

마(*Dioscorea batatas*) 전분의 추출 및 물리화학적 특성에 대한 전분추출용액의 영향

이현정¹ · 서동호² · 김현석^{1,*}

¹경기대학교 식품생물공학과, ²한국식품연구원 장내미생물연구단

Effect of starch extraction solutions on extraction and physicochemical property of Chinese yam (*Dioscorea batatas*) starch

Hyunjeong Lee¹, Dong-Ho Seo², and Hyun-Seok Kim^{1,*}

¹Department of Food Science and Biotechnology, Kyonggi University

²Research Group of Gut Microbiome, Korea Food Research Institute

Abstract This study investigated the influence of starch extraction (ST-EX) solutions on the extraction yield and characteristics of Chinese yam (CY) starches from domestic *Dioscorea batatas*. Ascorbic acid (VitC), Na₂S₂O₃, NaHCO₃, and Na₂CO₃ were used as ST-EX solutions (0.4%, w/v). The extracted CY starches were examined for ST-EX yield, chemical composition, size distribution, X-ray diffraction, solubility, swelling power, gelatinization, and pasting viscosity. The highest ST-EX yield was obtained from NaHCO₃, followed by VitC. Lower protein content, relative crystallinity, and gelatinization enthalpy were found in CY starches from alkaline ST-EX solutions (NaHCO₃ and Na₂CO₃). Size distribution and gelatinization temperature did not generally differ for CY starches from the different ST-EX solutions. Pasting viscosities increased in the order from Na₂CO₃ > Na₂S₂O₃ > NaHCO₃ > VitC ST-EX solutions. Thus, VitC may be most appropriate to extract CY starch from *Dioscorea* rhizomes, considering its ST-EX yield, total starch content, and variation in pasting viscosity.

Keywords: *Dioscorea batatas*, Chinese yam starch, starch extracting solution, extraction yield, physicochemical property

서 론

백합목 마과(Dioscoreaceae)에 속하며 다년생, 초본성 덩굴식물인 마(*Dioscorea*; Chinese yam)는 원산지인 중국과 한국, 일본 이외에 아열대와 열대 지역에 널리 분포하고 있다(Onwueme, 1978; Shin 등, 2014). 전 세계적으로 마는 장마, 단마, 등근마, 산마 등 약 650 여종이 알려져 있으며(Onwueme, 1978), 국내에서는 덩이 뿌리 모양에 따라 장마(*D. batatas*), 참마(*D. japonica*)와 등근마(*D. bulbifera*)가 전국적으로 재배되고 있다(Jang, 2009). 재배환경과 품종에 따라 마는 건량기준으로 81.6-84.6% 탄수화물, 10.2-14.5% 조단백질, 0.3-1.2% 조지방과 4.8-5.3%의 조회분의 일반성분으로 구성되어 있고(Chung, 1995), 총 탄수화물 중 전분은 평균적으로 43.7%를 함유하고 있다(Shujun 등, 2006a). 또한 마는 점질성 당단백질인 뮤신(mucin), diosin, diosgenin, batasin, steroidal saponin, arginine과 choline 등의 약리성분들을 함유하고 있어(Jang, 2009), 혈당강화(McAnuff 등, 2005), 콜레스테롤저하(Chen 등, 2003), 항종양(McAnuff 등, 2005), 면역조절(Choi 등, 2004), phospholipase A₂ 저해(Kim 등, 2004), 골다공증 억제(Sugimoto 등,

2006), 항게양(Park 등, 2014) 등의 효능들을 보이는 것으로 보고 되면서 마와 마분말 같은 가공제품들의 소비가 증가하고 있다. 2016년 국내 마 생산량은 약 12천 톤이고, 생산액은 약 1.8천억 원으로 매년 증가 추세에 있으며, 경상북도 안동지역이 전국 마 생산량의 약 60%를 차지하고 있다(Korean Forest Service, 2018). 이와 같은 마의 생산량 증가로 생식용 또는 가공용으로 활용이 어려운 비상품성 마의 수량도 동시에 증가되고 있고, 이들은 폐기되거나 사료로 사용되고 있다.

