고구마 가공 슬러지로부터 회수된 고구마 전분의 물리화학적 특성

김 현 석*

국립안동대학교 식품생명공학과

Physicochemical Properties of Sweet Potato Starch Reclaimed from Sweet Potato Processing Sludge

Hyun-Seok Kim*

Department of Food Science and Biotechnology, Andong National University

Abstract The physicochemical properties of sweet potato (SP) starches reclaimed from an SP-processing sludge without freezing (RC/NF) and with freezing (RC/FR) were investigated. Lab-isolated (LI) SP starch, as a control, were prepared from raw SP. RC/NF and RC/FR SP starches were recovered from SP-processing sludges by the repeated sieving and washing procedure. The total starch contents and amylopectin branch-chain distributions did not differ for three SP starches. Relative to LI and RC/NF SP starches (possessing similar physicochemical characteristics), the apparent amylose and phosphorus contents, swelling factor, and pasting viscosity were reduced for RC/FR SP starch. However, the freezing treatment altered X-ray diffraction pattern (at 5.5°, 11-12°, and 24° 2θ) of RC/FR SP starch, which likely increased its gelatinization peak and completion temperatures. Its amorphous region in total diffractogram was reduced, resulting in the enhanced relative crystallinity. Overall results suggested SP starches recovered from an SP-processing sludge would have the potential to replace commercial SP starch products.

Keywords: sweet potato processing sludge, sweet potato starch, freezing, physicochemical property

서 론

쌍자엽 식물인 고구마(*Ipomoea batatas* L.)는 전분을 생산하는 중요한 7대 작물 중의 하나이며 전 세계 연간 생산량(11.7천만톤, 2011년)의 약 95%가 아시아와 아프리카 지역에서 재배되고 있다(1-3). 고구마는 가뭄에 대한 저항성과 염분에 대한 내성을 나타내고 척박한 토양환경에서도 단위면적당 생산량이 높은 작물재배학적인 장점들을 보유하고 있다(1,4). 또한 고구마는 수분 70-80%, 전분 16-24%와 미량성분들(단백질, 지방, 미네랄, 비타민) 4% 미만으로 포함하고 있으며 전분의 경우 고구마 건물 당 약 80%의 높은 함량을 나타내어 예로부터 주식 및 주식대용으로 널리 사용되어 왔다(1,5). 국내에서는 예로부터 식량부족 시기에 고구마가 구황작물로서 중요한 역할을 하였다(5). 게다가 국내에서 생산되는 고구마의 90% 이상은 생식용 및 단순조리용으로 소비되며 약 10% 미만이 전분원료, 당면, 주정원료 등 가공식품의 원료로서 사용되고 있다(5,6). 최근 고구마의 높은 식이섬유 함량과 폴리페놀성 성분들의 항산화 효능 등이 알려지면서 고구마가 체중조절과 건강기능성을 보유한 다이어트, 참살이(well-being) 식품으로 대중들에게 인식되면서 고구마의 직접섭취에 의한 소비 증

가 및 고구마를 활용한 다양한 가공식품들(고구마칩, 스낵 및 비스킷류, 면류, 빵류, 스프류, 프렌치프라이 등)이 제조·판매되고 있다(5,7).

한편 고구마의 섭취부위는 유세포(parenchyma cell) 집합체로 구성되어 있으며 각각의 유세포들은 내부에 다량의 전분입자들과 단백질을 포함한다(8). 그래서 고구마의 박피, 성형, 절단과 같은 가공처리에 의한 유세포의 손상 및 파괴는 전분입자들의 유출을 초래한다. 이와 같은 고구마 전분입자들의 유출은 작업적성과 최종제품의 품질을 저하시키고 영양성분 손실의 원인이 된다. 따라서 고구마를 가공할 경우 박피·절단공정은 세척공정을 수반하여 고구마 조직 외부로 유출된 전분입자들을 제거한다. 성형 및 세절된 고구마들의 세척은 연속적으로 세척수가 공급되는 세척조에서 이루어지며 사용된 세척수는 폐수처리관을 통해 제거되지만 고구마 조직 잔류물들과 전분입자들은 세척조 바닥에 침전하여 슬러지를 형성한다. 세척과정에서 발생한 슬러지는 단순한 정제처리를 통해 고구마전분을 회수할 수 있음에도 전량 폐기되고 있으며 이를 위해 추가적인 노동력과 시간이 요구되고 있다. 또한 고구마전분은 가공식품 제조 시 가장 널리 사용되는 옥수수전분에 비해 페이스트의 점도가 높고 투명하며 겔의 특성과 냉해동 안정성이 우수하여 저온유통 되는 식품에 적합하다고 알려져 있으나 옥수수전분에 비해 가격이 약 3-3.5배 높아 고구마전분의 가공식품에의 이용이 제한적이다(6).

따라서 본 연구에서는 고구마분말 제조시설에서 고구마 세절 후 세척과정 중 발생하는 가공 슬러지로부터 회수한 고구마전분의 상업적 활용성을 제고하기 위해 회수된 고구마전분의 물리화학적 특성을 평가하고 고구마 가공 슬러지의 냉동저장에 따른 고구마전분의 물리화학적 특성 변화를 조사하였다.

