

국내산 아마란스로부터 분리한 전분의 특성 비교

최차란 · 최훈재 · 김성란* · 이재학** · 신말식
전남대학교 식품영양학과, *한국식품개발연구원, **한국식물자원연구소

Comparisons of Characteristics of Amaranth Starches Isolated from five Cultivars Grown in Korea

Cha-Ran Choi, Hun-Jae Choi, Sung-Ran Kim*, Jae-Hak Lee** and Mal-Shick Shin
Department Food & Nutrition, Chonnam National University,
*Korea Food Research Institute, **Korea Plant Resource Institute

Abstract

The physicochemical and pasting properties of amaranth starches isolated from five cultivars, Andy, Suvarna, Nu World, K266-1, K432, grown in Korea, were investigated. The shapes of starch granules were all polygonal and size was in the range 1.14~1.48 μm for all five cultivars. X-ray diffractograms were shown typical A type diffraction patterns for all amaranth starches. The protein and crude lipid contents of starches were 0.13~0.23% and 0.01~0.05%, respectively. The apparent amylose contents ranged from 2.79~4.35% and the water binding capacities were 128.05~135.80%. The transmittances of 0.1% amaranth starch suspensions except K266-1 increased rapidly above 65°C, thereafter increased slowly. The initial pasting and peak temperature ranges of five cultivars by RVA were 71.3~73.7°C and 81.5~84.0°C, respectively. The peak and cooling viscosities followed the order : Nu World>Andy>Suvarna>K432>K266-1. Nu World was shown the highest peak (166), final (103) and cooling viscosities (30 RVU). K266-1 exhibited the lowest setback (-38) of all five cultivars. Gelatinization (T_0) and peak temperature (T_p) of amaranth starches in DSC thermograms were 65.7~68.0°C and 70.6~75.8°C, respectively. Enthalpies followed the order: K266-1<K432<Suvarna<Andy<Nu World.

Key words : amaranth starch, physicochemical properties, pasting properties

서 론

아마란스(amaranth)는 넓은 잎과 작은 종실을 생산하는 작물로서 일반 곡류와 비슷한 성질을 가지고 있어 유사화곡류(pseudocereal)라고도 불린다. 아마란스는 안데스 잉카 문명시대의 주요 작물이었으나 여러 가지 이유로 인해 잊혀져 있다가 최근 들어 그 영양적인 우수성과 척박한 환경에서도 잘 견디는 성질 등이 알려짐에 따라 미래의 식량자원으로 주목을 받기 시작했다^(1,2).

아마란스는 잎과 종실을 모두 사용할 수 있는데 잎은 색소원으로서, 종실은 여러 가지 형태의 식품으로

개발되고 있으며^(3,4) 잎보다는 종실의 활용도가 높다. 아마란스 종실은 영양적인 면에서는 단백질, 지방, 무기질, 섬유소 등이 풍부하다고 알려져 있는데 특히 곡류에 부족한 리신(lysine)의 함량이 높으며 칼슘, 불포화 지방산과 스쿠알렌 등도 다량 함유되어 있다^(1,5,6,7).

아마란스에 함유된 전분은 곡류와는 달리 외배유에 위치하고 있으며 종실의 48~62%를 차지하여 전분 급원으로서의 활용이 가능하다. 품종에 따라 전분을 구성하는 아밀로오스와 아밀로펙틴의 비율이 달라 찰성(waxy)과 메성(nonwaxy)을 나타내는데 찰성 전분을 함유한 품종이 대부분이다⁽⁶⁾. 아마란스 전분 입자는 1~3 μm 로 멧쌀이나 찹쌀 전분 입자보다 작고 모양은 구형 또는 다각형이므로 다른 전분에 비해 동량을 사용했을 때 표면적이 넓어 반응성이 좋고 물리적 성질을 쉽게 변화시킬 수 있어 식품 및 식품의 분야에서 생전분 뿐만 아니라 변성전분으로의 사용가능성이 높다. 특히 찰성을 갖는 아마란스 전분은 호화 온도가

