

분질고구마 대유미 전분의 이화학적 및 겔 특성

정은빛·윤희나·노준희·김옥¹·신말식[†]

전남대학교 식품영양학과, ¹고려대학교 생명공학부

Physicochemical and Gel Properties of Starch Purified from Mealy Sweet Potato, Daeyumi

Onbit Jeong · Huina Yoon · Junhee No · Wook Kim¹ · Malshick Shin[†]

Department of Food and Nutrition, Chonnam National University, Gwangju 61186, Korea

¹Division of Biotechnology, College of Life Sciences & Biotechnology, Korea University, Seoul 02841, Korea

Abstract

Purpose: The properties of starch and starch gel prepared from a newly inbred sweet potato, Daeyumi were compared to the properties of starch and starch gel prepared from Sinyulmi which is a well known mealy type sweet potato. **Methods:** The starch was isolated by using the alkaline steeping method. Physicochemical, pasting, and thermal properties, and crystallinity were measured. The texture properties of starch gel (10%, w/w) were examined. **Results:** The amylose contents of Daeyumi and Sinyulmi starches were 25.57% and 22.59%, respectively. The initial pasting temperature of Daeyumi starch was significantly higher than that of Sinyulmi starch ($p<0.05$), but other paste viscosities were not different. The peak and conclusion temperatures of Daeyumi starch were higher than those of Sinyulmi starch by differential scanning calorimetry. The shape of Daeyumi starch gel was more clear and rigid than the shape of Sinyulmi starch gel. The surface and the upper side of Daeyumi starch gel were smoother than the surface and the upper side of Sinyulmi starch gel. Hardness and gumminess were higher in Daeyumi starch gel than in Sinyulmi starch gel. The crystallinity types of Daeyumi and Sinyulmi starches were C₆ and A types, respectively, but starch gels showed an amorphous type. **Conclusion:** Therefore, it is suggested that Daeyumi starch would have better physicochemical properties and higher quality of starch gel than Sinyulmi starch.

Key words: Daeyumi, mealy sweet potato starch, physicochemical property, starch gel

I. 서론

고구마(*Ipomoea batatas* L.)는 메꽃과에 속하는 쌍떡잎 식용작물로 수분 68.5%, 탄수화물 26.4%, 단백질 1.8%, 지방질 0.6%로 구성되어 있으며(Yang JW 등 2015), 고형물 중 전분을 포함한 탄수화물이 75% 이상 함유되어 있다(Kim KE 등 2010). 고구마는 단위 면적 당 생산량이 쌀, 밀, 옥수수과 같은 곡물보다 30-49% 더 많아 가공용 원료로써 이용도가 높은 작물이다(Lee JS 등 2010). 고구마는 생과를 식용으로 이용할 뿐 아니라 당면, 케이크 등 다양한 식품의 원료로 사용되고 있으며, 고구마 전분은 바이오 플라스틱 소재, 바이오 에탄올 제조에도 활용되고 있다(Lee JS 등 2006, Zhou W 등 2015).

고구마 고형물의 70%를 차지하는 전분은 호화되었을 때 접착력이 높은 특성을 가지고 있는데, 이로 인해 주로 당면 등 전분을 이용한 면류(starch noodle) 제조에 사용하고 있다(Chen Z 등 2002). 이전에는 고구마 중 밤과 같은 텍스처를 갖는 분질고구마(밤고구마)가 주로 선호되다가 최근 카로티노이드를 함유한 호박고구마를 생으로 섭취하거나 굽거나 찌는 용도로 이용하면서 호박고구마의 선호도가 증가하고 있다(Shin MY 등 2011). 호박고구마나 물고구마보다 밤고구마가 수확 후 저장성이 좋으나 생과로 보관하는 것보다는 용도에 맞게 식품소재로 저장하는 것이 바람직하므로, 밤고구마의 경우는 전분을 분리해서 산업에 이용되어 왔다. 고구마 전분은 소주 등의 알코올 발효 원료, 조청원료, 냉면의 주원료로 사용될 뿐만

[†]Corresponding author: Malshick Shin, Department of Food and Nutrition, Chonnam National University, 77 Yongbong-ro, Buk-gu, Gwangju 61186, Korea
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4982-0697>

Tel: +82-62-530-1336, Fax: +82-62-530-1339, E-mail: msshin@chonnam.ac.kr



아니라 고구마 목 제조에도 이용되고 있으며, 전분 겔로의 활용성에도 관심이 증가되고 있다. 고구마 전분은 옥수수전분보다 호화액의 점도와 겔의 깨어짐 성이 낮아 전분을 농후제나 겔식품으로 개발하는데 좋은 원료로 생각되고 있다(Kweon MR 등 1992, Mun SH 등 1997, Han SK 등 2013). 그러나 최근 생과용으로 점질인 호박고구마를 보다 선호하는 경향이 나타나면서 분질고구마의 생산량이나 활용도가 낮아졌으며, 가격이 저렴한 수입 고구마 전분으로 당면이나 냉면을 생산하여 국내산 고구마로는 전분산업을 유지하기 어려운 실정이다(Han SK 등 2013).