*Corresponding author: Hyun-Seok Kim, Department of Food Science and Biotechnology, Andong National University, Andong, Gyeongbuk 760-749, Korea
Tel: 82-54-820-5846
Fax: 82-54-820-6264
E-mail: khstone@andong.ac.kr
Received August 16, 2013; revised September 11, 2013;
accepted September 11, 2013

재료 및 방법

재료

고구마 가공 슬러지는 세척한 고구마의 슬라이스(slice) 및 수세(정제수 이용) 공정 중에 발생한 것과 고구마 가공공정 동일 배치(batch)에 투입된 원료 밤고구마(Andong, Korea)를 안동마부용농산영농조합법인(Andong, Korea)으로부터 공급받았다. 고구마 가공 슬러지는 발생 즉시 회수한 것과 -25- -30°C에서 30일 동안 냉동저장된 것을 본 연구의 시료로 하였다.

천연 고구마전분 제조

동일한 고구마 가공 배치에 투입된 원료 고구마로부터 Abegunde 등(1)의 방법에 따라 전분을 추출하였다. 세척·박피한 고구마는 1 cm 두께로 절단하고 0.1% (w/v) sodium bisulphite 용액(1 L 용액 당 1 kg 고구마)에 10분간 침지한 후 가정용 믹서기(HMF-3450S, Hanil Electric, Seoul, Korea)를 이용하여 분쇄하였다. 분쇄 중 발생한 거품을 제거한 고구마 슬러지는 140 mesh 시험용체(No. 140, Chunggye, Seoul, Korea)를 통과시켜 고구마 조직 잔류물과 전분유를 분리하였다. 전분유로부터 전분을 회수하기 위해 4°C에서 5시간 방치한 후 상등액을 제거하고 과량의 탈이온수를 가하여 전분을 분산시키고 다시 4°C에서 5시간 방치하였다. 전분의 회수 및 세척과정은 총 5회 반복 수행하였다. 회수된 고구마 전분은 무수에탄올에 분산시켜 30분간 교반한 후 감압여과하고 40°C에서 24시간 동안 열풍건조하여 분석시료로 하였다.

고구마 가공 슬러지로부터 전분 회수

발생 즉시 채취한 고구마 가공 슬러지는 4°C에서 5시간 방치하여 상등액을 제거한 후 침전물 무게의 2배에 해당하는 0.1%(w/v) sodium bisulphite 용액을 가하여 분산시켜 10분간 교반하였다. 침전물 분산액은 140 mesh 시험용체를 통과시켜 고구마 조직 잔류물과 전분유를 분리하였다. 한편 냉동 고구마 가공 슬러지의 경우 그 무게의 2배에 해당하는 0.1%(w/v) sodium bisulphite 용액을 가하여 4°C에서 72시간 동안 해동한 후 상등액을 제거하였다. 침전물은 동량의 0.1%(w/v) sodium bisulphite 용액에 다시 분산시켜 10분간 교반하고 140 mesh 시험용체를 통과시켜 고구마 조직 잔류물과 전분유를 분리하였다. 분리된 전분유들로부터 고구마전분의 회수는 천연 고구마전분의 제조방법에 기술한 것과 동일하게 처리하였다.

고구마전분의 성분분석과 아밀로펙틴 분지사슬 분포

총 전분 함량은 total starch assay kit (Megazyme Int., Wicklow, Ireland)을 이용하여 AACCC의 방법(Method 76-13)에 준하여 분석하였다(9). 겔보기 아밀로오스 함량은 요오드 용액을 이용한 비색법(10)과 중압크기배제크로마토그래피법(11,12)에 의해 결정되었다. 인(phosphorus) 함량은 유도결합플라즈마 원자방출분광법을 이용하여 정량하였다(13). 아밀로펙틴 분지사슬 분포는 Kim과 Huber(14)의 IPSEC 방법에 의해 조사되었다.

X선 회절 분석

고구마전분들의 X선 회절도는 상온(~24°C)의 브로민화나트륨 포화용액을 포함하는 데시케이터에 고구마전분 시료들(약 2 g)을 넣어 평형수분함량(14.8%)을 일정하게 조정한 후 X-ray diffractometer (Siemens D5000, Madison, WI, USA)를 이용하여 조사하였다. X-ray diffractometer는 40 kV와 30 mA에서 조작되었으며 X선 회절도는 0.3° 회절각과 3°/min 회절속도로 4-30° 회절각도(2θ)

범위에서 X선 회절 패턴을 얻었다. 상대적 결정화도는 Cheetham과 Tao(15)의 방법에 따라 총 diffractogram 면적에 대한 결정 피크 면적의 비율(%)로 나타내었다.

