KOREAN J. FOOD SCI. TECHNOL.
Vol. 23, No. 5, pp. 554~560(1991)

한국산 마전분의 이화학적 특성

김화선 · 김상순 · 박용곤* · 석호문*
숙명여자대학교 식품영양학과, *한국식품개발연구원

Physicochemical Properties of Several Korean Yam Starches

Wha-Sun Kim, Sang-Soon Kim, Yong-Kon Park* and Ho-Moon Seog*
Department of Food and Nutrition, Sookmyung Women's University
**Korea Food Research Institute*

Abstract

The physicochemical properties of Korean yam starches (*D. aimadoimo, D. batatas* and *D. japonica*) were investigated. The mean granular size of starches were 23.5 μm for *D. aimadoimo*, 23.9 μm for *D. batatas* and 18.2 μm for *D. japonica*. Amylose content, blue value and water binding capacity was 29~33%, 0.42~0.51% and 109.9~118.3%, respectively. The optical transmittance of 0.3% (dry basis) yam starch suspensions were increased at 70~75℃ and *D. japonica* showed typical two-step transmittance curve. The swelling power and solubility patterns increased over 60℃, and *D. aimadoimo* was the highest values. Amylogram patterns of 5% (dry basis) yam starch suspensions, determined by Brabender amylograph, were similar to that of yam flours and the viscosity of *D. aimadoimo* had 630 BU, which was about 5 times higher than 130 BU for *D. batatas* and *D. japonica*. Observation under scanning electron microscope lefted marks of resistance to glucoamylase because these surfaces were similar to the natural granules. In rates of solubiliazation by dimethyl sulfoxide, *D. aimadoimo* showed the highest value. β-Amylolysis limits of yam starches and their amylose were 71.8%~75.5% and 90.2~92.1%, respectively. Gel filtration patterns of debranched amylopectin by pullulanase were divided into 3 peaks. The weight ratios of peak III to peak II in yam starches were 2.15%~2.42%.

Key words: Korean yam starches, physicochemical properties

서 론

우리나라에서 재배되고 있는 식용마는 덩이 뿌리모양에 따라 긴마, 단마 및 참마로 나뉘게 되며 가식부는 뿌리가 원주상으로 비대한 괴근이며 생근으로 내부는 백색, 외부는 다갈색으로 여러 곳에 세모근 및 소공이 있는 숙근성 덩굴 초본이다. 긴마(*D. batatas* DECNE)는 장산약 또는 마라고도 부르며 우리나라 전역에 걸쳐 분포, 재배되는 마이며, 단마(*D. aimadoimo*)는 1979년 일본 대화마를 도입하여 재배시킨 품종으로 긴마에 비해 덩이 뿌리의 길이가 짧아 수확이 간편하고 수량성도 높아 식용마 재배용으로 선발하여 보급시키는 품종이다[1]. 참마(*D. japonica* THUNB)는 환산약 또는 진주 지역에서의 재배 능력이 좋아 일명 진주마라고도 한다.

본 연구는 우리나라에서 재배되고 있는 긴마, 단마 및 참마에서 분리한 전분의 이화학적, 분자구조적 특성을 조사하여 마 및 마전분을 이용한 가공식품의 개발을 위한 기초자료를 제공하고자 실시하였다.

Corresponding author: Wha-Sun Kim, Department of Foods & Nutrition, Sookmyung Women's University, Chungpadong 2-ka, Yongsan-ku, Seoul 140-742, Korea

재료 및 방법

재료

본 실험에 사용한 긴마는 강원도 원주, 참마는 경상남도 진주, 단마는 강원도 인제에서 1989년에 재배된 것을 1990년 5월에 구입하여 냉동건조한 후 사용하였다.

전분의 제조

전분은 Suzuki 등[2]의 방법에 따라 제조한 후 60 mesh 표준망체를 통과시켜 시료로 사용하였다. 전분의 일반조성은 수분 9.40~12.20%, 조단백 0.12~0.20%, 조지방 0.04~0.05% 및 회분 0.06~0.07%의 범위였다.

아밀로오스와 아밀로펙틴의 분획

전분으로부터 아밀로오스와 아밀로펙틴의 분리, 정제는 Suzuki 등[2]의 방법을 일부 변경시켜 전분에 dimethyl sulfoxide를 가해 용해시킨 후 60℃의 증류수, 1-butanol 및 isoamyl alcohol 혼합액을 가해 85℃에서 3시간 자비환류시킨 후 원심분리시켜 상징액은 감압 농축시킨 후

아밀로펙틴을 얻었고 침전물은 재결정화시킨 다음 원심분리하여 아밀로오스를 얻었다.

전분입자의 크기 분포 및 성장

전분의 입자크기 분포는 대물 및 대안측미계가 부착된 광학현미경을 이용하여 500개의 전분입자를 관찰하여 산출하였고[3], 전분입자의 표면 구조는 주사전자 현미경(ISI-SS130 Scanning electron microscope, Akashi Japan)을 사용하여 15 kV 가속하에서 관찰하였다.

