KOREAN J. FOOD SCI. TECHNOL.
Vol. 32, No. 2, pp. 258~264(2000)

배유돌연변이체 쌀전분의 이화학적 특성 비교

강미영 · 한지연 · 남석현*
경북대학교 사범대학 가정교육과, *아주대학교 자연과학대학 기초과학부

Physicochemical Properties of Starch Granules from Endosperm Mutants in Rice

Mi-Young Kang, Ji-Yeun Han and Seok-Hyun Nam*
Department of Home Economics, Kyungpook National University
**Division of Natural Science, Ajou University*

Abstract

Starches from the eight varieties of rice were analyzed using scanning electron microscope(SEM), differential scanning calorimetry(DSC) and X-ray diffractometry, and tested on the starch-granule susceptibility to 15% H_2SO_4 and glucoamylase. The shape of starch granules from normal rice varieties and low-amylose mutants were polygonal while shrunken and floury mutants were globular. According to DSC, starches from Nampung CB243 showed higher onset temperature(T_o), completion temperature(T_c) and Punchilmi, Nampung EM90 showed higher enthalpy(ΔH) of gelatinization than others. *shr* showed the highest hydrolysis rate to 15% H_2SO_4 while Nampung CB243 showed the lowest one. Eight varieties of rice starch granules showed A-type pattern on X-ray diffractograms. The lower amylose content rice varieties showed the higher hydrolysis rate treated with glucoamylase.

Key words : endosperm mutant rice, amylose, X-ray diffractogram, glucoamylase

서 론

쌀품종 다양화를 위한 유전자원의 연구결과 돌연변이체들이 개발되어[1,2], 배유에 함유되어 있는 전분분자 중 아밀로오스 함량에서 차이를 보이는 고 아밀로오스 변이체 *ae*[3-5], 저아밀로오스 변이체 *lam*, *du*, *opaque*[6-8], 배유의 당함량에서 차이를 보이는 sugary(*su*) 및 shrunken(*sh*) 변이체[9,10], 배유의 전분질이 분상질인 floury 변이체[11,12], 배아의 크기가 상당히 큰 거대배아미[2]등 다양한 품질의 벼 변이체들이 개발되었다. 이들 변이체는 유전 연구용 재료로서 뿐만 아니라 쌀 품질 육종에 크게 기여할 것으로 기대된다. 배유 및 배아의 변이가 유도되는 이들 변이체 벼는 개발 여하에 따라 미질의 다양화가 기대되며, 그로 인한 쌀 가공식품에의 다각적인 이용 방안이 기대되기 때문이다. 쌀을 포함한 곡류는 대체로 주성분이 전분이므로 구성 전분입자의 호화양상 또는 호화전분 gel의 노화양상이 제품의 가공성에 미치는 영향이 크리라 짐작 할 수 있으며, 전분의 호화 · 노화양상은 전분입자의 이화학적인 특성과 밀접한 연관이 있으리라 사료된다.

이에 본 논문에서는 동일한 계통의 쌀 중 아밀로오스 함량에서 차이를 보이는 변이체 쌀들, 즉 일반벼 품종인 화청벼와 화청벼로부터 아밀로오스 함량에서 차이를 보이는 변이체 품종인 화청 *du-1*, 화청찰벼 그리고 일반벼 품종인 남풍벼와 남풍벼의 변이체 품종인 남풍 CB243, 남풍 EM90 등의 시료와 더불어서 배유전분입자의 형태가 구형으로 일반적인 쌀전분입자의 형태와는 다른 분질미[11] 및 고당미인 *shr*등 8품종 벼 변이체 유전자원들로부터 전분을 각각 분리하여, SEM에 의한 전분입자의 관찰, DSC 분석에 의한 호화특성 비교, X선 회절도에 의한 전분분자의 결정성 비교, glucoamylase에 대한 효소 가수분해도 비교, 산가수분해도 비교 등을 통하여 가공적성 검토를 위한 변이체 쌀 전분의 이화학적 특성변이에 대한 지표로 삼고자 한다.