팽윤력

고구마전분들의 팽윤력은 blue dextran exclusion method에 의한 swelling factor (SF)로 나타내었다(16). 고구마전분(200 mg, d.b)과 탈이온수(10 mL)을 50 mL 원심분리관 안에서 혼합하고 항온수욕조(30, 40, 50, 60, 70, 80, 90°C)에서 30분간 가온한 후 냉수욕조에서 20분간 냉각하였다. Blue dextran (M_r 2×10⁶) 용액(1.0 mL, 5 mg/mL)을 원심분리관에 가하고 아래위로 10회 정도 뒤집어 혼합하여 25°C, 3,000×g에서 15분간 원심분리한 후 상등액을 취하여 620 nm에서 흡광도(As)를 측정하였다. 대조군은 고구마전분을 넣지 않은 탈이온수에 대해 동일한 처리를 한 후 측정된 흡광도(Ar)로 하였다. SF는 12% 수분함량으로 보정된 전분무게를 이용하였고, 팽윤된 전분과 탈이온수 혼합물의 밀도를 1.4 g/mL로 가정하였을 때 원심분리관 안의 자유수와 팽윤된 전분입자들 사이의 물(FW)은 식(1)과 같이 계산한다.

$$FW \text{ (mL)} = 5.5(Ar/As) - 0.5 \quad (1)$$

최초 전분무게(W, mg)에 대한 전분의 초기 부피(V_0)는

$$V_0 \text{ (mL)} = W/1,400 \quad (2)$$

전분입자가 흡수한 물의 부피(V_1)은

$$V_1 = 5.0 - FW \quad (3)$$

팽윤된 전분입자의 부피(V_2)는

$$V_2 = V_0 + V_1 \quad (4)$$

따라서,

$$SF = V_2/V_0 \quad (5)$$

로 계산되며 (1)-(4)식들을 (5)번에 대입하여 정리한 아래 식에 의해 전분의 SF를 계산하였다.

$$\text{Swelling factor (SF)} = 1 + (7,700/W)[(As - Ar)/As]$$

호화 특성

고구마전분의 호화특성은 시차주사열량계(DSC 2920, TA Instruments, Newcastle, DE, USA)를 이용하여 분석하였다(14). 고구마전분(10 mg, d.b)을 알루미늄 팬에 직접 칭량하고 탈이온수(20 μL)를 가하여 밀폐한 후 상온에서 24시간 동안 방치하였다. DSC thermogram은 25°C부터 180°C까지 10°C/min의 속도로 가열하여 얻은 후 호화개시온도(T_g ; gelatinization onset temperature), 최대호화온도(T_p ; gelatinization peak temperature), 호화종결온도(T_c ; gelatinization completion temperature)와 흡열엔탈피(ΔH ; gelatinization enthalpy)를 Universal Analysis 2000 Program (v. 4.5A, TA Instruments, Newcastle, DE, USA)에 의해 계산하였다.

페이스팅 점도 특성

고구마전분의 페이스팅 점도 특성은 신속점도분석기(RVA-4D, Newport Scientific, NSW, Australia)를 이용하여 조사하였다(14). 고구마전분(2.5 g, d.b)을 알루미늄 용기에 직접 칭량하고 총 29 g이 되도록 탈이온수를 가한 후 spatula와 플라스틱 회전축을 이용하여 고구마전분을 완전하게 분산시켜 분석시료를 제조하였다.

60°C로 조정된 신속점도분석기에서 2분간 교반한 다음, 7°C/min 속도로 95°C까지 가열하고 95°C에서 4분간 유지시킨 후 9°C/min의 속도로 50°C까지 냉각하고 50°C에서 4분간 유지시켜 페이스팅 점도 프로파일을 얻었다. 플라스틱 회전축은 최초 10초간 960 rpm으로 회전시킨 후 분석하는 동안 160 rpm으로 일정하게 회전시켰다.

통계분석

모든 실험은 최소 3회 이상 반복하였고, 측정된 특성치들은 one-way ANOVA 분석을 수행하여 평균±표준편차로 나타내었으며, 평균값들 사이의 통계적 유의성은 95% 신뢰수준에서 최소유의차검정(least significance difference; LSD)을 통해 분석하였다. 모든 통계적 계산과 분석은 SAS version 9.1 for Windows (SAS Institute, Inc., Cary, NC, USA)에 의해 수행되었다.

결과 및 고찰

성분특성

고구마로부터 실험실에서 추출한 천연전분(LI; lab-isolated), 무처리 고구마 가공 슬러지로부터 회수·정제한 전분(RC/NF; reclaimed/nonfrozen)과 냉동 고구마 가공 슬러지로부터 회수·정제한 전분(RC/FR; reclaimed/frozen)들의 총전분, 아밀로오스 및 인 함량을 측정하여 Table 1에 나타내었다. 고구마전분들의 총전분 함량은 94.1-95.6%의 범위에 있었으며 통계적으로 유의적인 차이를 나타내지 않았다. Abegunde 등(1)이 보고한 실험실에서 추출한 고구마전분들의 총전분함량은 품종에 따라 91.9-95.6%의 범위를 나타내었으며 평균적으로 93.6%이었다. 따라서 본 연구에서 고구마 가공 슬러지로부터 회수·정제한 고구마전분들은 전분소재로 사용하기에 적절한 것으로 보인다.