전분이용을 목적으로 새로운 가공용 특성을 가진 고구마를 농촌진흥청 국립식량과학원 바이오에너지작물센터에서 개발해왔는데(Baek HR 등 2014), 전분 수율이 높은 고구마로 1998년 '진홍미'와 2001년 '신건미'가 있었고 최근 바이오에탄올 및 전분용 고구마로 '대유미'를 개발하였으나 25.9%의 높은 전분가를 가지고 있는 대유미 전분이 에탄올 생산에 대한 적합한 품종인지 연구되어 있을 뿐 식품가공용으로 전분 특성에 대한 연구는 없는 실정이다(Ahn YS 등 2000, Ahn YS 등 2002, Lee JS 등 2010, Lee JS 등 2013).

고구마와 관련된 연구에는 국내산 고구마 육질색 종류별 고구마 분말과 전분의 연구(Kim KE 등 2010, Park SJ 등 2011), 전분의 재배지역 및 재배기간에 따른 특성(Han SK 등 2013, Han SK 등 2014), 이화학, 호화 및 소화 특성(Baek HR 등 2014)에 관한 연구들이 있다. 또한, 고구마 전분의 물리화학적 특성, 분자구조 및 이용에 관한 연구(Zhu F & Wang S 2014), 중국 산업에서 주로 이용하는 고구마에서 분리한 전분의 물리화학적 특성에 관한 연구(Abegunde OK 등 2013) 등이 있다. 최근에는 대유미 전분으로 이중변성을 통해 천천히 소화되는 전분 제조(Jo AR 등 2016)와 수분-열처리에 의한 소화율에 관한 연구(Huang TT 등 2016) 등 소화율이 낮은 변성전분에 대한 연구가 주로 진행되고 있다.

따라서 본 연구에서는 분질성을 갖는 대유미 고구마의 식품학적 가공성을 알아보고자 전분 활용 목적으로 사용되고 있는 기존의 신율미 고구마와 신품종인 대유미 고구마로부터 전분을 분리하여 전분의 이화학적, 호화 특성을 측정하였으며, 전분 겔을 만들어 겔의 특성을 비교하였다.

II. 재료 및 방법

1. 재료

시료인 고구마는 2015년에 수확된 대유미와 신율미로 국립식량과학원 바이오에너지작물연구소(무안, 한국)에서 제공받아 사용하였다.

2. 고구마 전분의 분리

고구마 전분의 분리는 알칼리 침지법(Kim JE 등 2013)을 이용하였다. 고구마를 씻어 껍질을 벗기고 잘라 0.2% NaOH 용액(Daejung Chemicals & Metals Co. Ltd., Shiheung, Korea)에 1시간 침지시킨 후 믹서기(Hanarossak, Daesung Atron Co., Seoul, Korea)를 이용하여 마쇄하였다. 이후 마쇄액을 100 mesh와 270 mesh 체에 차례로 통과시켰다. 통과된 전분액은 원심분리기(Supra 22K, Hanil Science Industrial Co., Seoul, Korea)로 3,000 rpm(1,630 × g)에서 10분 간 원심분리 하였다. 전분액을 0.2% NaOH 용액으로 씻고 1 N HCl 용액(Daejung Chemicals & Metals Co. Ltd., Shiheung, Korea)으로 중화시킨 후 증류수로 3회 반복하여 씻어 원심분리 하였다. 이후 실온에서 풍건시킨 후 분쇄하여 100 mesh 체를 통과시켜 시료로 이용하였다.

3. 일반성분 및 이화학적 특성 분석

전분의 수분함량은 상압가열건조법, 조단백질은 Kjeldahl 법, 조회분 함량은 직접회화법으로 분석하였다(AOAC 2000). 전분의 아밀로스 함량은 Williams PC 등(1970)의 방법으로 680 nm에서 분광 광도계(Optizen pop, Mecasys Co., Ltd, Daejeon, Korea)를 이용하여 흡광도를 측정 한 후 표준곡선($y=0.0079x+0.132$)을 이용하여 계산하였으며, 결정도(R^2)는 0.9987이었다. 물결합 능력은 Medcalf DG & Giles KA(1965)의 방법, 팽윤력과 용해도는 Schoch TJ & Leach W(1964)의 방법에 따라 80°C에서 측정하였다.

4. 신속점도측정기에 의한 전분의 호화특성 측정

전분의 호화양상은 신속점도측정기(RVA-TechMaster, Perten Instruments AB, Hagersten, Sweden)를 이용하여 AACC 방법(2000)으로 측정하였다. 시료 3 g(수분함량 12% 기준)과 증류수 25 mL를 넣어 분산시켜 0-1분간은 50°C, 1-4.7분간은 95°C로 상승, 4.7-7.2분간은 95°C로 유지, 7.2-11분간은 50°C까지 냉각, 11-13분간은 50°C로 유지하면서 점도를 측정하였다. 이로부터 호화개시온도, peak 점도(P), trough 점도(T), final 점도, breakdown 점도(P-T), setback 점도(F-T)를 계산하였다.