Corresponding author : Mal-Shick Shin, Dept. Food & Nutr., Chonnam Nat'l Univ., Kwangju 500-757, Korea
Tel : 82-62-530-1336
Fax : 82-62-530-1339
E-mail : msshin@chonnam.chonnam.ac.kr

낮고 냉-해동 안정성이 우수하며 기계적 전단력에도 저항성이 크므로 지방 대체제, 증점제, 종이 코팅, 셀러드 드레싱, 더스팅 파우더(dusting powder), 세탁용 전분(laundry starch), 생분해성 플라스틱 등 활용범위가 매우 넓다^(3,8,9).

아직까지는 아마란스의 생산량이 적고 또한 기후나 재배지역에 따라 아마란스의 성질이 달라질 뿐만 아니라⁽¹⁰⁾ 전분을 분리하는 방법도 용이하지 않으므로 그 사용이 제한되어 있다. 그러나, 전 세계적으로 다수화 품종의 개발과 더불어 재배지역에 따른 아마란스의 성질을 확인하고 전분 분리방법이나 이용방법에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 최근에 이용가치가 높은 아마란스가 농촌진흥청 작물시험장과 한국식물자원 연구소를 중심으로 국내에도 도입되어 재배되고 있으나 그 생산량이 적고 연구가 계속 진행중에 있으므로 농가보급이나 이용에 많은 제한을 가지고 있다. 또한, 지금까지 국내산 아마란스에 대한 연구는 종실의 스키프 알렌 동정 및 기능성에 대한 연구^(11,12)가 보고되었고 전분에 대해서는 아마란스 전분과 다른 곡류 찰전분과의 특성 비교⁽¹³⁾ 등의 연구보고만이 있을 뿐이다.

그러므로 본 연구에서는 아마란스의 이용성을 증가시키고 농가소득을 증대시킬 수 있는 새로운 작물로서의 가치를 확인하기 위하여 국내에서 재배되고 있는 다섯 품종의 아마란스에서 전분을 분리하여 이화학적 특성 및 호화 특성을 조사하였고, 품종에 따른 아마란스 전분의 특성 차이를 비교하였다.

재료 및 방법

재료

아마란스는 1997년에 한국식물자원연구소 (경기도 고양)에서 수확한 Andy(*Amaranthus cruentus*), Suvarna (*A. cruentus*), K432(*A. hypochondriacus* × *A. hybridus*), K266-1(*A. cruentus*), Nu World(*A. cruentus*) 5종을 분양받아 사용하였다.

전분의 분리

아마란스 전분은 Perez 등의 방법⁽¹⁴⁾을 일부 변형하여 분리하였다. 아마란스 종실을 0.25% NaOH 용액에 침지하여 냉장온도(4°C)에서 24시간 보관한 후 물기를 빼고 0.2% NaOH 용액을 첨가하면서 블렌더로 마쇄하였다. 마쇄한 시료는 45, 100, 270 메쉬 체를 차례로 통과시켜 최종적인 침전물을 수집하였다. 이를 9,000 rpm에서 10분 동안 원심분리하여 분리된 전분층에서 표면의 단백질을 제거하고 뷰렛반응이 나타나지 않

을 때까지 0.2% NaOH용액을 갈아주면서 전분층을 분리하였고 증류수로 중성이 될 때까지 씻었다. 얻어진 전분은 실온에서 건조한 후 마쇄하여 100 메쉬 체를 통과시켜 데시케이터에 보관하면서 시료로 사용하였다.

일반성분의 분석

일반성분은 A.O.A.C 방법⁽¹⁵⁾에 따라 수분은 상압가열건조법, 회분은 직접회화법, 조단백질은 마이크로 켈달법, 지방질은 속실렛 방법으로 조지방질은 에틸 에테르, 총지방질은 85% 메탄올을 용매로 하여 추출하였다.

전분 입자의 형태 관찰

전분 입자의 형태는 주사전자현미경(Scanning Electron Microscope, JEOL JSM-5400, Japan)을 이용하여 가속 전압 15 kV, 7500배의 배율로 관찰하였다.