전분의 이화학적 특성 측정

아밀로오스 함량은 Fukuba 등[4]의 방법에 따라 처리한 후 600 nm에서의 흡광도를 측정하여 감자 아밀로오스와 아밀로펙틴(Sigma Chemical Co., U.S.A.)을 사용하여 작성된 검량선에 따라 아밀로오스함량을 산출하였으며, blue value는 Gilbert 등[5]의 방법으로, 물결합력은 Medicalf 등[6]의 방법으로 측정하였고, 광투과도의 변화는 Wilson 등[7]의 방법에 따라 실시하였다. 팽윤력, 용해도 및 4% 전분 호화액의 저온 저장중 광투과도 변화는 Kainuma 등[8]의 방법에 따라 측정하였고, amylograph를 사용하여 건량기준 5% 전분 현탁액의 호화특성을 조사하였다. 전분의 효소 분해성은 glucoamylase (Fluka, *Aspergillus niger*, 100V/mg)를 가하여 40℃에서 진탕하여[9] 반응 시간별로 시료를 취해 상징액의 총당을 페놀-황산법[10]으로 측정하여 산출하였고, dimethyl sulfoxide에 의한 용해율은 Leach 등[11]의 방법에 따라 실시하였다.

전분의 분자 구조적 특성 측정

전분 및 아밀로오스와 아밀로펙틴의 β-amylase (980 U/mg), pullulanase (Sigma Chemical Co., *Enterobacter aerogenes*, 31 u/mg)에 대한 분해율은 Watanabe 등[12]의 방법에 따라 행하였고, 이들의 분자량 분포는 Yamada 등[13]의 방법에 따라 Sepharose CL-2B를 사용, 이동상을 증류수로 하여 13.6 ml/hr씩을 분취하여 페놀-황산법으로 총당함량을, 나머지 용액은 요오드용액(0.2% I_2, 2% KI)으로 발색시킨뒤 600 nm에서의 흡광도와 최대 흡수파장(λ_{max})을 측정하여 조사하였다. 아밀로펙틴의 단위 쇄장 분포는 Adbullah 등[14]에 따라 pullulanase 5U를 가해 측쇄를 절단시킨 후 Sephadex G-75 칼럼을 사용, 24 ml/hr의 속도로 용출시켜 분취한 다음 총당 및 환원당을 측정하여 용출곡선을 작성하였고, 중합도는 환원당량에 대한 총당값으로 계산하였으며, 내부체인(Fraction II)에 대한 외부 체인(Fraction III)의 중량 비율은 Biliaderis 등[15]의 방법에 따라 계산하였다.

결과 및 고찰

전분입자의 크기 분포 및 성상

마전분의 입자크기 분포를 조사한 결과는 Fig. 1과 같다. 단마와 긴마는 입자크기 20~25 μm의 전분이 40% 이상으로 평균 입자크기 23.5, 23.9 μm으로 유사한 분포를 나타내었다. 참마는 입자크기 15~20 μm의 전분이 55.3%로 다른마에 비해 작은 입자의 분포가 많고 평균 입자크기에 있어서도 18.2 μm로 다른 마 전분에 비해 입자가 작아, 마품종에 따라 전분 입자크기의 차이를 나타내었다.

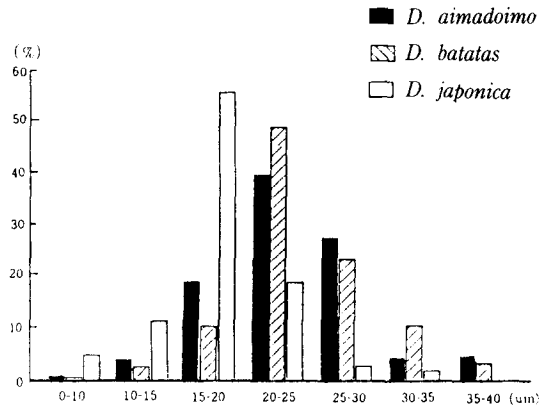

Fig. 1. Granular size distribution of yam starches

한편 주사전자 현미경으로 전분의 표면 형태를 관찰한 결과는 Fig. 2로 마전분은 품종에 관계없이 감자 전분과 다소 유사한 불규칙한 난형(卵形)의 형태를 나타내었으며 그 입자의 표면은 매끈하였다. 일반적으로 마전분은 그 형태에 있어서 감자 전분에 가까운 것과 모서리가 난 것 등 품종에 따라 그 형태가 서로 다른 것으로 알려져 있다[16-18].

전분의 이화학적 특성

Table 1은 마전분의 아밀로오스, blue value 및 물결합력의 측정 결과로서 아밀로오스 함량은 단마가 33%로 높고, 긴마가 29%로 낮았다. West Africa에 분포되어 있는 마전분의 아밀로오스 함량은 14~23%[16,19], 일본에서 보고된 마전분은 21~26%인데[2,20,21] 비해 본 실험에 사용한 마의 전분함량은 높았다. 전분의 직쇄상 분자의 양을 상대적으로 나타내는 blue value에 있어서는 단마가 0.51로 긴마 및 참마에 비해 높은 값을 나타내어 아밀로오스 측정 결과와 유사한 경향으로 일반적인 보고와 비슷하였다[22]. 물결합력의 측정 결과에 있어서는 긴마가 118.3%로 높고 단마가 109.9%로 낮은 값으로 카사바와 칡전분의 91%[19], 고구마의 87%[18]에 비해 높은 치를 나타내었지만 potato yam의 125%[18] 보다는 낮은치를 나타내었다.