5. 시차 주사 열량기에 의한 열적 특성 분석

전분의 열적 특성은 시차주사열량기(DSC-Q1000, Universal V.3.6C TA Instruments, Olivia Gibson, UK)를 이용하여 측정하였다. 시료 3.0 mg에 증류수 6.0 mg을 가한 후 밀봉하여 하루 동안 방치 시킨 후 시료로 이용하였다. 가열 온도는 30-130°C, 가열속도는 10°C/min으로 호화개시온도(T_0), 호화피크온도(T_p), 호화종료온도(T_c)와 호화엔탈피(ΔH)를 구하였다.

6. 고구마 전분 겔의 제조

고구마 전분 겔은 다음과 같이 제조하였다. 고구마 전분 5 g(건물 당)에 45 mL의 물을 첨가하여 10%(w/w) 전분현탁액을 만들어 30분 간 끓는 물에 넣어 가열하였다. 유리판 위에 자체 제작한 스테인리스 스틸 관($\Phi 1.8 \times 1.5$ cm)을 올리고 기포가 생기지 않도록 전분 호화액을 채워 넣은 후 유리판을 막고 실온에서 6시간 냉각시켜 제조하였다.

7. 전분 겔 형태 및 색도 측정

제조한 전분 겔의 형태는 윗면과 옆면을 카메라(Kento, Canon, Tokyo, Japan)로 찍어 비교 관찰하였다. 전분 겔의 색도는 색차계(Spectra magicTMNX, Konica Minolta, Tokyo, Japan)를 이용하여 Hunter의 L(lightness)값, $\pm a$ (redness/greenness) 값 및 $\pm b$ (yellowness/blueness) 값을 3회 반복 측정하여 비교하였다. $L=96.99$, $a=-0.12$, $b=-0.13$ 인 표준 백색판(standard white plate)으로 보정하여 사용하였다.

8. 전분 겔의 텍스처 특성

전분 겔의 텍스처 특성은 texture analyzer(TA-XT plus, Stable Micro Systems, Ltd., Surrey, England)를 이용하여 반복 압축 실험을 실시하여 texture profile analysis(TPA)를 구하였다. 시료는 밀폐용기에 넣어 마르지 않게 보관하면서 텍스처 특성을 측정하였으며, 기기 조건은 cylinder형 probe($\Phi 20$ mm)를 사용하여 변형률 50%로 반복 압축 실험을 하였다. pre- 및 post-test 속도는 1.0 mm/sec이었으며 경도(hardness), 응집성(cohesiveness), 점성(gumminess), 회복력(resilience)을 측정하였다.

9. X-ray 회절도 분석

전분 겔은 99% 에탄올(Daejung Chemicals & Metals Co. Ltd., Shiheung, Korea)로 탈수시킨 후 균질기(M133/1281-O, BioSpec Products, Bartlesville, Switzerland)로 2분간 균질화하여 여과지(Whatman No. 2, Whatman Ltd., Maidstone, England)로 감압여과 하였다. 감압여과한 잔여물은 수거하여 믹서(Hanarossak, Daesung Atron Co., Seoul, Korea)를 이용하여 건조 분쇄 후 100 mesh를 통과시켜 시료로 사용하였다. 시료는 X-선 회절기(D/Max-1200, Rigaku Co., Tokyo, Japan)를 이용하여 회절도를 측정하였다. X-선 회절도 분석은 다음과 같은 조건으로 target, Cu-K α ; filter, Ni; full scale range, 3000 cps; scanning speed, 8°/min; voltage, 40 kV; current, 30 mA로 회절각도 (2 θ) 40-5°에서 회절 시켜 결정형을 분석하였다.

10. 통계처리

실험은 모두 2번 이상 측정하였고 결과는 평균 \pm 표준편

차로 표기하였다. SPSS Statistics(ver. 12.0, SPSS Inc., Chicago, IL, USA)를 이용하여 Student *t*-test로 $p < 0.05$ 수준에서 검정하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 고구마 전분의 일반성분과 이화학적 특성