고구마전분들의 아밀로오스 함량은 아밀로오스와 요오드 복합체 형성을 통한 비색법과 전분분자 크기에 의한 IPSEC법에 의해 정량하였다. 비색법과 IPSEC에 의한 고구마전분들의 아밀로오스 함량은 각각 21.4-23.5%와 21.8-25.1%의 범위에 있었다(Table 1). LI와 RC/NF 고구마전분들의 아밀로오스 함량은 비색법에 의한 것보다 IPSEC법이 각각 1.1%와 2.1% 정도 높았다. Kim과 Huber(12)는 IPSEC법은 비색법보다 전분의 아밀로오스 함량을 약 3.5%까지 과대평가될 수 있다고 보고하였고 이는 IPSEC 크로마토그램 상에서 아밀로펙틴과 아밀로오스 분획들 사이의 중간분획(intermediate fraction)의 정도에 영향을 받는다고 결론지으며 IPSEC법이 전분들의 아밀로오스 함량 변화를 추적하는데 여전히 유효한 방법이라고 제안하였다. 한편 아밀로오스 함량 분석 방법과 관계없이 LI와 RC/NF 고구마전분들의 아밀로오스 함량은 유의적인 차이를 나타내지 않았으나 RC/FR 고구마전분은 다른 두 전

분들보다 유의적으로 낮았다. 이는 냉동식품의 해동 시 발생하는 드립(drip)과 관련 있는 것 같다(17). Lee 등(18)은 고구마전분 겔의 냉동 후 해동 시 발생하는 드립과 함께 겔로부터 전분분자가 배출되었다고 보고하였다. Szymoska와 Wondnicka(19)는 냉동 감자전분 슬러리를 해동 후 건조하여 제조한 감자전분 표면은 천연감자전분에서 관찰되지 않던 미세구멍(micropore)이 형성되었으며 냉해동 회수가 증가할수록 감자전분 슬러리의 수분함량이 높을수록 미세구멍의 크기가 증가하였다고 보고하였다. 결과적으로 RC/FR 고구마전분이 다른 전분들에 비해 상대적으로 낮은 아밀로오스 함량을 나타내는 것은 냉동 고구마 가공 슬러지의 해동 시 고구마전분 표면구조 변형과 함께 전분입자 내부의 얼음결정이 녹아 외부로 배출되면서 아밀로오스 분자도 함께 배출되어 손실된 것으로 생각된다.

인 함량의 경우 LI와 RC/NF 고구마전분들은 각각 270.5와 270.0 ppm을 보유하고 있었으나 RC/FR 고구마전분은 130 ppm을 나타내었다. 이는 고구마전분들의 아밀로오스 함량에서 관찰된 경향과 동일하였다. Lim 등(20)은 서류작물(감자, 고구마, 타피오카, 연근, 칩) 유래 전분들의 인은 인지질이나 무기 인산염으로부터 유래하는 것이 아니라 3번과 6번 탄소 위치에서 인산화된(phosphorylated) 무수포도당 단량체를 포함하는 전분분자로부터 기인한다고 보고하였다. Absar 등(21)은 감자의 아밀로펙틴은 평균 200-500개 무수포도당 단량체 당 1개의 인산염이 결합되어 있다고 보고하였다. 따라서 RC/FR 고구마전분의 인 함량 감소는 냉동 고구마 가공 슬러지의 해동에 따른 드립현상 발생 시 아밀로펙틴 분자가 손실된 것으로 판단된다. 관찰된 결과들을 종합해 볼 때 냉동 고구마 가공 슬러지의 해동 시 고구마전분 입자 내의 아밀로펙틴과 아밀로오스 분자들이 드립과 함께 전분입자 외부로 부분적으로 유출되는 것으로 생각된다.

아밀로펙틴 분지사슬 분포

고구마전분들의 아밀로펙틴 분지사슬 분포는 isoamylase를 이용하여 고구마전분 분자들을 탈분지한 후 IPSEC를 이용하여 분석하고 그 결과를 Fig. 1과 Table 2에 나타내었다. 탈분지화된 고구마전분 분자들은 IPSEC에 의해 아밀로오스와 아밀로펙틴 분지사슬 분획들로 분류되었다. 고구마전분 아밀로오스 함량의 결과(Table 1)와 마찬가지로 아밀로오스 분획 비율은 RC/FR 고구마전분(18.8%)이 LI와 RC/NF 고구마전분들(20.5%와 20.3%)에 비해 낮은 수준을 나타내었다. 아밀로펙틴 분획은 Fr I (수평균중합도 $DP_n > 28$), Fr II (DP_n 10-27), Fr III ($DP_n < 9$)로 구성되어 있었다. LI와 RC/NF 고구마전분들의 아밀로펙틴 분지사슬 분포는 거의 동일하였고 RC/FR 고구마전분의 경우 이들과 미묘한 차이를 나타내었다. 이와 같은 결과는 아밀로오스 분획비율의 감소로 인해 전체적인 IPSEC 크로마토그램의 변화가 생긴 것으로 보인다.