마의 활용과 관련하여, 마는 낮은 저장성(Lee와 Park, 2013)으로 수확기 이후 생식용 마로써 판매가 제한적이기 때문에 생식용 이외의 마는 대부분 건조하여 미분화한 마 분말 형태로 유통되고 있다(Lee와 Kim, 1998). 상업화된 마 분말은 50-65°C의 온도범위에서 열풍건조한 후 분쇄하여 제조된다(Kim 등, 2006). 그러나 건조된 마 분말은 마 고유의 점질특성이 사라지며, 수용액에서 분산성이 낮고, 갈변, 이미와 이취가 발생하여 단순섭취(마 분말 현탁액으로 섭취)에 어려움을 나타낸다(Kim 등, 2006; Kim 등, 2016; Lee와 Kim, 1998). 이러한 마 분말의 관능특성 및 활용상의 문제점들을 해결하기 위해 마의 건조방법에 따른 마 분말의 물리적, 관능적 특성을 개선하는 연구들이 수행되었으며, 동결건조방법이 마 고유의 특성변화를 최소화시킬 수 있는 건조방법이라 하였으나(Kim 등, 2006; Kim 등, 2016; Lee와 Kim, 1998), 상업적인 마 분말은 여전히 열풍건조를 통해 생산되고 있다. 게다가 마 분말은 마의 탈피 과정 없이 제조되기 때문에 미활용 마의 상당히 다양한 방향으로 굴곡진 표면에 존재하는 모래, 흙 등의 제거에 어려움으로 마 분말의 원료로 활용되지 않고 있다.

*Corresponding author: Hyun-Seok Kim, Department of Food Science and Biotechnology, Kyonggi University, Suwon 16227, Korea
Tel.: +82-31-249-1319
Fax: +82-31-253-1165
E-Mail: khstone@kyonggi.ac.kr
Received January 25, 2018;
accepted February 1, 2018

한편 국외에서는 마의 한약재와 단순 가공식품으로서 활용 이외에 마의 산업적 활용도 증대를 위해 마로부터 전분을 추출하여 물리화학적 특성의 조사를 통해 생 전분과 화학적 변성전분을 위한 전분 원료로서의 가능성 탐색에 대한 연구가 수행되고 있다(Shujun 등, 2006a, 2006b; Wang 등, 2008; Wang 등, 2009). 국내의 마 전분에 대한 연구는 국내에서 재배되는 마로부터 추출한 마 전분의 물리화학적 특성 조사(Kim 등, 1991)와 마 전분 페이스트의 유변학적 특성을 조사한 연구(Lee 등, 1992) 만이 수행되었다. 선행된 연구들은 마로부터 전분을 추출하기 위한 전분 추출용매로서 증류수(Kim 등, 1991), 비극성 저분자물질 제거를 위한 에탄올 수용액(Wang 등, 2009), 미생물 증식 및 전분분해효소 활성의 억제를 위한 HgCl₂ 용액(Shujun 등, 2006a, 2006b), 희석된 NaOH 용액(Lee 등, 1992)들을 사용하여 일반적인 감자전분 추출방법과 유사한 절차에 따라 마 전분을 제조하는 등 전분 추출방법이 정립되어 있지 않다. 또한 전분추출용매로 증류수를 사용할 경우 전분 추출 과정 중 삼부가 발생할 수 있어 최종적인 전분의 백색도를 저하시킬 수 있으며, 에탄올과 NaOH을 사용할 경우 다량의 유기폐액과 고농도의 염 용액을 배출시킬 수 있고, HgCl₂ 용액의 경우 Hg²⁺ 이온이 마 전분 내에 잔류할 수 있는 가능성이 높다. 이와 같이 다른 서류작물에 비해 상대적으로 고가인 마로부터 전분의 추출수율을 높일 수 있으며, 식품소재로서의 안전성을 고려한 마 전분의 추출법에 대한 정보가 제시되지 못하고 있다.

따라서 본 연구의 목적은 마로부터 전분의 추출 시 사용되는 전분추출용액을 달리한 마 전분을 추출하여 물리화학적 특성을 조사하고, 마 전분의 추출수율과 분석된 특성들에 기초하여 마 전분의 생산을 위한 적절한 전분추출용액의 결정을 통해 마로부터 전분의 추출방법을 정립하는 것이다. 게다가 본 연구를 통해 국내산 마로부터 제조된 생(native) 전분 소재의 개발을 통해 마의 산업적 활용도의 제고를 위한 근거를 마련하고자 하였다.