대유미와 신율미 고구마 전분의 일반성분과 이화학적 특성 결과는 Table 1과 같았다. 수분함량은 대유미와 신율미가 각각 12.85%와 10.68%였으며 회분과 단백질함량은 모두 1.00%와 0.00%이었다. 전분의 이화학적 특성에 영향을 주는 요인인 아밀로스 함량은 대유미 전분이 25.57%로 신율미 전분의 22.59%보다 높았다($p < 0.05$). 고구마를 개발한 Han SK 등(2013)은 대유미와 신율미의 아밀로스 함량이 27.7-28.8%, 26.1-38.7% 범위라고 보고하여 본 연구결과보다는 높은 값을 보였다. 고구마 전분의 아밀로스 함량은 고구마 재배조건이나 수확 후 저장기간, 사용한 표준곡선 등 여러 요인에 의해 영향을 받는다고 알려져 있다(Tian SJ 등 1991, Noda T 등 1996, Noda T 등 2002, Zaidul ISM 등 2007). 물이 충분한 조건에서 가열에 의해 전분입자는 무정형부분뿐만 아니라 결정형부분도 구조 변화가 생기면서 부피가 팽창하고 보수력이 증가하는데 이를 팽윤력이라 하며(Lee YI 등 1996), 전분 함유식품의 호화 및 물성에 영향을 끼친다. 특히 전분호화액은 팽윤정도가 증가 될수록 강도가 감소한다고 한다(Srichuwong S 등 2005). 두 종류의 고구마 전분의 물결합능력, 팽윤력과 용해도는 품종 간에 차이가 없었다. 이는 Abegunde OK 등(2013)의 연구결과에서 중국의 전분산업에서 주로 사용되는 고구마 품종에서 분리한 전분의 팽윤력이 13.46-26.13 g/g,

Table 1. General compositions and physicochemical properties of starches purified from Daeyumi and Sinyulmi sweet potatoes (%)

Compositions & properties	Sweet potato starch	
	Daeyumi	Sinyulmi
Moisture content	12.85 \pm 0.04 ¹⁾	10.68 \pm 0.12
Protein content	0.00 \pm 0.00	0.00 \pm 0.00
Ash content	1.00 \pm 0.00	1.00 \pm 0.00
Amylose content	25.57 \pm 0.00*	22.59 \pm 0.09
Water binding capacity	207.87 \pm 0.70	235.96 \pm 6.72
Swelling power at 80°C (g/g)	19.38 \pm 0.15	16.81 \pm 0.59
Solubility at 80°C	10.02 \pm 0.22	10.52 \pm 0.93

Data represents mean \pm SD.

¹⁾ Significantly different between Daeyumi and Sinyulmi starches by Student *t*-test at * $p < 0.05$.

용해도가 8.56-19.97%로 나타난 것과 유사한 결과를 보였다.

2. 신속점도측정기에 의한 호화특성

전분의 호화양상은 아밀로스와 아밀로펙틴의 구성비, 전분 분자구조, 입자의 크기, 모양, 팽윤 정도, 입자들의 배열과 결합력 등 의해서 영향을 받는다(Baek MH & Shin MS 1995). 신속점도측정기에 의한 전분의 호화양상은 Table 2와 같았다. 전분의 호화 개시온도는 대유미 80.08°C, 신율미 76.80°C로 대유미가 신율미에 비해 높은 온도에서 호화가 개시되었으며 유의 차이를 보였다. 최고 점도는 가열에 의한 호화액의 점도가 가장 높을 때의 점도로, 대유미 424.34 RVU, 신율미 474.46 RVU으로 신율미가 더 높았고, 최저점도는 대유미가 192.83 RVU, 신율미 182.59 RVU로 반대 경향을 보였지만 유의한 차이가 없었다. 호화 중 전단 및 열에 대한 저항성을 나타내는 강하 점도(breakdown viscosity)는 대유미 234.50 RVU, 신율미 291.88 RVU, 치반 점도(setback viscosity, F-T)는 대유미 75.92 RVU, 신율미 79.38 RVU로 두 전분의 호화액은 모든 유사한 경향을 나타냄을 확인하였다. 전분의 호화과정 중 아밀로스의 분자 크기와 아밀로펙틴의 가지사슬 길이 간의 상승효과는 전분 페이스트의 점도를 상승시키며(Jane JL & Chen LF 1992), 전분 페이스트의 점성에 팽윤된 입자들 간 형성된 강한 결합과 용출된 아밀로스가 영향을 준다고 알려져 있다(Jacobs H 등

1995). 따라서 고구마 전분 내의 아밀로스와 아밀로펙틴 구조 간 결합이 점도와 호화특성에 영향을 준 것으로 생각되었다.

3. 시차주사열량기에 의한 열적 특성

시차주사열량기로 열적특성을 나타낸 결과는 Table 2와 같이 전분의 호화개시온도(T_o)는 70.23-73.14°C 범위로 나타났으며 유의한 차이가 있었다. 또한 호화피크온도(T_p)와 호화종료온도(T_c)는 각각 77.43°C와 74.12°C, 79.63°C와 83.25°C로 대유미 전분이 더 높은 값을 나타냈으며 유의한 차이를 보였다($p<0.05$). 이는 신속점도측정기에 의한 호화개시온도가 대유미전분에서 더 높았던 것과 같은 경향으로 대유미 전분을 호화하는데 더 많은 열이 필요함을 알 수 있었고 전분의 분자구조를 통해 확인이 필요하지만 직선상의 사슬길이가 긴 아밀로스에 의해 열에 대해 저항성을 갖는 구조로 되었을 것으로 생각되었다. 호화온도 범위를 나타내는 ΔT 값과 호화엔탈피(ΔH)도 유의한 차이가 없었다. 한국산 고구마 전분과 관련된 연구(Kim JE 등 2013)에서도 호화개시온도(T_o)가 54.2-68.7°C, 호화피크온도(T_p)가 61.4-76.3°C, 호화종료온도(T_c)가 78.9-91.5°C로 나타났으며 본 연구 결과와 유사하였다.