Table 1. Mean¹⁾ values for chemical composition of the lab-isolated (LI), reclaimed/nonfrozen (RC/NF), and reclaimed/frozen (RC/FR) sweet potato starches

Sweet potato starch	TS ²⁾ (%, d.b)	Apparent amylose (%)		Phosphorus (ppm)
		Colorimetric ³⁾	IPSEC ⁴⁾	
LI	95.6±0.5 ^a	23.5±0.5 ^a	24.6±0.5 ^a	270.5±0.5 ^a
RC/NF	95.1±0.7 ^a	23.2±0.3 ^a	25.1±0.8 ^a	270.0±0.5 ^a
RC/FR	94.1±0.8 ^a	21.4±0.2 ^b	21.8±1.6 ^b	130.0±0.0 ^b

¹⁾Mean values of three measurements; values sharing the lowercase letters within a column are not significantly different ($p < 0.05$).

²⁾Total starch contents within sweet potato starches.

³⁾Determined using the colorimetric method by Morrison and Laignelet (10).

⁴⁾Determined from the chromatograms obtained via intermediate-pressure size exclusion chromatographic analysis (11,12).

Fig. 1. Amylopectin branch-chain distributions of the lab-isolated (LI), reclaimed/nonfrozen (RC/NF), and reclaimed/frozen (RC/FR) sweet potato starches.

다. 한편 고구마전분 시료들의 아밀로펙틴 분지사슬 분획비율에 있어 Fr I은 25.2-25.5%, Fr II는 27.5-28.4%, Fr III는 26.3-27.3%로 유사하였으며 통계적으로 유의적인 차이를 나타내지 않았다(Table 2). 전반적인 결과를 볼 때 고구마 가공 슬러지를 냉동저장한 후 이로부터 고구마전분 제조 시 전분분자들(아밀로오스와 아밀로펙틴)의 손실을 유발시킬 수 있으나 고구마전분의 아밀로펙틴의 분자구조에는 영향을 미치지 않는 것으로 보인다.

X선 회절 분석

고구마전분들의 X선 회절 패턴과 상대적 결정화도는 각각 Fig. 2와 Table 3에 나타내었다. 고구마전분들의 X선 회절 패턴은 전형적인 C형 패턴을 나타내었다(22). LI와 RC/NF 고구마전분들의 X선 회절 패턴은 유사하였으나 이들에 비해 RC/FR 고구마전분의 X선 회절 패턴은 회절각 5.5°와 11-12°에서는 X선 회절 강도가 유의적으로 감소하였으며 24.2°에서는 분리피크(split peak)가 더욱 명확해졌으며 diffractogram에 있어 무정형 영역은 감소하였다. 이는 Szymoska 등(23)이 수분 첨가량을 달리한 감자전분 슬러리의 냉동처리 후 해동하여 제조한 건조감자전분의 X선 회절 분석에서 회절각 5.5°의 X선 회절 강도와 무정형 영역의 유의적인 감소를 보고한 연구결과와 유사하였다. 한편 상대적 결정화도는 LI와 RC/NF 고구마전분들의 경우 각각 29.9%와 30.2%이었으며 통계적으로 유의적인 차이를 나타내지 않았다(Table 3). 반면 RC/FR 고구마전분은 36.6%로 다른 고구마전분들에 비해 유의적으로 높은 수치를 나타내었다(Table 3). 냉동저장 유무에 따

Fig. 2. X-ray diffraction patterns of the lab-isolated (LI), reclaimed/nonfrozen (RC/NF), and reclaimed/frozen (RC/FR) sweet potato starches.

Table 3. Mean¹⁾ values for relative crystallinity of the lab-isolated (LI), reclaimed/nonfrozen (RC/NF), and reclaimed/frozen (RC/FR) sweet potato starches

Sweet potato starch	Relative crystallinity ²⁾ (%)
LI	29.9±0.4 ^b
RC/NF	30.2±0.1 ^b
RC/FR	36.6±0.9 ^a

¹⁾Mean values of three measurements; values sharing the lowercase letters within a column are not significantly different ($p < 0.05$).

²⁾Relative crystallinity (RC) is defined as the percent ratio of the area of crystalline regions to that of total diffractogram (crystalline+amorphous) (14).

른 고구마전분들의 상대적 결정화도 차이는 X선 회절 패턴(Fig. 2)에서 관찰된 것처럼 RC/FR 고구마전분의 diffractogram에 있어 결정 영역 면적의 감소는 미미하였지만 무정형 영역 면적은 유의적으로 감소하였기 때문이다. 고구마 가공 슬러지의 냉동저장 유무에 따라 고구마전분의 X선 회절 패턴과 상대적 결정화도가 상이한 것은 Szymoska 등(23)의 연구에서 도출된 결론처럼 전분 수용액의 냉동처리는 전분입자 내의 물 분자와 전분분자의 재배열을 촉진시켜 전분입자의 결정구조를 변형시켰기 때문인 것 같다.