Corresponding author : Kang Mi-young, Department of Home Economics, Teacher's College, Kyungpook National University, 1370, Sankyuk-dong, Puk-ku, Taegu, Korea
Tel : 82-53-950-5929
Fax : 82-53-952-8263
E-mail : mykang@knu. ac.kr

재료 및 방법

시료

아밀로오스 함량에서 차이를 보이는 화청벼(19.1%), 화청*du-1*(7.0%), 화청찰벼(2.2%), 남풍벼(20.6%), 남풍CB243(12.8%), 남풍EM90(7.2%), 분질미(17.2%), *shr*(19.8%)등 8품종의 변이체 쌀시료를 서울대학교 농업생명과학대학 농학과로부터 제공받아 시료로 사용하였다.

전분분획의 제조

Asaoka등[13]의 방법을 변형한 알칼리 침지법에 의하여 분리하였다. 쌀을 50 mM LiOH에 침적시킨 후 막자사발에 곱게 갈아서 isoamylalcohol, acetone, ethylalcohol의 순서로 단백질 및 지질 분획을 제거하고 물로 잘 수세한 후, 전분침전물을 얻어 풍건시켜 데시케이터에 보관하면서 사용하였다.

SEM 관찰

알칼리 침지법에 의해서 분리한 전분입자를 SEM (Scanning Electron Microscope, Hitachi S-4200, Japan)을 사용하여 5000배 배율로 관찰하였다.

DSC 측정

DSC SP+기기(England)를 이용하여 알루미늄팬에 전분(1) : 물(2)의 비율로 담아, 25°C에서 95°C까지 10°C/min으로 승온에 따른 DSC thermogram으로부터 호화개시온도, 호화최대온도, 호화종결온도, 호화엔탈피를 각각 산출하였다.

산 가수분해도 비교

전분시료 40 mg을 15% H_2SO_4 3.2 ml에 침지시켜 150 rpm으로 교반하면서 37°C에서 가수분해 시켜, 경시적으로 채취한 상등액의 총 당함량을 phenol-H_2SO_4 법[14]으로 측정하면서 가수분해도를 구하였다.

X선 회절도 측정

데시케이터에 보관하였던 쌀 전분의 X선 회절도는 X선 회절기(Philips, X'pert PW3710, Netherland)를 이용하여, target; Cu-Kα, scanning speed; 0.04°2θ/s, voltage; 30 kV, current; 20 mA의 조건으로 회절각도(2θ)를 5°에서 40°까지 회절시키면서 분석하였다.

Glucoamylase에 의한 가수분해도 비교

전분 100 mg을 0.4% acetic acid buffer(pH 4.8)의 조건에서 glucoamylase(EC 3.2.1.3, Sigma) 35 units를 첨가하여 37°C에서 2시간 반응시키면서 경시적인 가수분해도를 측정하였다. 즉, 경시적으로 반응액으로부터 100 μl 채취하여 열탕에 넣음으로서 가수분해 반응의 정지와 전분의 호화를 동시에 시도하였으며, 반응액을 적당한 농도로 희석하여 총 당함량은 phenol-H_2SO_4법[14]으로, 생성되는 glucose 함량은 glucose-oxidase peroxidase법[15]으로 각각 측정하여 가수분해도를 구하였다.