고구마 전분의 물리화학적 특성에 관한 연구(Kitahara K 등 2005) 및 고구마 전분 열적특성 관련 연구(Lockwood S & King JM 2008)에서 전분의 호화온도는 아밀로스 함량과 양의 상관관계가 있는 것으로 보고되었고, 고아밀로스 전분의 호화는 일반 식품 내부온도인 100°C보다 높은 온도에서 호화되는 것으로 알려져 있다. 이는 대유미 전분의 아밀로스 함량이 신율미보다 높고 유의 차이를 나타내 아밀로스 함량이 높은 것이 호화온도가 높은 결과와 일치하였다.

Table 2. Pasting and thermal properties of starches purified from Daeyumi and Sinyulmi sweet potatoes

Properties	Sweet potato starch	
	Daeyumi	Sinyulmi
Initial pasting temp. (°C)	80.08±0.04 ¹⁾	76.80±0.00
Peak viscosity (RVU)	427.34±0.59	474.46±31.17
Trough viscosity (RVU)	192.83±1.77	182.59±14.26
Final viscosity (RVU)	268.75±2.36	261.96±14.09
Breakdown viscosity (RVU)	234.50±1.17	291.88±16.91
Setback viscosity (RVU)	75.92±0.59	79.38±0.18
T_o (°C) ²⁾	73.14±0.05*	70.23±0.21
T_p (°C)	77.43±0.13*	74.12±0.40
T_c (°C)	83.25±0.39*	79.63±0.28
ΔT (T_c-T_o)	10.11±0.34	9.40±0.07
ΔH (J/g)	10.34±0.11	10.19±0.21

Data represent mean±SD.

¹⁾ Significantly different between Daeyumi and Sinyulmi starches by *t*-test at $p<0.05$.

²⁾ T_o , T_p , T_c , ΔT , and ΔH represent onset, peak, and conclusion temperatures, temperature difference between onset and conclusion temperatures, and enthalpy for melting, respectively.

Table 3. Color values and textural properties of starch gels prepared from Daeyumi and Sinyulmi sweet potatoes

Properties	Sweet potato starch gel	
	Daeyumi	Sinyulmi
Lightness (L)	31.72±0.55 ¹⁾	30.77±0.54
Redness/greenness (±a)	-1.10±0.03	-1.15±0.11
Yellowness/blueness (±b)	-7.20±0.25	-6.98±0.59
Hardness (g)	125.23±1.47*	100.46±3.02
Cohesiveness	0.87±0.00	0.88±0.01
Gumminess	109.35±1.80*	87.89±1.97
Resilience	0.75±0.01	0.68±0.00

Data represent mean±SD.

¹⁾ Significantly different between Daeyumi and Sinyulmi starches by *t*-test at $p<0.05$.

4. 전분 겔의 외형적 특성과 색도

대유미와 신율미 전분으로 제조한 겔의 외형적인 형태는 Fig. 1과 같았다. 대유미 전분 겔은 투명하고 단단한 모양을 이루고 있으며 윗면과 측면 모두 매끄러운 표면을 나타내었다. 아밀로스를 함유한 전분의 경우 물이 있는 조건에서 호화되었을 때 용출된 직선상의 아밀로스가 이중나선형의 연결부위를 형성하면서 겔을 이루게 되는데, 겔은 아밀로스 함량이나 사슬길이에 의해 영향을 받는다. 전분을 구성하는 아밀로스와 아밀로펙틴은 그 분자구조에 의해 겔을 형성하였을 때 그 특성이 달라지며 묵을 형성하는 전분인 녹두, 동부전분의 경우에는 형성된 겔이 투명하고 탄성을 가진다(Thao MH & Noomhorm A 2011). 겔은 냉장온도에 저장하여 노화되면 흰색으로 불투명하게 되고 경도가 증가하는 등 전분의 종류, 아밀로스 함량, 중합도, 분자구조, 아밀로펙틴의 분지도 등 여러 요인에 의해 다른 특성을 나타낸다. 겔을 굳힌 이후 스테인리스스틸 관에서 분리할 때 대유미 전분 겔이 더 단단하였고 분리 후에도 부서짐이 적은 경향을 보였다. 또한 겔을 눌러보았을 때 대유미 전분이 더 견고한 겔을 형성하였음을 확인하였는데 이는 텍스처 측정 시에 나타난 경도와 검성의 결과와 일치하였다. 제조된 고구마 전분 겔의 색도와 텍스처특성치는 Table 3과 같았다. 녹색도(-a값) 및 청색도(-b값)는 두 전분 겔이 유사하였으나 명도(L값)는 대유미 전분 겔이 31.72, 신율미 전분 겔이 30.77로 유의적인 차이가 나타났다($p < 0.05$). 대유미 전분이 L값이 보다 높게 나타났는데, 이는 대유미 전분의 아밀로스 함량이 신율미 전분에 비해 높게 나타난 것과 관련이 있을 것이라고 생각되었다.