팽윤력

고구마전분들의 팽윤력은 30-90°C의 온도범위에서 swelling factor (SF)를 측정하여 Fig. 3에 나타내었다. 전분입자의 팽윤력(swelling power)을 측정하는 전통적인 방법은 전분입자의 내부와 전분입자

Table 2. Mean¹⁾ fraction proportions²⁾ for amylopectin branch-chain fractions of the lab-isolated (LI), reclaimed/nonfrozen (RC/NF), and reclaimed/frozen (RC/FR) sweet potato starches

Sweet potato starch	Amylose peak proportion (%)	Amylopectin branch-chain proportion (%) ³⁾		
		Fr I (DP _n >28)	Fr II (DP _n 10-27)	Fr III (DP _n <9)
LI	20.5±0.5 ^a	25.2±0.8 ^a	27.5±0.4 ^a	26.8±0.5 ^a
RC/NF	20.3±0.2 ^a	25.5±0.7 ^a	27.9±1.1 ^a	26.3±0.6 ^{ab}
RC/FR	18.8±0.2 ^b	25.5±0.5 ^a	28.4±0.7 ^a	27.3±0.1 ^a

¹⁾Mean value of two measurements; values within a column sharing a lowercase letter are not significantly different ($p < 0.05$).

²⁾Defined as the percent ratio of each fraction area to the total area of the chromatogram.

³⁾Classified based on IPSEC chromatograms (displayed below) for debranched amylopectin chains of reclaimed potato and sweet potato starches.

Fig. 3. Swelling factors of the lab-isolated (LI), reclaimed/nonfrozen (RC/NF), and reclaimed/frozen (RC/FR) sweet potato starches.

들 사이에 존재하는 물의 양을 나타내는데 비해 SF는 전분입자 내부에 함유된 물의 양만으로 계산된다(16). 따라서 냉동처리가 고구마전분 입자 내의 결정 및 무정형 영역의 구조적 변형을 초래하는 것으로 보이는 본 연구에 있어 고구마전분 시료들의 팽윤력을 비교하는데 SF는 가장 적절한 방법이었다. 모든 고구마전분들은 60°C부터 팽윤하기 시작하여 90°C로 상승하면서 팽윤력이 급격히 증가하는 양상을 나타내었다(Fig. 3). 60-90°C의 온도범위에서 LI와 RC/NF 고구마전분들의 SF는 유의적인 차이를 나타내지 않았으나 RC/FR 고구마전분은 이들에 비해 유의적으로 낮은 수준을 나타내었다. 이는 RC/FR 고구마전분의 X선 회절 패턴과 상대적 결정화도에 의해 설명될 수 있다. Fig. 2와 Table 3에서 나타난 것처럼 RC/FR 고구마전분은 다른 시료들에 비해 무정형 영역이 유의적으로 감소하였고 이로 인해 상대적 결정화도는 증가하는 양상을 나타내었다. 전분의 수화 및 팽윤 과정에서 물 분자는 가장 먼저 전분입자의 무정형 영역을 채운 후 결정 영역으로 침투하여 아밀로펙틴의 이중나선 구조를 분리시킴으로서 전분입자를 호화시키는 것으로 알려져 있다(24). 본 연구에서 팽윤력을 SF로 측정하였을 때 RC/FR 고구마전분의 무정형 영역이 다른 전분들에 비해 상대적으로 적어 전분입자가 함유할 수 있는 물의 양이 적어 팽윤력이 감소한 것으로 보인다.

호화특성

고구마전분들의 호화특성은 시차주사열량계(DSC)를 이용하여 측정하였고 그 결과를 Table 4에 나타내었다. 호화개시온도는 61.0-61.5°C의 범위에 있었으며 모든 고구마전분들에 있어 유의적인 차이를 나타내지 않았다. 최대호화온도와 호화종결온도는 LI와

Fig. 4. Pasting viscosity profiles of the lab-isolated (LI), reclaimed/nonfrozen (RC/NF), and reclaimed/frozen (RC/FR) sweet potato starches.

RC/NF 고구마전분들에 있어 각각 68.1-68.5°C와 84.5-85.0°C의 범위에 있었으며 통계적으로 유의적인 차이를 나타내지 않았다. 그러나 RC/FR 고구마전분의 최대호화온도와 호화종결온도는 각각 72.7°C와 87.2°C로 다른 고구마전분들에 비해 상승한 결과를 나타내었다. 호화엔탈피의 경우 모든 고구마전분 시료들은 19.4-20.2 J/g의 범위에 있었으며 통계적으로 유의적인 차이를 나타내지 않았다. Tester와 Morrison(16)은 호화온도는 전분의 crystallite perfection 정도를 설명하며 호화엔탈피는 전분의 미소결정의 절대량과 관련되어 있다고 하였다. 따라서 RC/FR 고구마전분의 최대호화온도와 호화종결온도의 상승은 X선 회절 분석의 결과로부터 제안한 것과 같이 냉동처리에 의해 전분입자 내의 수분분포가 재배열되면서 결정구조의 안전성이 향상되었기 때문인 것 같다. 반면 RC/FR 고구마전분의 호화엔탈피가 다른 시료들과 유사한 것은 냉동처리가 전분입자 내의 미소결정의 완전성은 향상시켰지만 추가적인 미소결정 형성을 통해 미소결정 절대량을 증가시키지 않았기 때문으로 보인다.