0.3% 전분 현탁액의 온도 변화에 따른 광투과도의 변화를 조사한 결과는 Fig. 3과 같다. 단마는 70℃, 긴마 및 참마는 이보다 다소 높은 75℃까지는 큰 변화가 없었으나 그후 입자가 수화, 팽윤되면서 급격하게 광투과

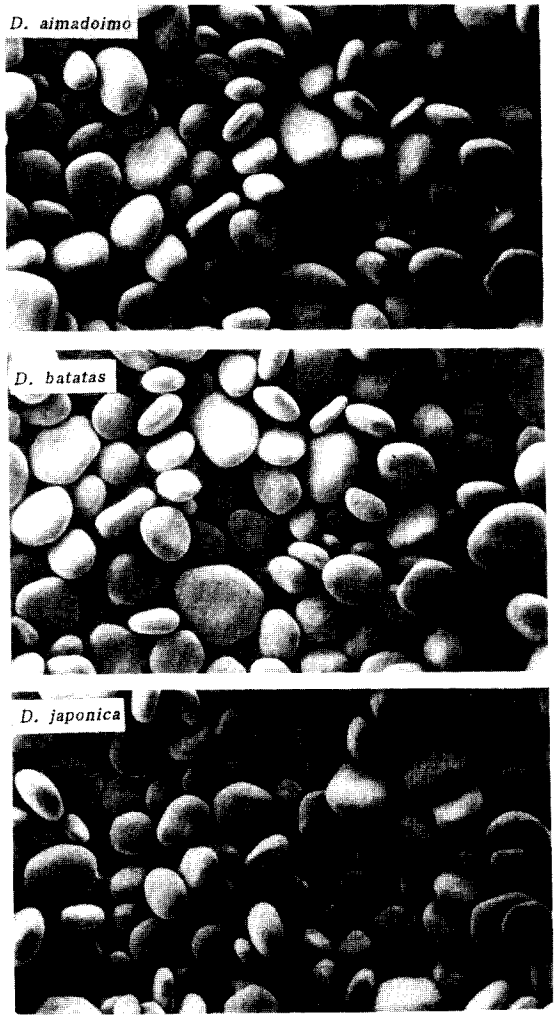

Fig. 2. SEM of yam starches (×1000)

도가 증가하였고 특히 단마는 다른 마전분에 비해 높은 광투과도를 나타내었다. 또한 단마와 긴마는 single stage 형태를 보인데 반해 참마는 85℃ 부근을 기점으로 또다시 광투과도 증가를 보인 double stage 형태로 흔히 곡류 전분에 나타나는 형태였다.

Fig. 4와 5는 전분의 팽윤력과 용해도를 측정한 결과로서 각 전분 모두 60℃까지는 큰 변화가 없었으나 그후 온도가 높아짐에 따라 팽윤력과 용해도가 모두 증가하였고, 단마의 경우 전반적인 온도 범위에서 가장 높은 팽윤력과 용해도 값을 나타내어 전분 현탁액의 호화 양상과 비슷한 경향이었으며, 석등[18]에 의해 나타난 potato yam과 비슷한 경향이었다.

Table 2는 전분의 호화특성을 조사한 결과로서 호화 개시온도는 단마가 80.3℃로 낮고 참마가 84.3℃로 높아 일반적인 마전분의 결과보다 다소 높은 온도를 나타내었으며, 이들간의 차이는 각 품종간의 차이로 생각된다.

Table 1. Amylose content, blue value and water binding capacity of yam starches

Sample	Amylose content (%)	Blue value	Water binding capacity (%)
D. aimadoimo	33	0.51	109.9
D. batatas	29	0.47	118.3
D. japonica	31	0.42	113.7