5. 전분 겔의 텍스처 특성

전분 겔의 텍스처 특성치는 Table 3에 나타내었다. 대

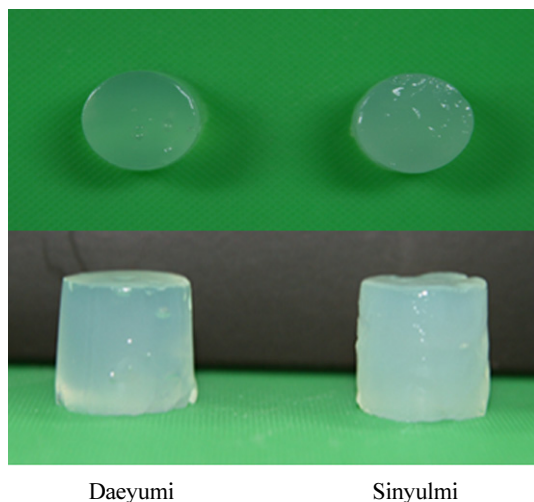


Fig. 1. The shape of cylinder type sweet potato starch gels prepared from Daeyumi and Sinyulmi sweet potatoes.

유미 전분 겔의 경우 경도와 검성이 더 높았으나 응집성, 회복력의 경우 유의차이가 없었다. 두 전분 겔의 아밀로스 함량이 달라 아밀로스가 많은 대유미 전분이 더 단단한 겔 구조를 형성하였기 때문으로 생각되었다. 이는 아밀로스 함량이 다른 옥수수 전분 겔 관련 연구(Mun SH 등 1997)에서 겔 경도는 아밀로스 함량보다는 아밀로스의 사슬길이나 아밀로펙틴의 가지사슬길이의 차이가 영향을 준다고 보고하여 아밀로스 차이뿐만 아니라 전분의 분자구조를 통하여 정확한 원인을 파악할 수 있을 것으로 생각되었다.

6. X-선 회절도

에탄올로 탈수시켜 건조한 겔 분말과 생전분의 X-선 회절도는 Fig. 2와 같았다. 전분의 X-선 회절도에 의한 결정형은 곡류전분의 A type, 감자와 두류 전분의 B type 과 고구마나 칩 전분(Imberty A 등 1991)에서 나타나는 A type과 B type 전분의 혼합에 의한 C type으로 구분하였다. 대유미 전분은 회절각도(2θ)=5.5, 15.1, 17.2, 17.8, 23.0°에서 피크를 나타내었고, $2\theta=17^\circ$ 에서 강한 피크를 나타내어 C_b type임을 알 수 있었다. 신율미 전분은 회절각도(2θ)=15.0, 17.0, 22.7°에서 피크를 나타내어 A type임을 알 수 있었다. 이러한 결과는 한국산 고구마 전분에 관련된 연구에서 고구마 전분의 X-선 회절 형태가 A type과 C_b type 두 가지로 나타난 결과와 일치하였다(Kim JE 등 2013).

반면 전분 겔의 경우 호화된 전분에 의해 겔 매트릭스를 형성하였으나 아밀로스에 의한 노화가 진행되지 않아 특정한 위치에 피크가 없이 넓은 범위의 무정형 피크로 아밀로스-지질의 복합체를 나타내는 $2\theta=20^\circ$ 에서의 피크가 없는 넓은 회절형태를 보여 전분에 지방질 함량이 거의 없음을 확인할 수 있었다.

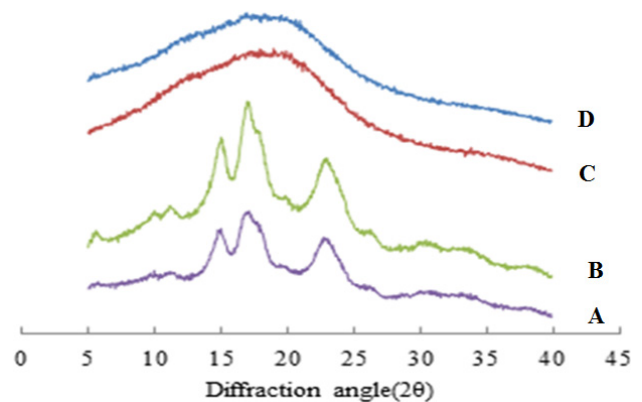


Fig. 2. X-ray diffractograms of Daeyumi (B, D) and Sinyulmi (A, C) sweet potato starch (A, B) and starch gels (C, D).