재료 및 방법

재료 및 시약

마는 경상북도 안동지역에서 2014년 11-12월경에 수확한 장마(*Dioscorea batatas*)를 농업회사법인 (주)부용농산(Andong, Gyeongsangbuk, Korea)에서 구입하여 전분 추출을 위한 원료로 하였다. 구입된 장마는 각각 신문지에 싸서 상대습도 90±5%, 3-4°C의 저장고에서 저장하였고(Lee와 Park, 2013), 저온장해에 의한 부패현상과 저온당화현상에 의한 마의 전분 함량의 감소에 대한 영향을 최소화하기 위해 전분 추출은 마의 저장일로부터 1주 내에 완료하였다. 전분추출용액을 위해 아스코르브산(ascorbic acid), 메타중아황산나트륨(sodium metabisulfite), 탄산수소나트륨(sodium bicarbonate)과 탄산나트륨(sodium carbonate)을 ES식품원료(Gunpo, Gyeonggi, Korea)에서 구입하였고, 이들은 모두 식품첨가물 등급이었다. 이외의 본 연구에서 사용된 시약 및 용매들은 ACS 등급의 것들을 사용하였다.

마 전분 제조

마는 흐르는 물을 이용하여 철저히 세척하여 표피의 흙과 기타 이물질들을 제거하였고, 부패되었거나 목질화된 부분들을 제거하였다. 손질된 마는 5 cm 두께로 세절하면서 세절된 마 조직의 갈변을 방지하기 위해 전분추출용액에 침지하였다(전분추출용액 1L당 세절된 마 1kg). 마의 표피는 제거하지 않고 사용하였으며, 전분추출용액들(아스코르브산, 메타중아황산나트륨, 탄산수

소나트륨과 탄산나트륨)의 농도는 용액의 종류에 관계없이 0.4% (w/v)로 일정하게 하였다. 준비된 마는 전분추출용액과 함께 가정용 믹서(HMF-3450S, Hani Electric, Seoul, Korea)를 이용하여 2분간 분쇄하고, 140 mesh 표준체망(No. 140, Chunggye, Seoul, Korea)에 부어 1차 전분 유를 얻었다. 표준체망 위의 잔사는 1L의 전분추출용액과 혼합하여 가정용 믹서로 2분간 분쇄하고 표준체망을 이용하여 2차 전분 유를 얻고, 표준체망 위의 잔사는 1L의 전분추출용액을 이용하여 표준체망 위에서 세척하여 3차 전분 유를 얻었다. 3차에 걸쳐 회수된 전분 유는 원심분리(1,500×g, 20 min)를 통해 전분 층과 상층액을 분리한 후 전분 층에 과량의 증류수를 가하여 분산시켜 10분간 교반하고 원심분리하였다. 이와 같은 세척조작은 총 3회에 걸쳐 수행하였으며, 3차 세척과정에서 얻은 전분 층은 500 mL의 무수에탄올에 분산시켜 10분간 교반한 후 감압여과하여 전분 층을 회수하고 45°C의 열풍건조기에서 48시간 동안 건조하여 마 전분을 제조하였다. 마 전분의 추출수율은 다음의 계산식에 의해 결정되었다.

$$\text{전분추출수율(\%)} = \frac{\text{추출된 마 전분의 건물량(g, d.b)}}{\text{초기 세절된 마의 건물량(g, d.b)}} \times 100$$

입도분포

마 전분들의 입도분포와 평균입자크기는 레이저 산란 입도분석기(CILAS 1190 Liquid, Cilas, Madaon, France)를 이용하여 분석하였다. 마 전분 100 mg (d.b)은 무수에탄올(500 mL) 안에서 20분간 교반하여 분산시키고, 분산액 1 mL를 취하여 새로운 무수에탄올(500 mL)에 분산시켜 입도분석을 위한 시료로 하였다. 분석시료들은 입도분석기로 주입하며 시료 관을 흐르는 분산액에 레이저를 조사하여 회절 되는 산란각의 측정을 통해 0.01-1,000 μm 범위에서 전분 시료의 입자크기 분포를 얻었다.