결과 및 고찰

SEM 관찰에 의한 전분입자의 형태 비교

알칼리침지법에 의해서 제조한 전분입자들의 SEM 사진을 Fig. 1에 나타내었다. 일반미 품종인 화청벼, 남

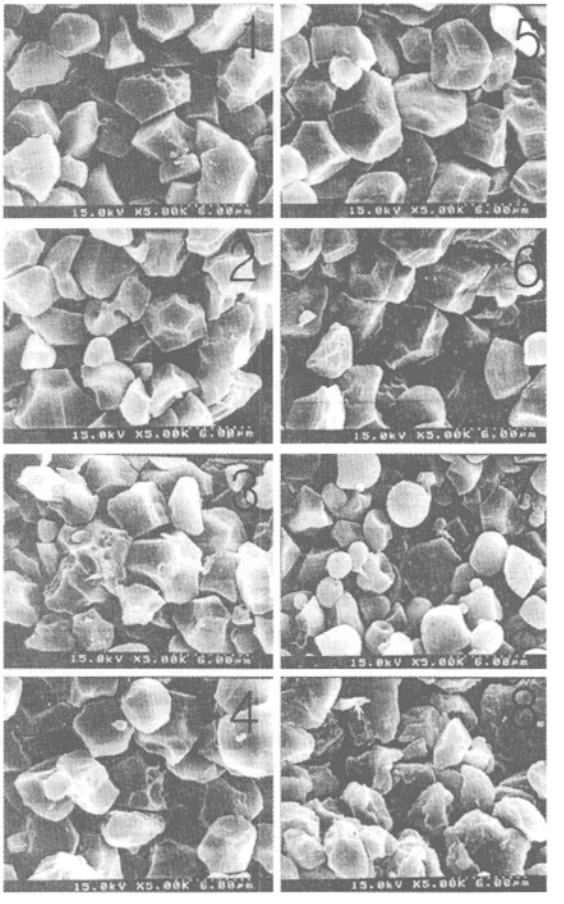

Fig. 1. Scanning electron micrographs (5000) of various rice starch granules with different amylose content
(1) Whachungbyeo, (2) Whachung *du*-1, (3) Whachung chalbyeo (4) Nampungbyeo, (5) Nampung CB243, (6) Nampung EM90, (7) *shr*(shrunken), (8) Punchilmi(*fl*)

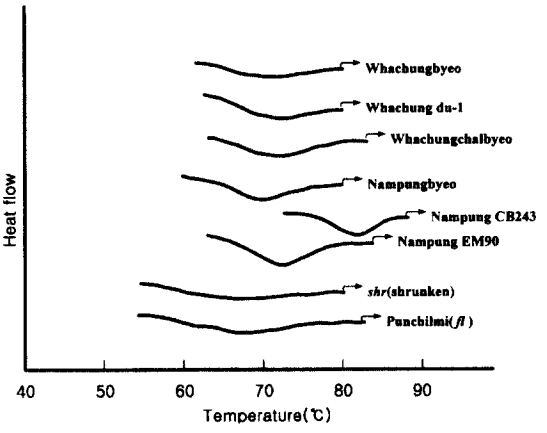

Fig. 2. DSC thermograms of various rice starch granules

풍벼 및 아밀로오스 함량의 차이에 영향을 미치는 *dull* 이나 *waxy* 유전자가 도입된 화청 *du-1*, 화청찰벼, 남풍 CB243, 남풍 EM90 등의 전분입자 형태는 다변형이었다. 이에 비해서 *shrunken* 유전자가 도입된 *shr.*은 전분입자의 형태가 구형이었으며, 입자의 크기도 작아지는 것을 알 수 있었다. 그리고 *floury* 유전자가 도입된 분질미는 전분입자의 형태가 다변형과 구형의 중간 형태이며 표면이 매끈하지 않고 마치 손상된 전분의 형태를 하고 있는 듯하다. 그러나 쌀알 단면의 SEM 관찰시[16]에도 동일한 형태가 관찰되어 전분입자의 제조과정에서 생긴 인위적인 손상은 아니고 전분입자의 형태가 원래 normal type에 비해서 변형된 형태임을 알 수 있었다.

DSC 측정에 의한 호화특성 비교

변이체 벼 품종별 전분입자의 호화특성은, 전분입자가 호화될 때의 흡열반응을 시차주사열량계(DSC)측정에 의한 DSC thermogram을 Fig. 2에 나타내었으며, Table 1에는 DSC thermogram으로부터 산출한 호화개시온도, 호화최대온도, 호화종결온도 및 호화엔탈피를 정리하였다. DSC thermogram의 양상이 화청벼와 남풍벼 계통간에 차이가 있음을 알 수 있고, 특히 *shr.*과 분질미는 DSC thermogram이 퍼진 형태로서 마치 호화전분의 양상과 오히려 유사한 경향이었다.