페이스팅 점도 특성

고구마전분들의 페이스팅 점도 특성은 신속점도분석기(RVA)를 이용하여 분석하였고 페이스팅 점도 프로파일들과 특성치들은 각각 Fig. 4와 Table 5에 나타내었다. LI와 RC/NF 고구마전분들은 적용된 온도 프로파일에서 걸쳐 거의 유사한 점도 프로파일을 나타내었다. 그러나 RC/FR 고구마전분들은 적용된 온도 프로파일에서 다른 고구마전분들의 페이스팅 점도보다 낮은 수준을 나타내었다. 이와 같은 결과는 고구마전분들의 팽윤력의 차이 때문인 것 같다. 신속점도분석기에 의한 페이스팅 점도 프로파일은 팽윤

Table 4. Mean¹⁾ values for gelatinization property of the lab-isolated (LI), reclaimed/nonfrozen (RC/NF), and reclaimed/frozen (RC/FR) sweet potato starches

Sweet potato starch	$T_o^{2)}$ (°C)	$T_p^{2)}$ (°C)	$T_c^{2)}$ (°C)	$\Delta H^{2)}$ (J/g)
LI	61.5±0.5 ^a	68.5±0.4 ^b	85.0±0.5 ^b	20.2±0.6 ^a
RC/NF	61.0±0.2 ^a	68.1±0.0 ^b	84.5±0.1 ^b	19.7±0.4 ^a
RC/FR	61.2±0.1 ^a	72.7±0.0 ^a	87.2±0.1 ^a	19.4±0.3 ^a

¹⁾Mean values of three measurements; values sharing the lowercase letters within a column are not significantly different ($p < 0.05$).

²⁾ T_o , T_p , and T_c indicate gelatinization onset, peak, and completion temperatures, respectively; ΔH is designated as gelatinization enthalpy.

Table 5. Mean¹⁾ pasting characteristics of the lab-isolated (LI), reclaimed/nonfrozen (RC/NF), and reclaimed/frozen (RC/FR) sweet potato starches

Sweet potato starch	Pasting viscosity (RVU)				
	Peak	Trough	Breakdown	Final	Setback
LI	517.1±3.9 ^a	203.0±1.8 ^a	314.2±2.1 ^a	300.0±1.1 ^a	97.2±0.7 ^b
RC/NF	514.4±7.8 ^a	201.7±3.7 ^a	312.7±4.2 ^a	299.3±2.2 ^a	97.7±1.4 ^b
RC/FR	402.3±1.3 ^b	163.8±2.5 ^b	238.5±4.1 ^b	270.0±3.0 ^b	106.3±0.5 ^a

¹⁾Mean values of three measurements; values sharing the lowercase letters within a column are not significantly different ($p < 0.05$).

된 전분입자들 사이의 마찰에 따라 플라스틱 회전축이 받는 저항도로부터 생성되기 때문에 팽윤력이 낮은 RC/FR 고구마전분이 다른 전분들에 비해 낮은 페이스팅 점도를 나타내는 것이다. Table 5에 제시된 페이스팅 점도 특성치들의 결과 역시 점도 프로파일과 동일한 양상을 나타내었다. LI와 RC/NF 고구마전분들의 최대점도, 최저점도, 최종점도와 이들로부터 계산된 breakdown 점도, setback 점도들은 유사한 수준을 나타내었으며 통계적으로 유의적인 차이를 나타내지 않았다. 그러나 RC/FR 고구마전분은 다른 고구마전분에 비해 setback 점도를 제외한 페이스팅 점도 특성치들에 있어 낮은 수준을 나타내었다.

요 약

고구마의 가공공정(절단, 성형, 세척) 중 발생하는 고구마 가공 슬러지로부터 고구마전분을 회수하여 전분소재로서의 활용가능성을 재고하기 위해 회수된 고구마전분들의 물리화학적 특성을 조사하였고 고구마 가공 슬러지의 냉동저장에 따른 고구마전분의 특성 변화를 비교하였다. 고구마 가공 슬러지로부터 회수된 전분들의 총전분 함량은 94.1-95.6%의 범위에 있었으나 겉보기 아밀로오스와 인 함량은 냉동 고구마 가공 슬러지로부터 회수된 고구마 전분이 다른 전분들에 비해 유의적으로 낮았다. 냉동저장 처리는 고구마전분의 아밀로펙틴 분지사슬 분포에 큰 영향을 미치지 않았으나 고구마전분 입자의 결정구조를 변형시켰으며 무정형 영역을 감소시켰다. 이로 인해 고구마전분의 팽윤력과 페이스팅 점도특성은 감소하였으며 최대호화온도와 호화중결온도는 상승하는 결과를 초래하였다. 전체적인 결과를 고려할 때 고구마 가공 슬러지를 획득한 즉시 회수한 고구마전분은 고구마로부터 직접 분리한 고구마전분과 물리화학적 특성이 유사하여 상업적인 전분소재로 사용가능할 것으로 기대되지만 냉동저장된 고구마 가공 슬러지로부터 분리·정제한 고구마전분을 상업적으로 이용하기 위해서는 가공식품에 있어 이의 가공적성 및 최종품질에 대한 영향 조사가 선행되어야 할 것 같다.