화학 성분 분석

마 전분의 조단백질 함량은 AACC법 46-08 (AACC, 2000)에 따라, 총 전분 함량은 총 전분 분석 키트(total starch assay kit; Megazyme International Ltd., Bray, Ireland)를 이용하여 AACC법 76-13에 따라, 아밀로오스 함량은 Chrastil(1987)의 비색법에 따라 결정되었다.

X선 회절도 및 상대적 결정화도

마 전분의 X선 회절도는 40 kV와 30 mA에서 조작되는 X선 회절기(D8 Advance, Bruker AXS GmbH, Karlsruhe, Germany)를 이용하여 분석하였다. X선 회절도는 4-40° 2θ 회절각 범위, 2°/min 스캔속도와 0.2° 회절간격에 따라 얻었다. 상대적 결정화도(relative crystallinity)는 Cheetham과 Tao(1998)의 방법에 따라 총 X선 회절도의 총 면적에 대한 결정피크 면적의 백분비율(%)로 결정되었다.

용해도와 팽윤력

마 전분(0.5 g, d.b)은 증류수(25 mL)와 혼합하여 85°C에서 30분간 가열하고 냉수욕조에서 20분간 냉각한 후 원심분리(3,000×g, 20 min)하여 침전물과 상층액으로 분리하였다. 침전물은 무게를 측정하였고, 상층액은 100 mL 정용플라스크로 옮기고 증류수를 가하여 100 mL로 정용한 후 희석된 상층액의 총 당 함량을 환산-페놀법에 의해 결정하였다. 마 전분의 용해도와 팽윤력은 다음의 식들에 따라 결정되었다(Kim과 Kim, 2015).

$$\text{용해도}(\%, \text{d.b}) = \frac{\text{상등액의 총 당}(\text{g}) \times 0.9}{\text{마 전분의 건물량}(\text{g}, \text{d.b})} \times 100$$

$$\text{팽윤력}(\text{g/g}) = \frac{\text{침전물의 무게}(\text{g})}{\text{마 전분의 건물량}(\text{g}, \text{d.b}) \times \left(\frac{1 - \text{용해도}(\%)}{100} \right)}$$

여기서 0.9는 포도당의 몰 질량(180 g/mol)에 대한 무수포도당 (anhydroglucose)의 몰 질량(162 g/mol)의 비율이다.

시차주사열량계

마 전분의 호화특성은 시차주사열량계(DSC Q2000, TA Instruments, New Castle, DE, USA)를 이용하여 분석하였다(Kim과 Kim, 2015). 마 전분(5 mg, d.b)은 알루미늄 팬에 직접 칭량하고 증류수를 가하여 총 20 mg하였다. 알루미늄 팬은 기계적으로 밀봉하여 상온에서 18시간 동안 방치한 후 5°C/min의 가열속도로 20°C에서 100°C까지 스캔하였다. 대조군(reference)은 빈 알루미늄 팬으로 하였다.

신속점도분석기

마 전분의 페이스팅 점도 특성은 신속점도분석기(RVA-3D, Newport Scientific, NSW, Australia)를 이용하여 조사하였다(Kim과 Kim, 2015). 마 전분 1.5 g (d.b)은 알루미늄 컵에 직접 칭량하고 최종 무게가 28 g이 되도록 증류수를 가한 후 시약스폰과 플라스틱 회전축을 이용하여 마 전분을 균일하게 분산시켰다. 제조된 분석시료는 신속점도분석기를 이용하여 플라스틱 회전축을 160 rpm으로 회전시키면서 미리 결정된 온도프로파일에 따른 점도 변화를 추적하였다. 신속점도분석 시 적용된 온도 프로파일은 50°C에서 1분간 유지하고, 12°C/min의 가열속도로 95°C까지 가열하여 95°C에서 2.5분간 유지한 후 12°C/min의 냉각속도로 50°C까지 냉각하고, 추가로 50°C에서 1분간 유지하는 것이었다.

통계분석

마 전분은 전분추출용액에 따라 3회 반복 추출하여 추출수율을 계산하였으며, 마 전분의 특성들은 전분추출용액에 따른 마 전분 제조의 각 반복 당 적어도 1회 이상 분석하였다. 측정된 데이터들은 일원분산분석(one-way ANOVA)에 의해 통계적 유의성을 분석하고, 평균±표준편차로 표현하였다. 분석된 특성들에 있어 처리군들의 평균값들 사이의 유의적인 차이는 신뢰수준 95%에서 Tukey's HSD multiple range test에 의해 분석하였다. 모든 통계적 계산과 분석은 Minitab 16 (Minitab Inc., State College, PA, USA)을 이용하여 수행하였다.