호화개시온도는 *shr.* 및 분질미가 56-57°C 정도로 일반미 품종인 화청벼, 남풍벼 보다 낮은 경향이 있으나, 호화종료온도는 모든 품종들이 대체로 유사하게 80°C 전후였다(Table 1). 그러나 남풍벼의 저아밀로오스 변이체인 남풍 CB243은 다른 품종들과는 달리 호화개시온도 및 호화종료온도가 특히 높아, 시험에 사용한 다른 품종들의 평균치보다도 약 5°C정도 높았으며, 이러한 현상은 쌀가루 풀의 amylogram 분석에 의한 호화특성 비교에서도 유사하게 관찰되었다[17].

한편 호화엔탈피는 화청벼 계통의 경우에는 저아밀로오스 변이체인 화청*du-1*이나 찰품종인 화청찰벼의 순으로 증가하고 있어, 아밀로오스 함량이 낮아질수록 증가한다는 옥수수 변이체 전분의 경우[18]와 유사한 경향이었다. 그러나 남풍벼 계통은 반드시 그렇지도 않아서 저아밀로오스 유전자가 도입된 남풍 CB243보다 일반벼 품종인 남풍벼의 호화엔탈피가 오히려 컸다. 일반적으로 곡류 전분입자의 경우 찰품종의 호화엔탈피가 메품종들에 비해서 높은 경향이 있다[19]. 그러나 분질미 및 남풍 EM90은 메품종임에도 불구하고 찰품종인 화청찰벼보다도 높은 수치를 나타내고 있었다.

산 가수분해도

전분입자의 15% H_2SO_4에 의한 가수분해도 비교는 amylopectin의 방상구조 모델을 제시하는데 이용하였던 방법 중의 하나로써, 전분입자를 실온에서 15% H_2SO_4에 침적시켜두면 전분입자의 출처에 따라 가수분해도 및 속도에 차이는 있으나 최종적으로 약 40-50% 정도까지만 가수분해되며, 가수분해 잔사를 현미경으로 관찰하면 전분입자의 형태는 구형을 유지한 채 동심원이 보이는 Naegeli amylodextrin이 제조된다. 이렇게 Naegeli amylodextrin의 제조과정 중 15% H_2SO_4

Table 1. Heat of gelatinization and endotherm characteristics of starch granules from endosperm mutants in rice[1)]

Cultivars	To (°C)	Tp (°C)	Tc (°C)	ΔH(cal/g)
Whachungbyeo	63.97	71.89	78.44	1.46
Whachung *du-1*	64.74	72.41	79.53	1.75
Whachungchalbyeo	64.61	72.34	81.09	2.43
Nampungbyeo	63.12	69.93	79.74	2.30
Nampung CB243	76.83	81.92	87.19	1.39
Nampung EM90	65.42	72.52	81.04	2.67
shr(shrunken)	56.55	66.40	78.42	2.08
Punchilmi(*fl*)	57.34	67.42	80.13	2.70

[1)]To: onset temperature, Tp : max. peak temperature, Tc : completion temperature ΔH : enthalpy

Table 2. Time course of hydrolysis of various rice starch granules in 15% H_2SO_4 at 37

Cultivars	Degree of acid hydrolysis (%)				
	1 day	3day	5day	7day	9day
Whachungbyeo	6.09±0.09[d1)]	16.20±0.24[c]	20.72±0.33[b]	26.06±0.40[c]	27.98±0.04[c]
Whachung *du-1*	5.55±0.35[c]	16.52±0.40[c]	21.91±1.11[c]	24.15±0.71[b]	26.37±0.50[bc]
Whachungchalbyeo	6.42±0.05[e]	19.36±0.10[d]	24.00±0.64[d]	28.84±0.38[d]	30.22±1.01[d]
Nampungbyeo	4.81±0.06[b]	14.72±0.54[b]	19.99±0.34[b]	25.15±0.51[bc]	25.00±1.29[b]
Nampung CB243	2.95±0.18[a]	10.58±0.48[a]	15.31±0.41[a]	19.86±0.98[a]	22.36±0.59[a]
Nampung EM90	5.77±0.13[c]	21.60±0.66[e]	24.15±0.61[d]	29.27±0.44[d]	30.19±1.58[d]
shr(shrunken)	8.75±0.07[f]	30.71±0.26[g]	37.94±0.17[f]	37.96±0.15[f]	38.17±0.85[f]
Punchilmi(*fl*)	11.59±0.00[g]	24.41±1.10[f]	29.35±0.08[e]	32.67±1.68[e]	33.46±1.41[e]