감사의 글

본 논문은 농촌진흥청 공동연구사업(과제번호: PJ009786)의 지원에 의해 이루어진 결과의 일부이며 이에 감사드립니다.

References

1. Abegunde OK, Mu TH, Chen JW, Deng FM. Physicochemical characterization of sweet potato starches popularly used in Chinese starch industry. *Food Hydrocolloid*. 33: 169-177 (2013)
2. International Potato Center. Available from: <http://www.cipotato.org/sweetpotato>. Accessed May 11, 2013.
3. Srichuwong S, Orikasa T, Matsuki J, Shiina T, Kobayashi T,

- Tokuyasu K. Sweet potato having a low temperature-gelatinizing starch as a promising feedstock for bioethanol production. *Biomass Bioenerg*. 39: 120-127 (2012)
4. Cheon JE, Baik MY, Choi SW, Kim CN, Kim BY. Optimization of Makgeolli manufacture using several sweet potatoes. *Korean J. Food Nutr*. 26: 29-34 (2013)
5. Yang JH, Park HY, Kim YS, Choi IW, Kim SS, Choi HD. Quality characteristics of vacuum-fried snacks prepared from various sweet potato cultivars. *Food Sci. Biotechnol*. 21: 525-530 (2012)
6. Baek MH, Cha DS, Park HJ, Lim ST. Physicochemical properties of commercial sweet potato starches. *Korean J. Food Sci. Technol*. 32: 755-762 (2000)
7. Kim JM, Park SJ, Lee CS, Ren C, Kim SS, Shin M. Functional properties of different Korean sweet potato varieties. *Food Sci. Biotechnol*. 20: 1501-1507 (2011)
8. Monte-Neshich DC, Rocha TL, Guimares RL, Santana EF, Loureiro ME, Valle M, Grossi de SMF. Characterization and spatial localization of the major globulin families of taro (*Colocasia esculenta* L. Schott) tubers. *Plant Sci*. 112: 149-159 (1995)
9. AACC. Approved Method of the AACC. 10th ed. Method 76-13. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN, USA (2000)
10. Morrison WR, Laignelet B. An improved colorimetric procedure for the determination of amylose in cereal and starches. *J. Cereal Sci*. 1: 9-20 (1983)
11. Kim HS, Higley JS, Huber KC. Alkaline dissolution of starch facilitated by microwave heating for analysis by size-exclusion chromatography. *J. Agr. Food Chem*. 54: 9664-9669 (2006)
12. Kim HS, Huber KC. Simple purification (desalting) procedure to facilitate structural analysis of an alkali-solubilized/neutralized starch solution by intermediate-pressure size-exclusion chromatography. *J. Agr. Food Chem*. 55: 4944-4948 (2007)
13. Anderson, KA. Micro-digestion and ICP-AEC analysis for the determination of macro and micro elements in plant tissues. *Atom. Spectrosc*. 17: 30-33 (1996)
14. Kim HS, Huber KC. Physicochemical properties and amylopectin fine structures of A- and B-type granules of waxy and normal soft wheat starch. *J. Cereal Sci*. 51: 256-264 (2010)
15. Cheetham NWH, Tao L. Variation in crystalline type with amylose content in maize starch granules: an X-ray powder diffraction study. *Carbohydr. Polym*. 36: 277-284 (1998)
16. Tester RF, Morrison WR. Swelling and gelatinization of cereal starches. I. Effects of amylopectin, amylose, and lipids. *Cereal Chem*. 67: 551-557 (1990)
17. Lee HO, Lee YJ, Kim JY, Kwon KH, Cha HS, Kim BS. Choosing quality indicators for quality prediction of frozen green pumpkin in distribution. *Korean J. Food Sci. Technol*. 45: 325-332 (2013)
18. Lee MH, Baek MH, Cha DS, Park HJ, Lim ST. Freeze-thaw stabilization of sweet potato starch gel by polysaccharide gums. *Food Hydrocolloid*. 16: 345-352.
19. Szymoska J, Wodnicka K. Effect of multiple freezing and thawing on the surface and functional properties of granular potato starch. *Food Hydrocolloid*. 19: 753-760 (2005)
20. Lim ST, Kasemsuwan T, Jane JL. Characterization of phosphorus in starch by ³¹P-nuclear magnetic resonance spectroscopy. *Cereal Chem*. 71: 488-493 (1994)
21. Absar N, Zaidul ISM, Takigawa S, Hashimoto N, Matsuura-endo C, Yamauchi H, Noda T. Enzymatic hydrolysis of potato starches

- containing different amounts of phosphorus. Food Chem. 112: 57-62 (2009)
22. Zobel HF. Starch crystal transformations and their industrial importance. Starch-Stärke 40: 1-7 (1988)
23. Szymoska J, Kork F, Komorowska-Czepirska E, Rbilas K. Modification of granular potato starch by multiple deep-freezing and thawing. Carbohydr. Polym. 52: 1-10 (2003)
24. Knorr H, Heinz V, Buckow R. High pressure application for food biopolymers. Biochim. Biophys. Acta 1764: 619-631 (2006)