결과 및 고찰

마 전분의 추출 및 추출수율

전분추출용액들은 산성의 아스코르브산(pH 3.1)과 메타중아황

산나트륨(pH 4.3)과 염기성의 탄산수소나트륨(pH 8.1)과 탄산나트륨(pH 11.4)의 0.4% (w/v) 수용액을 사용하여 마로부터 전분을 추출하였고, 추출수율을 Table 1에 제시하였다. 마 전분의 추출수율은 57.1-61.3%의 범위에 있었으며, 탄산수소나트륨 용액을 사용한 경우가 61.3%로 가장 높았으며, 탄산나트륨 용액을 사용한 경우에는 57.1%로 가장 낮았다(Table 1). 그러나 마 전분의 추출수율은 사용된 전분추출용액들 사이에서 통계적으로 유의적인 차이를 나타내지 않았다(Table 1). 그럼에도 본 연구에서 적용된 전분추출용액들은 증류수를 이용하여 마로부터 전분을 추출한 경우(추출수율 20.5±3.6%) 보다 약 3배 정도 높은 수율을 나타내었다. 이와 같은 결과는 마의 점질성분인 뮤신(mucin)의 수화 및 용해 특성 때문으로 생각된다. 마의 뮤신은 부분적으로 아세틸화된 만난(partially-acetylated mannan)을 주쇄(main chain)로 하며, 여기에 5당류와 단백질이 분지된 당단백질 고분자화합물로(Kim 등, 2006; Ma 등, 2017) 산성에서는 불용하고 중성에 가까워질수록 수화되어 팽윤 되지만 용해되지 않으며, 염기성에서는 용해되는 것으로 알려져 있다(Ma 등, 2017). 따라서 증류수를 전분추출용액으로 사용할 경우, 일반적으로 마의 pH가 약 6.8로 중성에 가깝고 추가된 증류수에 의해 뮤신은 더욱 수화되어 팽윤된 상태로 존재하여 높은 점도를 나타낼 것으로 생각된다(Ma 등, 2017). 결과적으로 높은 점도의 뮤신들이 분쇄된 마 조직들을 둘러싸고 있어 마 조직으로부터 전분 입자들의 회수가 용이하지 않기 때문에 마 전분의 추출수율이 낮은 것으로 생각된다. 반면 산성 전분추출용액들은 뮤신을 응집시켜 점도를 낮추고(Ma 등, 2017), 염기성 전분추출용액들은 뮤신을 용해시켜 유동성을 향상시킴으로써(Ma 등, 2017) 증류수를 사용한 경우보다 분쇄된 마 조직으로부터 전분 입자들의 회수가 용이하여 높은 전분 추출수율을 얻은 것으로 판단된다(Table 1). 한편 증류수를 전분추출용액으로 하여 제조된 마 전분은 낮은 추출수율로 대조군으로써의 대표성이 낮고, 추출과정 중 마 조직들의 갈변으로 최종적인 마 전분이 유의적인 회백색을 나타내어 본 연구에서 마 전분의 물리화학적 특성 조사를 위한 대조군으로 적합하지 않았다. 대신에 일반적으로 서류작물로부터 전분의 추출 시 전분추출용액으로 사용하는 메타중아황산나트륨(Kim과 Kim, 2015)을 이용하여 추출된 마 전분을 본 연구의 대조군으로 하였다.