[1)]Mean±S.D based on 3 samples
Means with different superscript within the same column are significantly different($p<0.05$)

에 의해서 쉽게 산 가수분해되는 분획을 아밀로펙틴의 무정형부분이라 하며[20], 아밀로펙틴 분자의 cluster 구조의 무질서도를 유추하는 방편이라고 생각한다[21,22]. 이러한 맥락에서, 8품종 변이체 전분 amylopectin의 무정형 분획에 대한 품종간 비교를 위해서 15% H_2SO_4에 대한 가수분해도 비교를 실시하였다(Table 2). 모든 품종에서 초기단계의 산 가수분해도에는 차이가 있었으며, 시간이 경과함에 따른 산 가수분해 속도도 다른 것을 알 수 있었다. 대체로 모든 품종에서 7일째부터 산 가수분해의 한계에 도달하고 있었으며, 아밀로펙틴 분자의 cluster 구조의 무질서도를 유추하는 방편으로 사용하고자 하는 최종 가수분해도는 품종간에 차이가 있어 *shr*이 38%이었다. 이는 산에 의해 가수분해되는 부분이 가장 많다는 의미로써, 즉 무정형 부분의 비율이 다른 품종들보다 높거나 아밀로펙틴의 cluster구조가 다른 품종들에 비해서 무질서한 구조를 하고 있으리라 예상 할 수 있겠다. 반면에 남풍 CB243은 가장 낮은 수치인 22%로써 산에 의해 가수분해 받기 어려운 상태 즉 무정형 부분의 비율이 다른 품종들보다 낮거나 아밀로펙틴을 구성하는 cluster구조가 다른 품종들에 비해서 어느 정도 질서있게 나열되어 있는 구조이리라 유추할 수 있겠다.

X선 회절도

X선 회절도는 일반적으로 전분입자의 결정형태와 결정화도를 비교하는데 이용하는 한 방법이다. 즉 X선 회절도의 peak가 날카로울수록 결정화도가 크다는 것을 의미하며, 전분입자의 경우에는 peak의 형태로 부터 A, B, C, Vtype 등으로 구분한다[23]. 8품종 변이체 벼의 전분들은 Fig. 3에 나타내고 있듯이 X선 회절도상에 3b, 4a, 4b, 6a의 peak가 뚜렷하게 구분되는 전형적인 A type들이었다. 그리고 Table 3에는 Zhang등[24,25] 및 Owusu-Ansah등[26]의 방법에 따라 X선 회절도 각

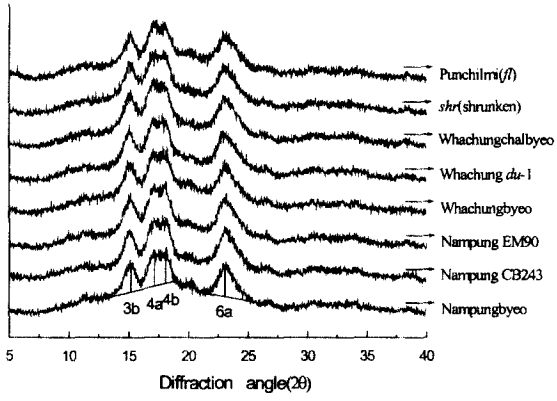

Fig. 3. Diagrammatic representation of X-ray diffractogram of various rice starches. I3b to I6a indicate X-ray diffraction intensity measured from the background line.