X-선 회절도에 의한 결정형 측정

X-선 회절양상은 X-ray diffractometer(D/MAX-1200, Rigaku Co., Japan)를 사용하여 target: Cu-K, filter: Ni, 40 kV, 20 mA의 조건으로 회절각도(2θ) 5~40° 범위에서 분석하였다.

이화학적 성질 측정

아밀로오스 함량은 Williams 등의 방법⁽¹⁶⁾으로 측정하였으며 표준곡선은 쌀전분을 아밀로오스와 아밀로펙틴으로 분리하여 Montgomery와 Senti의 방법⁽¹⁷⁾을 이용하여 아래의 식을 구하였다.

$$Y = 0.0089X + 0.0528 \quad (r = 0.99)$$

물 결합능력은 Medcalf와 Gilles의 방법⁽¹⁸⁾, 팽윤력과 용해도는 50°C와 65°C에서 Schoch의 방법⁽¹⁹⁾을 일부 변형하여 4,500 rpm에서 30분간 원심분리한 후 측정하였다.

호화 특성 측정

광투과도에 의한 전분의 호화특성은 0.1% 전분현탁액을 60°C~95°C까지 각 온도에서 10분간 가온한 후 실온에서 2분간 방치하여 분광광도계(8452A, Diode array spectrophotometer, Hewlett-Packard, U.S.A.)로 650 nm에서 측정하였다.

가열에 따른 전분 호화액의 점도 특성은 신속 점도 측정계(Rapid Visco-Analyzer, Newport Sci., Australia)를 이용하여 측정하였다. 시료 전분 3g(14% 수분함량 기준)을 RVA용 canister에 넣고 증류수로 28g을 맞춘 후에 다음과 같은 프로그램으로 측정하였다. 0~4분은

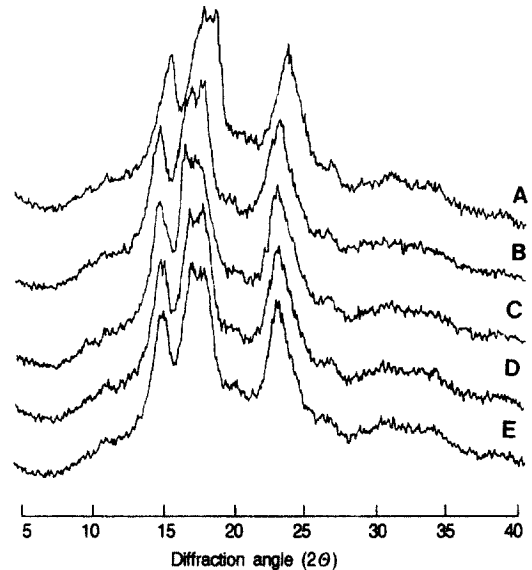


Fig. 2. X-ray diffraction patterns of amaranth starches. A: Andy B: Suvarna C: K266-1 D: K432 E: Nu World

Fig. 1. Scanning Electron Microscopy (SEM) of Amaranth starch granules.

A: Andy B: Suvarna C: K266-1 D: K432 E: Nu World

50°C, 4~12분은 95°C로 상승시켜 2분간 유지하고 14~22분은 50°C로 냉각, 22~26분까지는 50°C를 유지하였다. 신속 점도 측정계의 특성치는 최고 점도 (P), 95°C에서 2분간 유지한 후의 점도(H), 50°C에서의 냉각 점도(C)와 이로부터 consistency(C-H), setback(C-P), breakdown(P-H)을 계산하였다.

시차주사열량기(Differential Scanning Calorimeter, DSC-SP, Rheometric Scientific, Inc., U.S.A.)에 의한 전분의 호화는 알루미늄팬에 전분과 증류수를(1:2 w/w) 넣고 밀봉한 다음 1일간 방치하여 평형이 되게 한 후 30°C~120°C까지 분당 10°C의 속도로 가열하여 호화온도와 엔탈피를 측정하였다.

