-B-B-165-1-B	18.05±1.14 ^c	27.50±1.35 ^c	26.26±0.56 ^b	28.35±1.87 ^b

^lValues with different letter within the same column were significantly at p<0.05 by Duncan's test.

Table 4. Time courses of degradation of various rice starch granules by glucoamylase

Varieties	Hydrolysis rate (%)			
	5 min	30 min	60 min	180 min
Whasunchalbyeo	2.52±0.50 ^{a1)}	19.14±4.31 ^b	40.47±3.76 ^b	79.40±6.94 ^{bc}
KR93045-B-B-129-5-B	2.50±0.17 ^a	21.38±3.39 ^{bc}	22.54±3.91 ^a	64.04±10.56 ^a
Miyakaori	3.43±0.46 ^b	12.62±1.44 ^a	20.40±3.90 ^a	68.81±13.45 ^{ab}
KR-92021-B-B-5-2-B	1.79±0.56 ^d	28.02±2.16 ^d	52.29±8.06 ^c	97.69±0.79 ^d
KR-92021-B-B-42-3-B	3.30±0.49 ^b	20.38±1.85 ^{bc}	36.54±5.94 ^b	86.34±1.49 ^{cd}
KR-92021-B-B-165-1-B	2.44±0.17 ^a	24.69±1.85 ^{cd}	42.24±8.72 ^{bc}	81.22±8.00 ^{bc}

¹⁾Values with different letter within the same column were significantly at $p < 0.05$ by Duncan's test.

Table 5. Time courses of degradation of various starch granules by α -amylase

Varieties	Hydrolysis rate (%)			
	5 min	30 min	60 min	120 min
Whasunchalbyeo	21.82±0.62 ^{c1)}	26.73±1.23 ^{ab}	61.58±3.49 ^d	72.59±2.82 ^d
KR93045-B-B-129-5-B	17.03±2.18 ^a	24.99±0.14 ^a	39.00±2.04 ^a	50.77±4.44 ^a
Miyakaori	20.96±1.44 ^{bc}	27.33±1.11 ^{ab}	38.28±0.85 ^a	58.39±4.03 ^b
KR-92021-B-B-5-2-B	16.48±0.23 ^a	26.05±2.34 ^a	49.55±6.39 ^{bc}	64.72±3.83 ^c
KR-92021-B-B-42-3-B	15.36±0.81 ^a	29.38±0.02 ^b	44.07±0.73 ^{ab}	56.65±3.29 ^{ab}
KR-92021-B-B-165-1-B	19.30±0.46 ^b	27.32±2.67 ^{ab}	52.68±0.99 ^c	56.20±1.66 ^{ab}

¹⁾Values with different letter within the same column were significantly at $p < 0.05$ by Duncan's test.

의 평형에 도달하며 화선찰벼, KR93045-B-B-129-5-B, 미야카오리와 비교해 볼 때 가수분해도가 낮은 것을 알 수 있었다. 향미찰벼 중 특히 KR-92021-B-B-165-1-B는 가수분해 9일째에 28.35% 정도 가수분해되어 산에 의해 가수분해되는 부분이 가장 많으며 이 품종의 전분입자의 무정형 부분의 비율이 많거나 아밀로펙틴을 구성하고 있는 cluster 구조가 다른 품종들에 비해서 어느 정도 무질서한 구조를 하고 있으리라 예상할 수 있다. 반면에 KR92021-B-B-5-2-B와 KR92021-B-B-42-3-B는 가장 낮은 수치인 13%로써 산에 의해 가수분해 받기 어려우며 이로서 아밀로펙틴의 cluster 구조가 다른 품종들에 비해서 어느 정도 질서 있게 나열되어 있는 구조로 유추할 수 있다.

Glucoamylase와 α -amylase에 의한 가수분해도

향미찰벼전분의 이화학적 특성으로서 glucoamylase 및 α -amylase에 의한 가수분해도를 비교하였다. Glucoamylase는 전분분자의 환원성 말단으로부터 순차적으로 작용하여 최종적으로 glucose 단위까지 가수분해하는 exo-type의 효소이다. 생전분입자에 glucoamylase를 작용시키면 생전분입자는 입자의 표면으로부터 넓은 범위에 걸쳐 가수분해가 진행되는 특성을 보이고 SEM 사진을 관찰해보면 전분분자의 표면이 너와집의 지붕과 같은 형태가 관찰된다(11). 반면에 endo-type의 α -amylase(12,13)는 SEM 사진에서 전분분자의 표면에 pin hole을 형성하면서 가수분해되는 특성이 있다. 전분입자에 대해 효소 가수분해 양상을 비교하므로써 전분의 분자구조의 특성을 유추하는 수단으로 삼기도 한다(14-16). Glucoamylase에 의한 초기 가수분해도가 높다는 것은 전분입자의 표면으로 환원성 말단의 수가 많다는 것을 의미한다고 할 수도 있다. 향미찰벼 전분입자의 glucoamylase에 의한 가수분해도는 Table 4에 나타내고 있듯이 품종간 차이를 보이는데

향미찰벼 3품종은 모두 화선찰벼나 KR-93045-B-B-129-5-B보다 높은 가수분해도를 나타내었으며 메벼인 미야카오리보다도 높았다. 이는 배유돌연변이체품종별 전분입자의 glucoamylase에 의한 가수분해도를 비교한 결과 37°C에서 2시간 정도 작용시키면 찰품종인 화선찰벼는 거의 100% 가수분해되나 메품종은 70~75%인 것(17)과 유사한 결과를 얻었다. 특히 KR-92021-B-B-5-2-B 품종은 효소를 5분간 반응시켰을 때 1.79% 정도이나 3시간 후 97.69%로서 거의 가수분해되어 향미찰벼 중 가장 빠른 가수분해속도를 보였다. α -amylase의 가수분해정도(Table 5)를 비교해 본 결과 glucoamylase에 의한 가수분해도와는 달리 반응 2시간 후 가수분해정도는 화선찰벼가 가장 높았다. 향미찰벼의 효소가수분해정도(120분)는 56~64%정도로서 KR92021-B-B-5-2-B 품종이 가장 높으며, 또한 KR92021-B-B-5-2-B 품종의 초기 가수분해도와 2시간 후 가수분해도를 비교해보면 가수분해속도가 가장 빠른 것을 알 수 있다.