peak의 강도들로부터 차등화지수를 산출하였다. 이렇게 차등화지수를 산출 비교한 이유는, 일본산 찹쌀 12종의 경우 차등화지수가 0 이하인 group이 0 이상인 group에 비해서 glucoamylase 및 α-amylase에 의해 쉽게 가수분해된다는 결과들로부터 전분구조의 결정성을 연구하는 방편으로써 X선 회절도를 이용하는 선행연구들[24-26]이 있으므로 장차 변이체 벼의 가공성 검정을 위한 다양한 이화학적 특성을 비교할 때 의미있게 활용할 수 있는 지표가 되리라는 생각에서였다. 본 연구의 결과에서도 차등화지수가 0 이하인 화청찰벼, 남풍 EM90, *shr*, 분질미 등이 차등화지수가 0 이상인 화청벼, 화청 *du-1*, 남풍벼 보다 glucoamylase에 의해서 쉽게 가수분해되는(Table 4) 경향을 나타내고 있었다.

Glucoamylase에 의한 가수분해도

변이체 품종별 전분의 이화학적 특성 비교를 위한 수단으로서 glucoamylase에 의한 가수분해도를 비교하

Table 3. Varietal difference of rice starches based on X-ray diffraction pattern

Cultivars	Ratio of X-ray diffraction intensity scales			Discriminant score[4]
	3b/4b[1]	4a/4b[2]	6a/4b[3]	
Whachungbyeo	0.750±0.023[b5]	0.992±0.007[b]	0.814±0.013[d]	0.441±0.613[c]
Whachung *du-1*	0.698±0.010[a]	0.959±0.004[a]	0.734±0.003[b]	3.082±0.292[d]
Whachungchalbyeo	0.783±0.002[c]	1.077±0.002[d]	0.814±0.002[d]	-4.894±0.136[a]
Nampungbyeo	0.747±0.004[b]	0.953±0.005[a]	0.773±0.005[c]	3.003±0.197[d]
Nampung CB243	0.778±0.001[c]	1.037±0.004[c]	0.787±0.005[c]	-2.338±0.216[b]
Nampung EM90	0.785±0.007[c]	1.035±0.003[c]	0.657±0.000[a]	-1.898±0.142[b]
shr(shrunken)	0.753±0.009[b]	1.019±0.014[c]	0.741±0.017[b]	-0.912±0.969[bc]
Punchilmi(*fl*)	0.741±0.004[b]	1.093±0.032[d]	0.891±0.002[c]	-5.694±1.917[a]

[1]Score I, [2]Score II, [3]Score III

[4]Discriminant score : Z=-7.79(score I)-59.74(score II)-3.02(score III)+68.05

[5]Mean±S.D based on 3 samples

Means with different superscript within the same column are significantly different($p<0.05$)

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

Cultivars	Hydrolysis rate(%)			
	5min	30min	1hr	2hr
Whachungbyeo	13.187±0.598[c1]	31.530±2.193[a]	60.460±4.109[bc]	75.926±4.287[b]
Whachung *du-1*	12.773±0.200[bc]	35.112±0.881[ab]	60.490±3.474[bc]	86.768±7.291[c]
Whachungchalbyeo	18.819±0.447[e]	38.579±4.679[b]	67.205±4.599[cd]	98.477±1.558[d]
Nampungbyeo	11.602±0.787[b]	37.406±2.580[b]	51.935±4.153[ab]	71.513±1.744[ab]
Nampung CB243	8.689±0.394[a]	36.584±0.441[b]	48.160±4.834[a]	68.147±3.575[a]
Nampung EM90	17.332±0.608[d]	37.016±2.441[b]	72.115±6.087[d]	93.960±3.365[d]
shr(shrunken)	24.471±1.501[f]	48.186±3.275[c]	73.485±4.933[d]	97.168±2.865[d]
Punchilmi(*fl*)	38.623±0.354[g]	67.133±1.576[d]	82.189±5.432[e]	96.838±3.102[d]

[1]Mean±S.D based on 3 samples

Means with different superscript within the same column are significantly different($p<0.05$)