화학 성분 특성

전분추출용액을 달리하여 제조된 마 전분들의 조단백질, 총 전분 및 아밀로오스 함량들을 분석하여 Table 1에 제시하였다. 마 전분들의 조단백질 함량은 1.3-1.6%의 범위에 있었으며, 탄산나트륨을 사용한 경우가 1.3%로 가장 적은 조단백질 함량을 나타내었고, 다른 전분추출용액들에 의한 전분들의 것과는 통계적으로 유의적인 차이를 나타내었다. 대표적인 서류전분(감자 및 고구마)의 경우 0.7% 미만의 조단백질 함량을 나타내었으나 (Abegunde 등, 2013; Kim과 Kim, 2015) 본 연구에서 얻은 마 전

Table 1. Mean¹⁾ values for extraction yield and crude protein, total starch, and apparent amylose contents of Chinese yam starches separated using different starch extracting solution

Starch extracting solution ²⁾	Extraction yield (% , d.b)	Crude protein (% , d.b)	Total starch (% , d.b)	Apparent amylose (% , d.b)
A	60.6±0.9 ^a	1.6±0.0 ^b	94.9±0.5 ^a	34.7±0.5 ^b
M	58.3±3.7 ^a	1.6±0.1 ^b	93.9±0.4 ^b	35.1±0.2 ^b
B	61.3±2.1 ^a	1.5±0.1 ^b	95.9±0.8 ^a	36.2±0.5 ^a
C	57.1±5.3 ^a	1.3±0.0 ^a	92.4±1.7 ^c	36.9±0.6 ^a

¹⁾Mean values of three replicate measurements; values sharing the same lowercase letters with columns are not significantly different at p<0.05.

²⁾A, ascorbic acid; M, sodium metabisulfite; B, sodium bicarbonate; C, sodium carbonate.

분들은 1.0%를 초과하였다. 이와 같은 결과는 전분 원료의 단백질 함량의 차이일 수도 있으나, 전분추출용액별 마 전분의 조단백질 함량이 다른 것을 고려할 때, 마의 단당백질 고분자화합물인 뮤신이 본 연구에서 적용된 전분추출용액들에 의한 추출과정에서 용해되어 제거되지 않고 일부분이 추출된 전분에 잔류하였기 때문으로 생각된다. 이는 염기성이 가장 높은 탄산나트륨을 전분추출용액으로 사용한 마 전분이 가장 낮은 조단백질 함량을 나타낸 것에 의해 설명될 수 있다(Table 1).

마 전분들의 총 전분 함량은 92.4-95.9%의 범위에 있었으며, 탄산수소나트륨, 아스코르브산, 메타중아황산나트륨, 탄산나트륨 용액들의 순서로 총 전분 함량이 증가하였고, 탄산수소나트륨과 아스코르브산 용액들은 총 전분 함량에 있어 통계적으로 유의적인 차이를 나타내지 않았다(Table 1). Prez 등(2001)은 옥수수로부터 전분을 추출하는 경우에 있어 전분추출용매가 단백질 매트릭스를 분산시키는 작용에 따라 전분 추출수율이 달라진다고 하였다. 따라서 아스코르브산과 탄산수소나트륨 용액들이 마 분쇄물로부터 전분입자들의 유출에 대한 마의 점질성 뮤신의 방해효과를 최소화시키기 때문에 높은 전분 추출수율을 나타내는 것으로 생각된다. 한편 전분추출용액을 달리하여 제조된 마 전분들은 본 연구에서 채택된 분석법과 동일한 방법으로 정량된 서류전분(고구마 및 감자)의 총 전분 함량들(Abegunde 등, 2013; Kim과 Kim, 2015)과 유사하여 전분 소재로서 활용이 가능할 것으로 생각된다.

아밀로오스 함량은 염기성 전분추출용액들(탄산수소나트륨과 탄산나트륨)에 의한 전분들이 각각 36.2%와 36.9%이었고, 산성 전분추출용액들(아스코르브산과 메타중아황산나트륨)에 의한 것들이 각각 34.7%와 35.1%이었다(Table 1). 아밀로오스 함량은 주어진 염기성 또는 산성 전분추출용액에 의한 전분들 내에서 유의적인 차이를 나타내지 않았으나, 염기성 전분추출용액에 의한 것들이 산성 전분추출용액에 의한 것들보다 유의적으로 높은 아밀로오스 함량을 나타내었다(Table 1). Palacios-Fonseca 등(2013)은 염기성 조건에서 옥수수 전분을 추출 시 전분의 결정구조의 부분적 손상, 즉 아밀로펙틴 이중나선구조의 중첩풀림(unfolding)으로 인해 아밀로펙틴과 요오드 사이의 추가적인 복합체 형성으로 산성조건에서 추출된 옥수수 전분의 아밀로오스 함량보다 높은 수준을 나타내었다고 하였다. 따라서 본 연구에서 관찰된 현상은 염기성 전분추출용매들을 사용하여 마 전분을 추출하는 동안 전분의 결정구조가 부분적으로 손상되었기 때문으로 생각된다. 한편 전분추출용액들을 달리하여 얻은 마 전분들의 아밀로오스 함량들(34.7-36.9%)은 본 연구에서 전분 원료로 사용된 동일한 품종(*D. batatas*)의 국내산 마로부터 추출된 전분의 것(29%)보다 높은 수준을 나타내었다(Kim 등, 1991). 본 연구와 문헌상의 마 전분의 아밀로오스 함량의 차이는 마의 재배지역에 따른 재배환경의 영향 때문인 것으로 생각된다(Onwueme, 1978; Shujun 등, 2006a, 2006b). 본 연구에서 사용된 마는 경상북도 안동지역에서 재배되었으며, 문헌상의 마는 강원도 원주지역에서 재배된 것을 사용하였다(Kim 등, 1991).