결과 및 고찰

전분 입자의 성상

아마란스 종실로부터 분리한 전분의 형태는 품종에 관계없이 모두 다면체 모양이었고 손상을 입은 흔적은 없었다. 전분입자의 직경은 1.14~1.48 μm 로 다섯 품종 중 K432의 평균 전분입자 크기가 가장 작았고 Suvarna가 가장 컸다(Fig. 1).

아마란스 전분은 품종에 따라 입자 형태가 다르게

나타나는데 종실을 주로 생산하는 *A. hypochondriacus*, *A. cruentus* 등은 다면체 모양, *A. paniculatus*는 구형 입이 보고되었다^(13,20,21,22).

X선 회절도에 의한 아마란스 전분의 결정형은 Fig. 2와 같이 회절각도(2 θ) 15.1°, 17.1°, 23.0°에서 강한 피크를 보여 곡류전분과 같은 A형임을 알 수 있었다. 또한, 품종에 따라 회절각도나 결정성의 정도에 약간의 차이는 있었으나 거의 유사한 경향을 보였다. 이 등⁽¹³⁾은 아마란스 전분의 결정형은 A형이며 X선 회절도로부터 구한 상대적 결정도는 참쌀전분과 찰옥수수전분의 결정성과 큰 차이가 없었다고 보고하여 본 연구결과와 일치함을 보였다. 그러나, Hoover 등⁽²³⁾은 세 종류의 *A. cruentus*전분의 결정형 측정 결과, 품종에 따라 결정성에 차이가 있었으며 이는 전분의 결정성 부분의 정렬 차이 때문이라고 보고하기도 하였다.

일반성분

아마란스 전분의 일반성분은 Table 1과 같이 단백질은 0.13~0.23%, 회분은 0.01~0.09%, 조지방질과 총지방질은 각각 0.01~0.05%, 0.05~0.10%였다. 단백질 함량은 Suvarna가 0.23%로 가장 높았고 K432가 0.13%로 가장 낮은 값을 보였다. 이는 Hoover 등⁽²⁰⁾의 0.06%나 Perez 등⁽¹⁴⁾의 0.13%에 비해 다소 높은 편이었으나 Paredes-Lopez등⁽²⁰⁾의 0.97%, Wankhede 등⁽²²⁾의 0.98%에 비해서는 낮은 편이었다. 회분과 조지방질의 경우

Table 1. Proximate compositions of amaranth starches¹⁾

Amaranth starches	Moisture (%)	Protein (N6.25) (%)	Ash (%)	Lipid (%)	
				Crude	Total
Andy	13.67±0.81	0.19±0.01	0.07±0.03	0.04±0.01	0.10±0.05
Suvarna	12.14±0.29	0.23±0.05	0.04±0.01	0.04±0.00	0.07±0.01
K266-1	13.20±0.08	0.19±0.06	0.09±0.01	0.05±0.03	0.08±0.04
K432	11.30±0.03	0.13±0.04	0.01±0.00	0.01±0.00	0.09±0.03
Nu world	11.66±0.11	0.20±0.01	0.02±0.01	0.05±0.01	0.05±0.01

¹⁾All data reported on dry basis and represent the mean of two determinations.

Table 2. Physicochemical properties of amaranth starches¹⁾

	Andy	Suvarna	K266-1	K432	Nu World
Amylose content (%)	3.91±0.20	3.21±0.52	2.79±1.02	4.35±0.95	4.20±0.50
Water binding capacity (%)	134.2±1.04	132.8±0.16	135.8±3.76	134.2±3.62	128.1±1.25
Swelling power at					
50°C	1.38±0.45	1.36±0.10	1.86±0.52	2.20±1.07	2.06±1.02
65°C	6.74±0.92	4.46±0.23	4.37±1.45	4.63±0.63	5.12±2.45
Solubility (%) at					
50°C	2.79±0.79	3.19±1.00	2.87±2.18	2.81±0.24	2.70±0.28
65°C	12.30±0.51	6.64±0.62	5.96±2.09	11.92±3.01	7.06±1.70

¹⁾All data reported on dry basis and represent the mean of two determinations.