IV. 요약 및 결론

바이오에탄올과 가공용으로 개발된 분질고구마인 대유미의 식품가공특성을 알아보기 위하여 전분을 분리하여 기존의 분질고구마인 신율미 전분과 특성을 비교하였다. 대유미와 신율미 전분의 아밀로스 함량은 각각 25.57%와 22.59%이었으며, 신속점도측정기에 의한 호화개시 온도, 시차주사열량기에 의한 호화피크온도와 호화종료온도는 대유미전분이 더 높아 유의적인 차이를 보였다. 고구마 전분 겔을 제조하였을 때 대유미 전분 겔이 더 투명하고 단단하며 매끄러운 겔을 형성하였고, 경도와 검성에서 높은 값을 나타내었다. 대유미와 신율미 전분의 결정형은 각각 C₆와 A type이었으며 겔은 무정형이었다. 분질고구마인 대유미와 신율미의 전분은 이화학적 및 겔 특성에서 유사함을 보였으나 아밀로스 함량에 상관되는 특성인 호화온도, 겔 강도 등이 차이를 보였다. 대유미 전분은 호화상태에서 끈적임이 적었으며 겔 특성이 개선되어 전분 겔을 이용한 가공식품에 활용성이 우수할 것으로 생각되었다. 앞으로 전분의 분자구조를 비교함으로써 고구마 육종에 필요한 자료를 제공할 수 있을 것이다.

Conflict of Interest

No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

Acknowledgements

This work was carried out with the support of “Cooperative Research Program for Agriculture Science & Technology Development (Project No. PJ011332)” Rural Development Administration, Republic of Korea.

References

- AACC. 2000. Approved methods of the AACC. 10th ed. American Association of Cereal Chemists, Inc., St. Paul, MN, USA. Method 76-21.
- Abegunde OK, Mu TH, Chen JW, Deng FM. 2013. Physicochemical characterization of sweet potato starches popularly used in Chinese starch industry. *Food Hydrocoll* 33(2): 169-177.
- Ahn YS, Jeong BC, Chung MN, Lee JS, Jeong KB, Oh YB, Jeong DH, Cho SY, Min KS, Lee JS, Kim ES, Kim TG. 2000. A new sweetpotato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.) cultivar, ‘Jinhongmi’ for the edible and the starch. *Korean J Breed Sci* 32(1):95-97.
- Ahn YS, Chung MN, Jeong BC, Lee JS, Oh YH. 2002. A new sweetpotato variety resistant to Fusarium wilt, ‘Singeonmi’. *Korean J Breed Sci* 34(4):381-382.
- AOAC. 2000. Official Methods of Analysis. 17th ed. Association of Official Analytical Chemists, Washington DC, USA. Method 991.42.
- Baek HR, Kim HR, Kim KM, Kim JS, Han GJ, Moon TW. 2014. Characterization of Korean sweet potato starches: Physicochemical, pasting, and digestion properties. *Korean J Food Sci Technol* 46(2):135-142.
- Baek MH, Shin MS. 1995. Effect of water activity on the physicochemical properties of sweet potato starch during storage. *Korean J Food Sci Technol* 27(4):532-536.
- Chen Z, Sagis L, Legger A, Linszen JPH, Schols HA, Voragen AGJ. 2002. Evaluation of starch noodles made from three typical Chinese sweet potato starches. *J Food Sci* 67(9):3342-3347.
- Han SK, Song YS, Lee HU, Ahn SH, Yang JW, Lee JS, Chung MN, Suh SJ, Park KH. 2013. Difference of starch characteristics of sweetpotato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam) by cultivated regions. *Korean J Food Sci Technol* 45(6):682-692.
- Han SK, Song YS, Ahn SH, Yang JW, Lee HU, Lee JS, Chung MN, Nam SS, Choi IH, Park KH. 2014. Physicochemical characteristics of sweetpotato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam) starch depending on cultivation periods. *Korean J Food Sci Technol* 46(6):750-756.
- Huang TT, Zhou DN, Jin ZY, Xu XM, Chen HQ. 2016. Effect of repeated heat-moisture treatments on digestibility, physicochemical and structural properties of sweet potato starch. *Food Hydrocoll* 54(A):202-210.
- Imberty A, Buléon A, Tran V, Péerez S. 1991. Recent advances in knowledge of starch structure. *Starch-Stärke* 43(10):375-384.
- Jacobs H, Eerlingen RC, Clauwaert W, Delcour JA. 1995. Influence of annealing on the pasting properties of starches from varying botanical sources. *Cereal Chem* 72(5):480-487.
- Jane JL, Chen JF. 1992. Effect of amylose molecular size and amylopectin branch chain length on paste properties of starch. *Cereal Chem* 69(1):60-65.
- Jo AR, Kim HR, Choi SJ, Lee JS, Chung MN, Han SK, Park CS, Moon TW. 2016. Preparation of slowly digestible sweet potato Daeyumi starch by dual enzyme modification. *Carbohydr Polym* 143:164-171.
- Kim JE, Ren CS, Shin MS. 2013. Physicochemical properties of starch isolated from eight different varieties of Korean sweet potatoes. *Starch-Stärke* 65(11-12):923-930.
- Kim KE, Kim SS, Lee YT. 2010. Physicochemical properties of flours prepared from sweet potatoes with different flesh colors. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 39(10):1476-1480.
- Kitahara K, Fukunaga S, Katayama K, Takahata Y, Nakazawa Y, Yoshinaga M, Suganuma T. 2005. Physicochemical properties of sweetpotato starches with different gelatinization