였다. Glucoamylase는 전분분자의 환원성 말단에서부터 순차적으로 작용하여 최종적으로 glucose 단위까지 가수분해하는 exo-type의 효소이다. 실제로 생전분입자에 glucoamylase를 작용시키면 생전분입자는 입자의 표면으로부터 넓은 범위에 걸쳐 가수분해가 진행되므로 SEM 사진에서, 전분분자의 표면이 너와집의 지붕과 같은 형태가 관찰된다[27]. 이는 SEM 사진에서 전분분자의 표면에 pin hole을 형성하면서 가수분해되고, 전분입자를 부수어뜨리면 계단상의 층상구조가 보이는 endo-type의 α-amylase[28,29]와는 다른 특성이라는 점에서 이들 효소 가수분해 양상의 비교에 의해 전분의 분자구조의 결정화도를 유추하는 수단으로 삼기도 한다[30-32]. 즉 glucoamylase에 의한 초기 가수분해도가 높다는 것은 전분입자의 표면에 환원성 말단의 수가 많다는 것을 의미한다고 할 수도 있다. 변이체 품종별 전분입자의 glucoamylase에 의한 가수분해도를 Table 4에 나타내었다. 분질미는 초기의 가수분해도가 다른 품종들에 비해서 월등히 높았으며, *shr*.도 찰품종인 화청찰벼보다 높았다. 37°C에서 2시간 작용시키면 찰품종인 화청찰벼는 거의 100% 가수분해되지만 메품종인 화청벼, 남풍벼는 70-75%는 정도의 수준이었고 저아밀로오스 유전자가 도입된 화청 *du-1* 및 남풍 EM90 등의 가수분해도는 증가하는 경향이 있었다. 그리고 남풍 CB243 품종이 예외이긴 하지만 X선 회절도의 분석치인 차등화지수가 0이하인 화청찰벼, 남풍EM90, *shr*, 분질미 등이 차등화지수가 0이상인 화청벼, 화청 *du-1*, 남풍벼 등에 비해서 glucoamylase에 의해 쉽게 가수분해되는 경향이 있어, 전분구조의 결정성을 연구하는 방편으로써 X선 회절도를 이용하는 선행연구들[24-26]과 유사한 결과를 얻었다.

요 약

8품종 변이체 쌀로부터 전분을 분리하여 몇몇 이화학적 특성을 비교하였다. 일반품종 및 저아밀로오스 변이체 쌀 전분입자의 형태는 다변형인데 비해서 *shr* 및 분질미 전분입자의 형태는 구형을 나타내고 있었다. 남풍 CB243의 호화개시온도 및 호화종료온도가 특히 높았으며, 분질미 및 남풍 EM90의 호화엔탈피가 다른 품종들에 비해서 높았다. 15% H_2SO_4에 대한 가수분해

도는 *shr*이 가장 높았으며, 남풍 CB243이 가장 낮았다. X선 회절도는 8품종 모두 전형적인 A형이었다. 저아밀로오스 유전자가 도입된 품종일수록 glucoamylase에 의한 효소 가수분해도는 증가하고 있었다.

감사의 글

본 연구는 학술진흥재단의 자유공모과제(1998-2000년) 연구비 지원에 의해서 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