는 다른 연구결과에 비해서 비교적 낮은 값을 보였는데 다섯 품종 중에서는 K432가 단백질 뿐만 아니라 회분, 조지방질 함량 모두 가장 낮은 값을 보여 물결합능력이나 팽윤력 등의 이화학적 성질이 다소 다르게 나타날 것으로 예상되었다.

Perez 등⁽¹⁴⁾은 *A. cruentus* 전분의 경우 분리방법에 따라 총지방질 함량이 0.00~1.56%로 변화될 수 있다고 보고하였다.

이화학적 특성

아밀로오스 함량은 Table 2와 같이 2.79~4.35%로 5가지 품종이 모두 찰전분임을 알 수 있었고 Hoover 등⁽²³⁾의 3.5~4.8%와 비슷한 결과를 보였다. 품종에 따라 아마란스 전분의 아밀로오스 함량은 차이가 있어 Perez 등⁽¹⁴⁾의 *A. hypochondriacus*는 10.55%, *A. cruentus*는 10.08%였고 Wanklede 등⁽²²⁾의 *A. paniculatus*는 11.50%로 보고되었다. 그러나 대부분의 아마란스 전분은 찰전분으로 아밀로오스 함량이 매우 낮은 것으로 알려졌다.

물 결합능력은 128.05~135.80%로 Nu World < Suvarna < Andy < K432 < K266-1의 순이었다. Lorenz 등⁽²⁴⁾은 다양한 전분의 이화학적 특성을 연구한 논문에서 물 결합능력은 아마란스가 145.6%로 가장 컸고, 퀴노아(Quinoa)는 118.5%, Wild rice는 113.9%였으며 밀전분이 89.1%로 가장 낮았다고 하였다. 전분의 물 결합능력은 전분입자 내의 중합체가 보다 치밀하게 결합되어 있을수록 낮게 나타나며 아밀로펙틴으로 구성된 찰전분과 아밀로오스를 함유한 메전분을 비교하면 찰

전분의 경우 일반적으로 물 결합능력이 높다.

아마란스 전분의 팽윤력과 용해도는 50°C와 65°C에서 측정하였는데 이는 아마란스 전분 입자 크기가 너무 작고 찰전분이므로 호화 온도 이상으로 가열을 하면 일반적인 측정조건에 의한 원심분리 방법으로는 온도 증가에 따른 팽윤력과 용해도의 측정이 불가능했기 때문이다.

50°C에서의 팽윤력은 K432가 가장 컸고, Suvarna가 가장 낮았으며 반대로 용해도는 Suvarna가 가장 크고 Nu World가 가장 낮게 나타났다. 65°C에서의 팽윤력은 Andy > Nu World > K432 > Suvarna > K266-1의 순이었고 용해도는 Andy > K432 > Nu World > Suvarna > K266-1의 순으로 팽윤력과 용해도의 증가양상이 일치하지 않

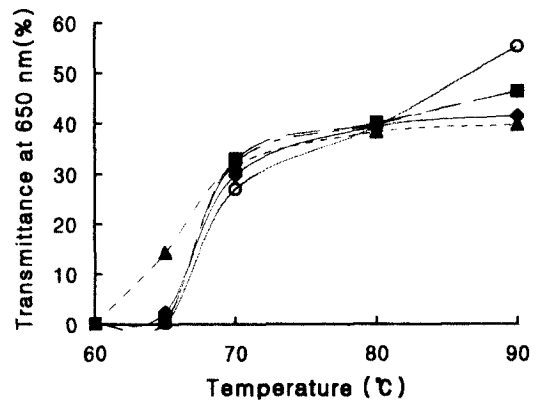


Fig. 3. Transmittance patterns of 0.1% amaranth starch suspensions
◆; Andy, ■; Suvarna, ▲; K266-1, ●; K432, ○; Nu World

Table 3. Pasting characteristics of amaranth starches by Rapid Visco-Analyzer

Starches	Temp. (°C)		Viscosity (RVU)				
	initial pasting	peak	Peak (P)	Holding at 95°C (H)	Cold (C)	Break-down(P-H)	Setback(C-P)
Andy	71.3	81.5	162	98	127	64	-35
Suvarna	72.6	82.1	155	100	125	55	-30
K266-1	73.7	82.8	147	89	109	38	-38
K432	71.9	84.0	152	100	120	32	-32
Nu World	71.8	83.4	166	103	130	33	-36

았다.