입도분포

전분추출용액을 달리하여 제조된 마 전분들의 입도분포와 평균입도를 조사하여 Fig. 1에 제시하였다. 아스코르브산, 메타중아황산나트륨, 탄산수소나트륨 용액들에 의한 마 전분들은 8.5-53.0 μm 의 입도분포를 나타내었으며, 탄산나트륨 용액에 의한 것은 7.0-54.0 μm 의 입도분포를 나타내었다(Fig. 1). 조사된 입도분포에 의해 결정된 마 전분의 평균입도는 21.5-23.3 μm 로 탄산나트륨 용

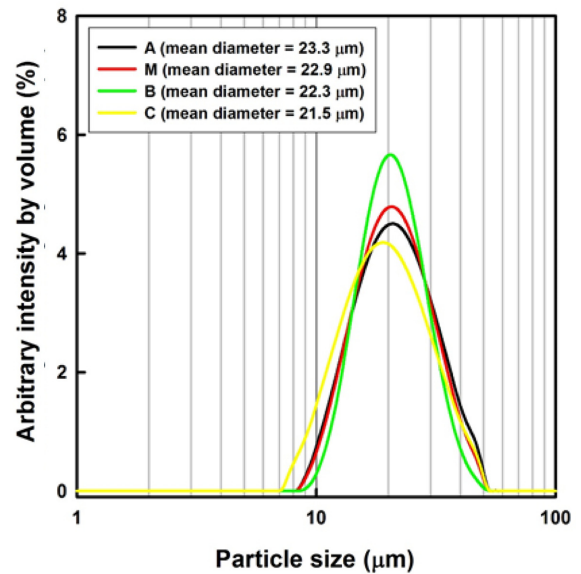


Fig. 1. Particle size distribution of Chinese yam starches separated using different starch extracting solution (A, ascorbic acid; M, sodium metabisulfite; B, sodium bicarbonate; C, sodium carbonate).

액을 사용한 것이 21.5 μm 로 가장 작았으나 전분추출용액에 따라 큰 차이를 보이지 않았다(Fig. 1). 이와 같은 결과는 마(*D. opposita*)로부터 추출된 전분이 23.4-26.9 μm 의 평균입도를 가지며 7-60 μm 의 입도분포를 보인다는 Shujun 등(2006a)의 보고와 매우 유사하였다. 따라서 본 연구에서 채택한 전분추출용액과 추출방법들은 마로부터 전분을 추출하는데 있어 적절한 것으로 판단된다.