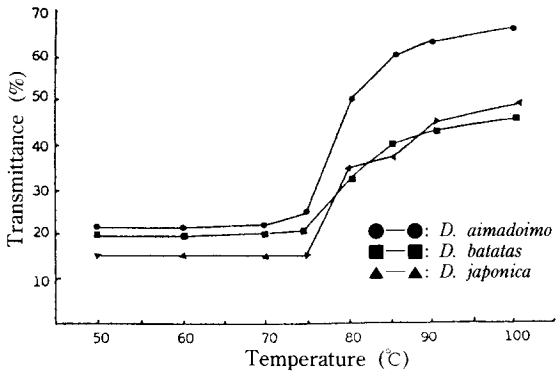

Fig. 3. Changes in transmittance of 0.3% yam starch suspensions

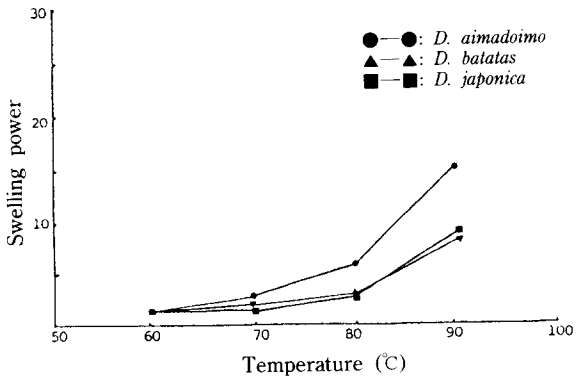

Fig. 4. Swelling power patterns of yam starches

흔히 전분의 호화 개시온도는 이들이 재배된 토양 온도에 큰 영향을 받으며, 호화 개시온도가 높은 전분일수록 제빵시 빵껍질 형성에 좋은 것으로 알려져 있다[23]. 또한 마전분의 점도는 계속 상승되는 형태로 95℃에서 계속 가열시에도 breakdown 현상을 나타내지 않고 점도의 상승됨은 팽윤된 전분 입자가 열 및 shear force에 대하여 안정성이 높은 것으로 나타나는데[24], 이는 일반적인 마전분의 연구결과와 유사한 호화특성을 나타내었다[16,18,19]. Brabender amylograph에서의 호화 양상은 전분입자의 팽윤 정도와 열이나 전단력으로 인한 분해에 대해 팽윤된 입자의 저항 정도를 나타내게 되는 것으로 Schoch 등[25]에 의한 amylograph에서의 호화특성을 토

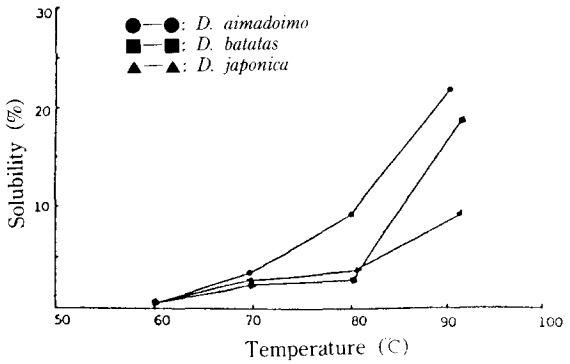

Fig. 5. Solubility patterns of yam starches

Table 2. Amylograph indices on yam starches (5%)

Sample	Initial pasting temperature (℃)	Viscosity at 95℃ (BU)	15 min hold viscocity[a] (BU)
D. aimadoimo	80.3	630	730
D. batatas	82.5	130	235
D. japonica	84.3	130	250

[a]Height after 15 min holding at 95℃

대로, 본 실험에 사용한 마전분은 B형의 호화특성을 가지는 것으로 생각된다.

Table 3은 4% 전분 호화액을 4℃에 저장하면서 시간별로 광투과도의 변화를 조사한 결과이다. 초기의 광투과도는 단마가 48.6으로 참마 및 긴마에 비해 높아 전분 현탁액의 광투과도 결과와 일치하는 경향이었으나, 각 전분 모두 저장 5시간만에 급속한 광투과도 감소로 본 실험에 사용된 마전분은 저온에서의 노화경향이 대단히 신속하게 나타났다.

마전분에 glucoamylase를 작용시켜 반응 시간별로 분해율을 조사한 결과는 Fig. 6과 같다. 참마가 다른 마에 비해 효소 분해율이 가장 높은 형태로 반응 48시간에 34%의 분해율을 보였으며, 단마의 경우 반응 16시간까지는 긴마보다 다소높은 분해율을 나타내었으나 16시간 이후부터는 긴마가 단마보다 높은 분해율을 나타내어 마전분 입자에 대한 효소 분해양상도 마품종에 따라 다소 차이가 있는 것으로 나타났다. Sugimoto 등[26]에 의하면 옥수수를 대조구로 24시간 후 전분입자들의 pancreatin 민감도를 비교해 본 결과 마의 경우 둥근형(round type)이 55%인데, 반해 긴형(long type)은 28%로 마 품종에 따라 차이가 나타나는 것으로 본 실험은 중국의 긴형과 비슷한 결과를 나타내었으며 이러한 양상은 Fuwa[27]의 연구결과에서도 보고된 바 있다.

DMSO에 대한 전분의 용해율을 시간별로 조사한 결과는 Fig. 7과 같다. 반응 전시간에 걸쳐 단마가 높은 용해율을 보여 반응 48시간 후에 거의 100% 용해율을 보인 반면 긴마는 다소 낮은 용해율을 보여 glucoamylase에 의한 전분 입자의 분해율과는 다른 경향을 나타내었다. 일반적으로 전분이 DMSO 용해율이 높은 경우에는 효소 분해성이 높은 것으로 알려져 있으나[11], 바나나 전분과 같이 DMSO용해율과 효소 분해성이 비례하지 않는 경우도 있어[28], 효소 분해성과 DMSO 용해율 역시 전분의 품종에 따라 다소 차이가 있는 것으로 생각된다[11].