*A. paniculatus*의 경우 50°C에서의 팽윤력과 용해도가 각각 10.25와 15.48%로 나타나⁽²¹⁾ 품종에 따라 팽윤력과 용해도의 차이가 있는 것으로 생각된다.

호화 특성

0.1% 아마란스 전분현탁액의 온도에 따른 광투과도의 변화는 Fig. 3과 같다. K266-1을 제외한 아마란스 전분은 65°C에서 급격하게 광투과도가 증가하여 70°C 이후에는 완만한 증가를 보였다. K266-1은 60°C에서부터 증가하여 70°C까지 급격한 변화를 보였으며 그 이후부터는 완만해졌다. 이와는 달리 Nu World는 다른 전분들처럼 65°C에서부터 급격한 광투과도의 상승을 보였으나 전분들 중에서는 가장 낮은 값을 보였고 70°C 이후로도 90°C까지 계속 증가하여 90°C에서의 광투과도가 다섯 품종 중 가장 높은 값을 보였다. 신속 점도 측정계로부터 구한 전분 호화액의 점도 특성은 Table 3과 같다. 아마란스 전분의 초기호화온도는 71.3~73.7°C로 귀노아, 참쌀, 찰옥수수 등의 찰전분에 비해 비교적 높은 호화온도를 보였다^(13,25). 피크 점도는 147~166 RVU로써 Nu World>Andy>Suvarana>K432>K266-1의 순으로 나타났으며 냉각점도도 피크 점도와 같이 Nu World가 가장 높고 K266-1이 가장 낮은 값을 보였다. Paredes-Lopez 등⁽²⁶⁾은 아마란스 전분의 사슬길이가 짧아 점도가 낮게 나타난다고 보고하였는데 본 실험에서 사용한 시료 간에도 사슬 길이의 차이가 있을 것으로 생각된다. 또한, setback은 전분호화액의 노화와 상관성이 있는데 아마란스 전분은 -30~-38 RVU로써 품종간에 큰 차이없이 낮은 값을 보였으며 다섯 품종 중에는 Suvarna가 가장 높았고 K266-1이 가장 낮게 나타났다. Qian과 Kuhn⁽²⁵⁾의 연구결과에서 볼리비아산 아마란스로부터 분리한 전분의 피크점도가 138.5 RVU로 본 실험결과에 비해 낮았고, Uriyapongson과 Rayas-Duarte⁽⁶⁾는 품종과 분리 방법이 신속점도측정계의 모든 측정값 즉, 피크 점도, 최대 setback 점도, 호화 온도, 피크 온도 등에 영향을 미친다고 보고하였다. 그러므로, 본 실험에 사용된 국내산 아마란스로부터 분리한

Table 4. DSC data of amaranth starches

Amaranth starches	Melting endotherm			
	T _o (°C)	T _p (°C)	T _c (°C)	H(J/g)
Andy	65.7	70.6	90.7	15.4
Suvarna	66.9	71.7	86.8	14.5
K266-1	67.0	75.8	85.1	9.7
K432	66.7	75.1	82.4	10.9
Nu world	68.0	73.0	89.4	17.5

전분의 특성 역시 품종에 따라 점도 특성이 다르게 나타난 것이라고 생각되었다. 시차주사열량기에 의한 전분의 thermogram으로부터 구한 특성치는 Table 4와 같다. 아마란스 전분의 호화개시온도는 65.7~68.0°C였고 피크온도는 70.6~75.8°C로 다른 연구결과와도 일치하였으며^(13,21,25) 참쌀, 찰옥수수, 귀노아 전분 등에 비해 높았다^(6,13,21,25). 아마란스 전분 시료 중에서는 Andy의 호화개시온도와 피크온도가 가장 낮았고 호화엔탈피는 K266-1<K432<Suvarna<Andy<Nu World 순으로 나타났다.