요 약

향미찰벼 전분의 이화학적 특성을 알기 위하여 scanning electron microscope(SEM), 온도정색반응, differential scanning calorimetry(DSC), 그리고 산가수분해도, glucoamylase와 α -amylase 가수분해도를 측정하였다. 향미찰벼의 전분입자는 다각형구조이며 직경 4~6 μm 였다. 호화특성으로서 호화개시온도는 59.8~62.5°C였으며 향미찰벼 중 KR92021-B-B-42-3-B와 KR92021-B-B-165-1-B의 호화엔탈피값은 대체로 높았다. 향미찰벼 전분의 아밀로펙틴의 무정형 분획을 품종간 비교하기 위하여 15% H_2SO_4 에 의한 산가수분해도를 측정된 결과 KR92021-B-B-5-2-B와 KR92021-B-B-42-3-B는 산가수분해도가 낮아 아밀로펙틴의 cluster 구조가 다

른 품종에 비해 질서있게 나열되어 있음을 알 수 있었다. 향미찰벼 중 KR92021-B-B-5-2-B는 glucoamylase와 α -amylase에 의한 전분 가수분해도가 높은 특성을 보였다.

감사의 글

본 연구는 농림부 농림기술개발과제 연구비에 의해서 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

문헌

1. 김광호 : 가공적성용 찰벼신소재 개발. 농림수산 특정연구과제 제2차 보고서 (1997)
2. 김광호 : 가공적성용 찰벼신소재 개발. 농림수산 특정연구과제 제3차 보고서 (1998)
3. Asaka, M., Okuno, K., Sugimoto, Y., Kawakami, J. and Fuwa, H. : Effect of environmental temperature during development of rice plants on some properties of endosperm starch. *Stärke/Starch*, **36**, 189-194 (1984)
4. Dubois, M., Gilles, K.A., Hamilton, J.K., Rebers, P.A. and Smith, F. : Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Anal. Chem.*, **28**, 350-356 (1956)
5. Loyd, J.B. and Whelan, W.J. : An improved method for enzymic determination of glucose in the presence of maltose. *Anal. Biochem.*, **30**, 467-470 (1969)
6. Chang, M.S and Kim, S.K. : Gelatinization properties of heat-moisture treated waxy rice starches. *J. Korean Agric. Chem. Soc.*, **33**, 223-230 (1990)
7. Inouchi, N., Glover, D.V., Sugimoto, Y. and Fuwa, H. : DSC characteristics of gelatinization of starch of single-, double- and triple- mutants and their normal counterpart in the inbred Oh43 maize (*Zea mays L.*) background. *Stärke/Starch*, **43**, 468-472 (1991)
8. Robin, J.P., Mercier, C., Charbonniere, R. and Guilbot, A. : Lintnerized starches. Gel filtration and enzymatic studies of insoluble residues from prolonged acid treatment of potato starch. *Cereal Chem.*, **51**, 389-406 (1974)
9. Kainuma, K. and French, D. : Naegeli amyloextrin and its relationship to starch granule structure (I). *Biopolymers.*, **10**, 1673-1681 (1971)
10. Kainuma, K. and French, D. : Naegeli amyloextrin and its relationship to starch granule structure (II). *Biopolymers.*, **11**, 2241-2249 (1971)
11. Fuwa, H., Nakajima, M. and Hamada, A. : Comparative susceptibility to amylases of starches from different plant species and several single endosperm mutants and their double-mutant combination with OPAQUE-2 inbred Oh 43 maize. *Cereal Chem.*, **54**, 230-237 (1977)
12. Takaya, T., Sugimoto, Y., Wako, K. and Fuwa, H. : Degradation of starch granules by α -amylase of *Streptomyces precox NA-273*. *Stärke/Starch*, **31**, 205-208 (1979)
13. Takaya, T., Sugimoto, Y., Imo, E. and Fuwa, H. : Degradation of starch granules by α -amylase of fungi. *Stärke/Starch*, **30**, 289-293 (1979)
14. Whistler, R.L., BeMiller, J.N. and Paschall, E.F. : Organization of starch granules. In *Starch Chemistry and Technology*, Academic Press, p.188-193 (1984)
15. Fukui, T., Fuji, M. and Nikuni, Z. : Digestion of raw starch granules by the action of amylases, particularly on the rice starch granule. *Nippon Nogeikagaku Kaishi*, **38**, 262-266 (1964)
16. Fuwa, H. : Digestion of various starch granules by amylases. *J. Jpn. Soc. Starch Sci.*, **24**, 128-140 (1977)
17. Kang, M.Y., Han, J.Y. and Nam, S.K. : Physicochemical properties of starch granules from endosperm mutants in rice. *Korean J. Food Sci. Technol.*, **32**, 258-264 (2000)

(2001년 5월 28일 접수)