마전분 및 전분에서 분리, 정제한 아밀로오스와 아밀로펙틴의 β-amylase와 pullulanase에 의한 분해율을 측정한 결과는 Table 4와 같다. 마전분의 경우 단마가 75.5%로 높고 긴마가 71.8%로 낮았으나 일반적인 마전분의

Table 3. Changes in transmittance at 600 nm of 4% gelatinized yam starches during cold storage at 4°C

Sample	Storage time(hrs)				
	0	5	24	48	72
D. aimadoimo	48.6	3.6	2.6	2.2	2.1
D. batatas	14.0	2.8	2.3	2.0	2.1
D. japonica	15.6	2.8	2.3	2.0	2.0

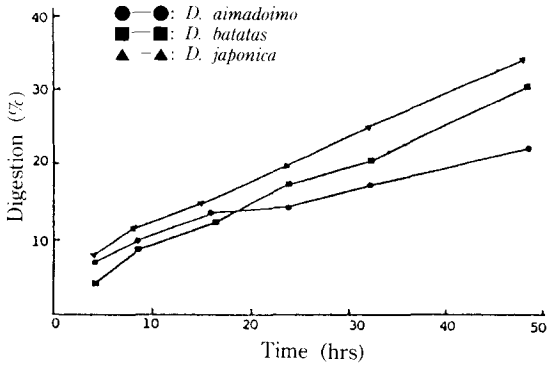

Fig. 6. Rates of digestion of yam granular starches by glucoamylase

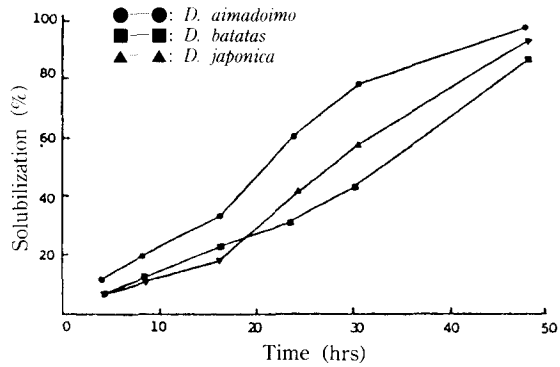

Fig. 7. Rates of solubilization of yam starches in dimethyl sulfoxide

Table 4. β-Amylolysis limit(%) of yam starches and starch fractions

Sample	*D. aimadoimo*		*D. batatas*		*D. japonica*	
	β-amylase	β-amylase & pullulanase	β-amylase	β-amylase & pullulanase	β-amylase	β-amylase & pullulanase
Starch	75.5	98.4	71.8	98.1	73.2	98.2
Amylose	92.1	99.4	90.2	99.1	90.2	99.0
Amylpectin	63.7	97.2	65.4	98.1	66.9	98.8

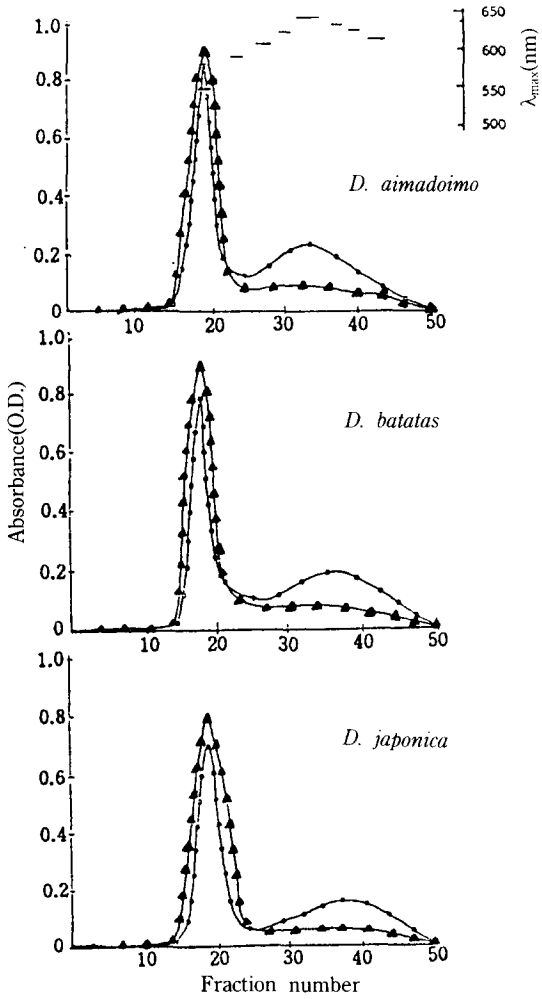

Fig. 8. Elution patterns of yam starches on Sepharose CL-2B

▲—▲; Total carbohydrate (490 nm), ●—●; Iodine complex (600 nm)

보고치[2]와 비슷하였고 쌀 및 고구마 전분보다 높았다[18]. 아밀로오스에 있어서도 단마의 92.1%에서 참마의 90.2%로 마 품종간에 다소의 차이는 있으나 β-amylase와 pullulanase의 병용 처리시 거의 100%에 가까운 분해율을 나타내었으며, 이들 아밀로오스가 β-amylase에 의해 완전히 분해되지 않은 것은 이들 아밀로오스에 일부