아마란스 전분의 호화온도범위는 15.7~25.0°C로 찰옥수수 전분⁽²¹⁾의 호화온도범위가 15~16°C, 참쌀 전분⁽²⁷⁾은 18~21°C인 것에 비해 넓은 온도범위에서 호화가 진행되는데 이러한 차이는 품종에 따라 전분 입자의 결정성의 정도가 다르기 때문이라고 생각된다.

요 약

국내에서 재배된 아마란스 전분의 활용능력을 평가하기 위하여 다섯 품종의 아마란스(Andy, Suvarna, Nu World, K266-1, K432)로부터 전분을 분리하여 이화학특성과 호화 특성을 조사하였다. 전분 입자의 모양은 모두 다면체였고 입자의 직경은 1.14~1.48 μm였다. X-선 회절도에 의한 아마란스 전분의 결정형은 전형적인 A형임을 알 수 있었다. 전분의 단백질과 조지방질, 총지방질 함량은 각각 0.13~0.23%, 0.01~0.05%, 0.05~0.10%였고 아밀로오스 함량은 2.79~4.35%였으며 물 결합능력은 128.05~135.80%였다. 0.1% 농도로 측정된 아마란스 전분의 광투과도는 K266-1은 60°C, 나

머지는 65°C에서 급격하게 증가하여 70°C 이후에는 완만한 증가를 보였다. 신속점도측정계로 측정된 전분의 호화 온도와 피크 온도가 각각 71.3~73.7°C, 81.5~84.0°C였으며 피크 점도와 냉각 점도는 Nu World>Andy>Suvarna>K432>K266-1순이었다. 다섯 품종 중 Nu World는 가장 높은 피크 점도, 냉각점도를 보였고 K266-1는 가장 낮은 setback(-38) 값을 보였다. 시차주 사열량기에 의한 아마란스 전분의 호화개시온도는 65.7~68.0°C였고 피크온도는 70.6~75.8°C였으며 엔탈피는 K266-1<K432<Suvarna<Andy<Nu World 순이었다.