- temperatures. *Starch-Stärke* 57(10):473-479.
- Kweon MR, Kim SR, Lim KS, Ahn SY. 1992. Characterization of mook (starch-gel food) forming starches. *J Korean Agric Chem Soc* 35(2):92-98.
- Lee JS, Ahn YS, Kim HS, Chung MN, Jeong BC. 2006. Making techniques of high quality powder in sweetpotato. *Korean J Crop Sci* 51(spc1):198-203.
- Lee JS, Ahn YS, Chung MN, Kim, HS, Jeong KH, Bang JK, Song YS, Shim HK, Han SK, Suh SJ. 2010. A new sweet-potato cultivar for use of bioethanol 'Daeyumi'. *Korean J Breed Sci* 42(6):674-678.
- Lee JS, Chung MN, Ahn YS, Kim HS, Song YS, Shim HK, Han SK, Kim JM, Suh SJ, Kim JJ, Jeong KH, Choi JS. 2013. A sweet potato cultivar 'Jeonmi' for starch processing. *Korean J Breed Sci* 45(4):440-444.
- Lee YI, Lee SJ, Noh WS. 1996. Amylogram characteristics and swelling power of modified starches. *J Ind Technol Res Inst* 7:55-60.
- Lockwood S, King JM. 2008. Amino acid additives effects on sweet potato starch thermal properties. *Starch-Stärke* 60(12):690-695.
- Medcalf DG, Gilles KA. 1965. Wheat starches. I. Comparison of physicochemical properties. *Cereal Chem* 42(6):558-568.
- Mun SH, Kim WS, Shin MS. 1997. Formation and properties of gel from maize starches with different amylose content. *J Korean Soc Food Sci* 13(4):379-383.
- Noda T, Kimura T, Otani M, Ideta O, Shimada T, Saito A, Suda I. 2002. Physicochemical properties of amylose-free starch from transgenic sweet potato. *Carbohydr Polym* 49(3):253-260.
- Noda T, Takahata Y, Sato T, Ikoma H, Mochida H. 1996. Physicochemical properties of starches from purple and orange fleshed sweet potato roots at two levels of fertilizer. *Starch-Stärke* 48(11-12):395-399.
- Park SJ, Kim JM, Kim JE, Jeong SH, Park KH, Shin MS. 2011. Characteristics of sweet potato powders from eight Korean varieties. *Korean J Food Cook Sci* 27(2):19-29.
- Schoch TJ, Leach W. 1964. Whole starches and modified starches. Vol. II. pp 106-108. In: *Methods in carbohydrate chemistry*. Whistler RL (ed). Academic Press, NY, USA.
- Shin MY, Youn KS, Lee SW, Moon HK, Lee WY. 2011. Optimization of vacuum drying conditions for a steamed (pumpkin-) sweet potato slab by response surface methodology. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 40(9):1314-1320.
- Srichuwong S, Sunarti TC, Mishima T, Isono N, Hisamatsu M. 2005. Starches from different botanical sources. II: Contribution of starch structure to swelling and pasting properties. *Carbohydr Polym* 62(1):25-34.
- Thao MH, Noomhorm A. 2011. Physicochemical properties of sweet potato and mung bean starch and their blends for noodle production. *J Food Process Technol* 2(1):105-114.
- Tian SJ, Rickard JE, Blanshard JMV. 1991. Physicochemical properties of sweet potato starch. *J Sci Food Agric* 57(4): 459-491.
- Williams PC, Kuzina FD, Hlynka I. 1970. Rapid colorimetric procedure for estimating the amylose content of starches and flours. *Cereal Chem* 47:411-420.
- Yang JW, Kim JM, Lee HU, Han SK, Lee JS, Nam SS, Chung MN, Song YS, Ahn SH, Choi IH. 2015. Effect of virus free stocks of sweetpotato cultivated at different regions. *Korean J Crop Sci* 60(1):54-62.
- Zaidul ISM, Norulaini NAN, Omar AKM, Yamauchi H, Noda T. 2007. RVA analysis of mixtures of wheat flour and potato, sweet potato, yam, and cassava starches. *Carbohydr Polym* 69(4):784-791.
- Zhou W, Yang J, Hong Y, Liu G, Zheng J, Gu Z, Zhang P. 2015. Impact of amylose content on starch physicochemical properties in transgenic sweet potato. *Carbohydr Polym* 122:417-427.
- Zhu F, Wang S. 2014. Physicochemical properties, molecular structure and uses of sweet potato starch. *Trends Food Sci Technol* 36(2):68-78.

Received on May16, 2016/ Revised on Jul.25, 2016/ Accepted on Jul.27, 2016