Table 5. Relative sizes of groups of unit chains from yam amylopectins after debranching with pullulanase[a]

Sample	Distribution of peak (%)[b]			III/II[c]
	I	II	III	
D. aimadoimo	25.5	23.3	51.3	2.20
D. batatas	23.3	24.6	53.1	2.15
D. japonica	27.9	21.1	51.0	2.42

[a]As a percentage of total material eluted from column of Sephadex G-75

[b]I: Fraction No. 24～32, II: Fraction No. 33～59, III: Fraction No. 60～85

[c]Proportions by weight

분지 결합이 존재하거나[29], 또는 아밀로펙틴이 혼합된 때문일 것으로 추정된다[30]. 감자, 타피오카 및 칡 아밀로오스의 β-amylase 분해한도 71～76%보다는 높은 수치였다[31]. 아밀로펙틴의 경우에는 참마의 66.9%에서 긴마의 63.7%의 범위로서 고구마의 63.3%와 비슷한 범위를 나타내었다[18].

Fig. 8은 전분을 Sepharose CL-2B column으로 겔 크로마토그라피한 결과이다. 각 전분 모두 2개의 peak로 분리되었고 이중 void volume상의 peak는 총당함량 및 요오드 복합체의 최대 흡수파장(λ_{max}) 등의 결과로 미루어 볼때 전분의 구성성분 중 아밀로펙틴에 해당하고, 이후의 peak는 요오드 복합체의 최대 흡수파장이 610～630 nm인 점 및 총당값이 요오드 복합체의 흡광도보다 낮은 점으로 미루어 아밀로오스에 해당함을 알 수 있었다. 아밀로오스 분획은 단마가 fraction No.30～35사이에 요오드 복합체에 의한 뚜렷한 peak를 나타내었고 긴마 및 참마는 단마에 비해 분자량이 다소 낮은 fraction No.35～40 사이에서 나타났다. 이와 같은 사실은 아밀로오스분획의 경우 시료 전분들 사이에 양적인 면에서 뿐만 아니라 분자량 분포에 있어서도 차이가 있음을 말해주는 것으로 생각된다.

Table 5 및 Fig. 9는 pullulanase로 아밀로펙틴의 α-1,6-glucoside 결합을 가수분해시킨 후 Sephadex G-75로 겔 크로마토그라피한 결과이다. 이들은 모두 3개의 peak로 분리되었고, 이중 void volume상의 peak I이 차지하는 비율은 참마가 27.9%로 높았고 긴마가 23.3%로 낮은 값을 나타내었으나 감자전분보다는 다소 높은 값이었다[18]. Peak I의 성분은 pullulanase로 분해되지 않는 즉 아밀로펙틴의 분리시 혼입된 아밀로오스[32] 또는 아밀

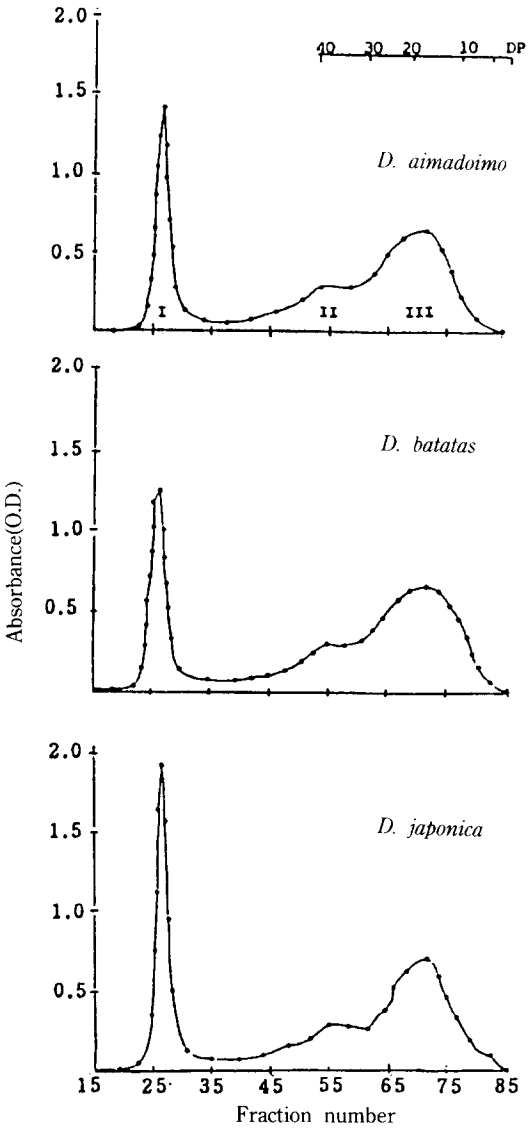

Fig. 9. Elution patterns of total carbohydrate(490 nm) in yam amylopectins after debranching with pullulanase on Sepharose G-75

로오스와 아밀로펙틴의 중간적 성질을 지닌 물질[33] 또는 아밀로펙틴의 구조 중 인산기를 운반하는 직쇄상 분자로 추정되며[34,35], peak II와 peak III은 원래의 아밀로펙틴 가지가 절단되어 생긴 것으로 전형적인 bimodal분포의 unit chain을 나타내었으며, 이들 peak에서의 중합도는 15와 40부근이었다. 한편 peak II에 대한 peak III의 중량비는 참마가 2.42로 높고 긴마가 2.15로 낮아 긴마가 다른 마에 비해 전분의 구성 성분중 긴 사슬이 짧은 사슬에 대한 중량비가 크다는 것을 알 수 있었다.