문 헌

- Bello-Perez, L.A., Colonna, P., Roger, P. and Paredes-Lopez, O. Macromolecular features of amaranth starch. *Cereal Chem.* 75: 395-402 (1998)
- Paredes-Lopez, O., Carabez-Trejo, A., Perez-Herrera, S. and Gonzalez-Castaneda, J. Influence of germination on physico-chemical properties of amaranth flour and starch microscopic structure. *Starch* 40: 290-293 (1998)
- Breene, W.M. Food uses of grain amaranth. *Cereal Foods World* 36: 426-430 (1991)
- Lehmann, J.W. Case history of grain amaranth as an alternative crop. *Cereal Foods World* 41: 399-411 (1996)
- Mundigler, N. Isolation and determination of starch from amaranth (*Amaranth cruentus*) and Quinoa (*Chenopodium quinoa*). *Starch* 50: 67-69 (1998)
- Uriyapongson, J. and Rayas-Duarte, P. Comparison of yield and properties of amaranth starches using wet and dry-wet milling process. *Cereal Chem.* 71: 571-577 (1994)
- Sun, H., Wiesenborn, D., Tostenson, K., Gillespie, J. and Rayas-Duarte, P. Fractionation of squalene from amaranth seed oil. *JAOCS* 74: 413-418 (1997)
- Saunders, R.M., and Becker, R. *Amaranthus* : A potential food and feed resource, pp. 357. In: *Advances in Cereal Science Technology*. Vol 5, Pomeranz, Y. (ed.). Am. Assoc. Cereal Chem., St. Paul, MN, USA (1984)
- Baker, L.A. and Rayas-Duarte, P. Freeze-thaw stability of amaranth starch and the effects of salt and sugars. *Cereal Chem.* 75: 301-307 (1998)
- Wu, H., Yue, S., H. and Corke, H. Physical properties of starch from two genotypes of *Amaranthus cruentus* of agriculture significance in China. *Starch* 47: 295-297 (1995)
- Lee, J.H., Moon, H.I. and Kang, C.W. Studies on utilization of new crops amaranth and quinoa through the screening of bioactive substance I. Isolation and identification of squalene in amaranth seed and effects of squalene on serum cholesterol in rats. *RDA Journal of Agricultural Science Post doc.* 38: 141-147 (1996)
- Lee, J.H., Moon, H.I., Lee, J.I., Kang, C.W. and Lee, S.T. Isolation and identification of squalene and antineoplastic activity of its residue extract in amaranth. *Kor. J. Crop Sci.* 41: 450-455 (1996)
- Lee, J.H., Kim, S.R., Song, J.Y. and Shin, M.S. Comparison on physicochemical properties of amaranth starch with other waxy cereal starches. *Kor. J. Food Sci. Technol.* 31: 612-618 (1999)
- Perez, E., Bahnssey, Y.A. and Breene, W.M. A simple laboratory scale method for isolation of amaranth starch. *Starch* 45: 211-214 (1993)
- A.O.A.C Official Methods of Analysis. 16th ed. Association of Official Analytical Chemists. Washington, DC, USA (1995)
- Williams, P.C., Kuzina, F.D. and Hlynka, I. A rapid colorimetric procedure for estimating the amylose content of starches and flours. *Cereal Chem.* 47: 411-420 (1970)
- Montgomery, E.M. and Senti, F.R. Separation of amylose from amylopectin of starch by an extraction-sedimentation procedure. *J. Polymer Sci.* 28: 1-9 (1958)
- Medcalf, D.F. and Gilles, K.A. Wheat starches. I. Comparison of physicochemical properties. *Cereal Chem.* 42: 558-568 (1965)
- Schoch, T.J. and Leach, W. Whole starches and modified starches. In: *Methods in Carbohydrate Chemistry*. Whistler, R.L. (ed.). Academic Press, New York, NY, 4: 106-108 (1964)
- Paredes-Lopez, O., Schevenin, M.L., Hernandez-Lopez and Carabez-Trejo, A. Amaranth starch-isolation and partial characterization. *Starch* 41: 205-207 (1989)
- Radosavljevic, M., Jane, J. and Johnson, L.A. Isolation of amaranth starch by diluted alkaline-protease treatment. *Cereal Chem.* 75: 212-216 (1998)
- Wankhede, D.B., Gunjal, B.B., Sawate, R.A., Patil, H.B., Bhosale, M.B., Gahilod, A.T. and Walde, S.G. Studies on isolation and characterization of starch from rajgeera grains (*Amaranthus paniculatus* Lin.). *Starch* 41: 167-171 (1989)
- Hoover, R., Sinnott, A.W. and Perera, C. Physicochemical characterization of starches from *Amaranthus cruentus* grain. *Starch* 50: 456-463 (1998)
- Lorenz, K. Quinoa (*Chenopodium quinoa*) starch-Physico-chemical properties and functional characteristics. *Starch* 42: 81-86 (1990)
- Qian, J.Y. and Kuhn, M. Characterization of *Amaranthus cruentus* and *Chenopodium quinoa* starch. *Starch* 51: 116-120 (1999)
- Paredes-Lopez, O., Bello-Perez, L.A. and Lopez, M.G. Amylopectin : structural, gelatinization and retrogradation studies. *Food Chem.* 50: 411-417 (1994)
- Biliaderis, C., Page, C.M., Maurice, T.J. and Juliano, B.O. Thermal characterization of rice starches: A polymeric approach to phase transitions of granular starch. *J. Agric. Food Chem.* 34: 6-14 (1986)