문 헌

1. Sato, H. and Omura, T. New endosperm mutations introduced by chemical mutagens in rice, Oriza sativa L., Japan J. Breed. 31: 316-326 (1981)
2. Kim, K. H., Heu, M. H., Park, S. Z. and Koh, H. J. New mutants for rice grain quality, Korean J. Crop Sci. 36: 197-203 (1991)
3. Kaushik, R. P. and Khush, G. S. Genetic analysis of endosperm mutants in rice, Oriza sativa L., Theor. Appl. Genet. 83: 146-152 (1991)
4. Kinshita, T. Report of committee on gene symbolization, nomenclature and linkage groups, Rice Genetic Newsletter 12: 9-153 (1995)
5. Yano, M., Okuno, K., Kwakami, J., Satoh, H. and Omura, T. High amylose mutants of rice, Oriza sativa L., Theor. Appl. Genet. 69: 253-257 (1985)
6. Kinshita, T. and Kikuchi, H. Inheritance of amylose content in crosses of low amylose mutant, Rice Genetic Newsletter 4: 83-85 (1987)
7. Okuno, K., Fuwa, H. and Yano, M. A new mutant gene lowering amylose content in endosperm starch of rice, Oriza sativa L., Japan, J. Breed. 33: 387-394 (1983)
8. Heu, M. H. Inheritance of chalkiness of brown rice found in non-glutinous rice cultivar "Pokhareli Mashino", Korean J. Breeding 18: 162-166 (1986)
9. Okuno, K. and Yano, M. New endosperm mutants modifying starch characteristics of rice, Oriza sativa L., JARQ. 18: 73-78 (1984)
10. Omura, T. and Yano, M. Mutation of grain properties in rice. pp.293-313, in *Biology of Rice*, Japan Sci. Press, Tokyo/Elsevier. Amsterdam.(1984)
11. Kinoshita, T. and Takahashi, M. The one hundredth report of genetical studies on rice plant, J. Fac. Agt. Hokkaido Univ. 65: 1-61 (1991)
12. Maekawa, M. Location of a floury endosperm gene in the second linkage group, Rice Genetic Newsletter 2: 57-58 (1985)
13. Asaoka, 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, Staerke 36: 189-194 (1984)
14. 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)
15. Loyd, J.B. and Whelan, W.J. An improvedmethod for enzymic determination of glucose in the presence of maltose. Anal. Biochem. 30: 467-470 (1969)
16. Kang, M.Y. and Han, J.Y. Comparison of some characteristics relevant to rice bread made from eight varieties of endosperm mutants between dry and wet milling process(in Korean). Korean J. Food Sci. Technol. (in contribution)
17. Kang, M.Y., Koh, H.J. and Han, J.Y. Comparison of some characteristics relevant to rice bread made from eight varieties of endosperm mutants between brown and milled rice(in Korean). Korean J. Food Sci. Technol. (in contribution)
18. Inouchi, N., Glover, D.V. and Fuwa. H. : Developmental changes in starch properties of several endosperm mutants of maize(*Zea mays* L.) Staerke 36: 8-13 (1984)
19. Inouchi, N., Glover, D.V. Sugimoto, Y. and Fuwa, H.: DSC chracteristics of gelatinization of starches of single-, double- and triple- mutants and their normal counterpart in the inbred Oh43 maize(*Zea mays* L.) background. Staerke 43: 468-472 (1991)
20. 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)
21. Kainuma, K. and French, D. Naegeli amylodextrin and its relationship to starch granule structure(I), Biopolymers 10: 1673-1681 (1971)
22. Kainuma, K. and French, D. Naegeli amylodextrin and its relationship to starch granule structure(II), Biopolymers 11: 2241-2249 (1971)
23. Hizukuri, S. X-ray diffractometric studies on starches. Agric. Biol. Chem. 25: 45-52 (1971)
24. Zhang, Q., Abe, T., Ando, H. and Sasahara, T. Classification of glutinous rice (*Oryza sativa* L.) starches based on X-ray diffraction pattern, Annals of Botany 72: 551-557 (1993)
25. Zhang, Q., Abe, T., Takahashi, T. and Sasahara, T. Variations in in vitro starch digestion of glutinous rice flour, J. Agric. Food Chem. 44: 2672-2674 (1996)
26. Owusu-Ansah, J., Van devoort, F.R. and Stanley, D.W. Determination of starch gelatinization by X-ray diffractometry, Cereal Chem. 59: 167-171 (1982)
27. 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)
28. Takaya, T., Sugimoto, Y., Wako, K. and Fuwa, H. Degradation of starch granules by α-amylase of *Streptomyces precox* NA-273, Staerke 31: 205-208 (1979)
29. Takaya, T., Sugimoto, Y., Imo, E. and Fuwa, H. Degradation of starch granules by α-amylase of fungi. Staerke 30: 289-293 (1979)

30. Whistler, R.L., Bemiller, J.N. and Paschall, E.F. Organization of starch granules, pp 188-193, Starch chemistry and technology, Academic press.(1984)
31. Fukui, T., Fujii, 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)
32. Fuwa, H. Digestion of various starch granules by amylases, J. Jpn. Soc. Starch Sci. 24: 128-140 (1977)

(1999년 12월 20일 접수)