이상으로 우리나라에서 재배되고 있는 마품종 중 긴마와 참마는 서로 비슷한 양상으로 나타났으나 이에 단마는 약간의 차이로써 아밀로오스 함량, 점도, 4% 호화 전분의 광투과도 및 온도 상승에 따른 팽윤력과 용해도치가 다소 높게 나타난데 반해 호화 개시온도는 다소 낮은 치를 나타내었고 겔 크로마토그라피의 아밀로오스 분획에서도 단마는 긴마와 참마에 비해 분자량이 다소 높은 분획에서 peak를 나타내었다. 따라서 본 실험에 사용한 마의 경우 참마 및 긴마와 단마에서 분리한 전분은 그들의 품종에 따라 다소 상이한 이화학적, 분자구조적 특성을 나타내어 향후 이들을 가공 제품에 활용할 경우 품종별 전분의 특성을 충분히 고려하여야 할 것으로 생각된다.

요 약

한국에서 재배되고 있는 긴마, 단마 및 참마에서 분리한 전분의 특성을 조사한 결과는 다음과 같다. 전분의 평균 입자크기는 각각 단마 23.5 μm, 긴마 23.9 μm 및 참마 18.2 μm로 나타났고 표면 형태는 품종에 관계없이 불규칙한 난형(卵形)을 나타내었으며 그 입자의 표면은 매끈하였다. 마전분의 아밀로오스 함량은 29~33%였고 물결합력은 109.9~118.3%였으며 온도변화에 따른 광투과도는 70~75℃에서 상승 현상을 나타내는데 특히 참마는 85℃부근에서 double stage 형태를 나타내었다. 팽윤력과 용해도는 단마가 다소 높은 수치를 나타내었고, 5% 마전분의 아밀로그램에 의하면 80.3~84.3℃의 높은 호화 개시온도로 95℃에서 가열시 계속적인 점도 상승 현상을 나타내었다. 마전분에 glucoamylase를 작용시킨 결과 반응 48시간후 최고 34%의 낮은 분해율을 보인 반면 DMSO에 의해서는 반응 48시간 후 최고 100%의 용해율을 나타내었다. 마전분 및 전분에서 분리, 정제한 아밀로오스와 아밀로펙틴의 β-amylolysis limit는 마전분의 경우 71.8~75.5%를 나타내었고 아밀로오스에 있어서는 90.2~92.1%였으며 아밀로펙틴의 경우 63.7~66.9%를 나타내었다. 전분을 Sepharose CL-2B column으로 겔 크로마토그라피한 결과 모두 2개의 peak로 분리되었으며 pullulanase로 아밀로펙틴의 α-1,6-glucosidase 결합을 가수분해시킨 후 Sephadex G-75로 겔 크로마토그라피한 결과 peak II와 peak III의 정점에서의 중합도는 각각 15와 40부근이며 peak II에 대한 peak III의 중량비는 2.15~2.42 분포를 나타내었다.

문 헌

1. 정을권 : 산약 재배 새 농민 기술대학 교육자료 42. 서울, p.241(1989)
2. Suzuki, A., Kanayama, M., Takeda, Y. and Hizukuri, S.: Physicochemical properties of nagaimo(yam) starch. *J. Jpn. Soc. Starch Sci.*, **33**, 191(1986)
3. MacMasders, M.M.: Microscopic techniques for determining starch granule properties. In *Methods in Car-*

bohydrate Chemistry, Whistler, R.L. (ed), Academic Press, New York, Vol.4, P.233(1964)
4. Fukuba, H. and Kainuma, K.: *Starch Science Handbook.* Nikuni, Z. Nakamura, M. and Suzuki, M.(eds), Asakura Publishing, Tokyo, p.174(1980)
5. Gilbert, G.A. and Spragg, S.P.: Iodimetric determination of amylose. In *Method in Carbohydrate Chemistry*, whistler, R.L. (ed), Academic Press, New York, Vol.4, p.168(1964)
6. Medicalf, D.G. and Gilles, K.A.: Wheat starches. I. Comparison of physicochemical properties. *Cereal Chem.*, **42**, 558(1965)
7. Wilson, L.A., Birmingham, V.A., Moon, D.D. and Synder, H.E.: Isolation and characterization of starch from nature soybeans. *Cereal Chem.*, **55**, 561(1978)
8. Kainuma, K., Miyamoto, S., Yoshioka, S. and Suzuki, S.: Studies on stracture and physicochemical properties of starch. *J. Jpn. Soc. Starch Sci.*, **23**, 59(1976)
9. Monma, M., Yamamoto, Y. and Kainuma, K.: Ultrastructure of corn starch granules digested by *Chalara paradoxa* glucoamylase. *Denpun Kagaku*, **37**, 13(1990)
10. Dubios, M., Gilles, K.A., Hamilton, J.K., Rebers, P.A. and Smith, F.: A colorimetric method for the determination of sugars and related substance. *Anal. Chem.*, **28**, 350(1956)
11. Leach, H.W. and Schoch, T.: Structure of the starch granule. III. Solubilities of granular starches in dimethyl sulfoxide. *Cereal Chem.*, **39**, 318(1962)
12. Yamada, Y., Ayano, Y. and Obara, T.: Studies on gamma irradiation of high amylose corn starch. *J. Jpn. Sco. Starch Sci.*, **23**, 77(1976)
13. Yamada, T. and Taki, M.: Fractionation of maize by gel-chromatography. *Staerke*, **28**, 374(1976)
14. Adbullah, M., Catley, J.B., Lee, E.Y.C., Robyt, J., Wallenfels, K. and Whelan, W.J.: The mechanism of carbohydrate action. *Cereal Chem.*, **43**, 111(1976)
15. Biliaderis, C.G., Grant, D.R. and Vose, J.R.: Structural characterization of legume starches. *Cereal Chem.*, **58**, 496(1981)
16. Rasper, V. and Coursey, D.G.: Properties of starches of some West African yams. *J. Sci. Food Agric.*, **18**, 240(1967)
17. Rasper, V.: Investigations on starches from major starch crop grown in ghana particle size and particle size distribution. *J. Sci. Food Agri.*, **22**, 572(1971)
18. 석호문, 박용곤, 남영중 : Potato yam (*Dioscorea bultifera*) 전분의 이화학적 특성. 한국식품과학회지, **22**, 753 (1990)
19. Ciacco, C.F. and D'Appolonia, B.L.: Characterization of starches from various tubers and their use in bread-baking. *Cereal Chem.*, **54**, 1095(1977)
20. Kouassi, B., Kiopoh, J., Leroy, Y. and Fournet, B.: Total amino acids and fatty acids composition of yam (*Dioscorea*) tubers and their evolution during storage. *J. Sci. Food Agric.*, **42**, 273(1988)
21. Nagashima, T. and Kamoi, I.: Some properties of starches from yam (*Dioscorea*). *Nippan Shokuhin Kogyo Gakkaishi*, **37**, 124(1990)
22. 차연수 : 참마(*Dioscorea japonica* Thunberg) 전분의 이화학적 특성에 관한 연구. 숙명여자대학교 대학원 석사학위논문 (1983)
23. Ciacco, G.F. and D'Appolonia, B.L.: Baking studies with cassava and yam flour. I. Biochemical composition of cassava and yam flour. *Cereal Chem.*, **55**, 402 (1978)
24. Reyes, F.G.R., D'Appolonia, B.L., Ciacco, C.F. and Montgomery, M.W.: Characterization of starch ginger root (*Zingiber officinale*). *Staerke.*, **34**, 40(1982)
25. Schoch, T.J. and Maywald, E.C.: Preparation and properties of various legume starches. *Cereal Chem.*, **45**, 565(1968)
26. Sugimoto, Y., Ohnishi, K., Takaya, T. and Fuwa, H.: Comparative susceptiblity to pancreatin of starch granules. *J. Jap. Soc. Starch Sci.*, **26**, 182(1979)
27. Fuwa, H.: Digestion of various starch granules by amylase. *J. Jap. Soc. Starch Sci.*, **24**, 128(1977)
28. Fujimoto, S., Shimoozono, K., Nagahama, T. and Kanie, M.: Properties of starch from green banana. *J. Jap. Soc. Starch Sci.*, **24**, 36(1977)
29. Hizukuri, S.: Fine structure of starch molecules and action of amylase. *Kagaku to Seibutsu*, **25**, 714(1987)
30. Takeda, Y. and Hizukuri, S.: Purification and structure of amylose from rice starch. *Carbohydr. Res.* **148**, 299 (1986)
31. Suzuki, A., Takeda, Y. and Hizukuri, S.: Relationship between the molecular structures and retrogradation properties of tapioca, potato and kuzu starches. *J. Jpn. Soc. Starch Sci.*, **32**, 205(1985)
32. MacGregor, A.W. and Morgan, J.E.: Structure of amylopectins isolated from large and small starch granules of normal and waxy barley. *Gereal Chem.*, **61**, 222 (1984)
33. Greenwood, C.T.: Observations on the structure of the starch granule. In *Polysaccharides in Food*, Blanahard, J.M.V. and Mitchell, J.R. (eds), Butterworths, London, p.129(1979)
34. Takeda, C., Takeda, Y. and Hizukuri, S.: Physicochemical properties of lily starch. *Cereal Chem.*, **60**, 212 (1983)
35. Takeda, C., Takeda, Y. and Hizukuri, S.: Structure and properties of chestnut starch. *J. Jpn. Soc. Starch Sci.*, **34**, 31(1987)

(1991년 4월 14일 접수)