X선 회절패턴

전분추출용액을 달리하여 제조된 마 전분들의 결정구조를 X선 회절기를 이용하여 조사하여 X선 회절패턴과 상대적 결정화도를 Fig. 2와 Table 2에 각각 나타내었다. X선 회절도에서와 같이 본 연구에서 제조된 전분들은 공통적으로 15.2°, 17.1°, 23° 2 θ 에서 강한 단일 피크가, 5.3° 2 θ 에서 약한 피크를 나타내었다(Fig. 2). 이와 같은 X선 회절패턴은 A형과 B형 결정구조가 혼재되어 있는 C형 결정구조를 나타내며, Shujun 등(2006a)이 마 전분은 C형 결정구조를 나타낸다고 보고한 것과 일치하였다. 한편 마 전분들의 상대적 결정화도는 산성 전분추출용액을 사용한 경우 23.2-23.5%, 염기성 전분추출용액을 사용한 경우에는 22.4-22.6%이었다(Table 2). 주어진 전분추출용액 내에서 마 전분들의 상대적 결정화도는 통계적으로 유의적인 차이를 보이지 않았다. 비록 산성과 염기성 전분추출용액에 의한 마 전분들 사이의 상대적 결정화도의 차이는 미미하였지만, 염기성 전분추출용액에 의한 것이 산성 전분추출용액에 의한 것보다 통계적으로 유의적으로 낮았다(Table 2). 이러한 결과는 산성 조건에서 보다 염기성 조건에서 제조된 옥수수 전분의 결정성이 낮았다는 Palacios-Fonseca 등(2013)의 보고와 일치하였다. 따라서 본 연구에서 적용된 염기성 전분추출용액들은 마 전분의 결정구조를 부분적으로 손상시키는 것 같다. 그래서 위의 아밀로오스 함량 부분에서 제안한 산성 전분추출용액 보다 염기성 전분추출용액에 의한 마 전분의 높은 아밀로오스 함량(Table 1)은 결정구조의 부분적인 손상의 영향일 것이라는 설명은 타당한 것 같다.

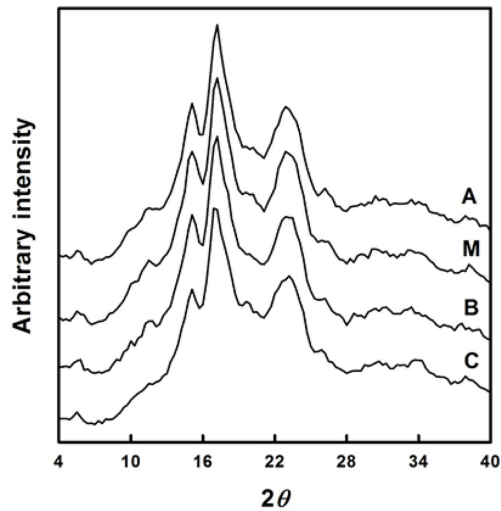


Fig. 2. X-ray diffraction patterns of Chinese yam starches separated using different starch extracting solution (A, ascorbic acid; M, sodium metabisulfite; B, sodium bicarbonate; C, sodium carbonate).

용해도와 팽윤력

전분추출용액을 달리하여 제조된 마 전분들의 용해도와 팽윤력을 조사하여 Table 2에 나타내었다. 용해도는 메타중아황산나트륨과 탄산수소나트륨 용액들에 의한 마 전분들이 각각 28.1%와 28.2%로 통계적으로 유의적인 차이를 보이지 않았으며, 아스코르브산(26.6%)과 탄산수소나트륨(25.0%) 용액들의 순서로 유의적으로 감소하였다(Table 2). 그러나 아밀로오스 함량과 상대적 결정도에서 산성 및 염기성 전분추출용액들에 따라 관찰된 경향들은 나타나지 않았다. 반면에 팽윤력은 염기성 전분추출용액들에 의한 마 전분들(16.0-16.9 g/g)이 산성 전분추출용액들(14.7-15.0 g/g)에 의한 것보다 유의적으로 높은 수준을 나타내었다. Srichuwong 등(2005)은 전분입자의 결정구조의 안정성 또는 완전성(perfection)의 향상은 팽윤을 지연시키고 팽윤된 전분입자를 온전

한(integrity) 상태로 유지할 수 있다고 하였다. 따라서 본 연구에서 염기성 전분추출용액에 의한 마 전분이 산성 전분추출용액에 의한 것보다 높은 팽윤력을 나타내는 것은 염기성 전분추출용액에 의해 마 전분의 결정구조가 부분적으로 손상되어 전분입자 구조의 불안정성이 높아진 결과인 것 같다. 이러한 설명은 염기성 전분추출용액에 의한 마 전분들이 산성 전분추출용액의 것보다 상대적으로 낮은 상대적 결정도에 의해 지지된다(Table 2).

호화특성

전분추출용액을 달리하여 제조된 마 전분들의 호화온도와 호화엔탈피를 시차주사열량계를 이용하여 조사하였다(Table 3). 호화개시온도는 아스코르브산, 메타중아황산나트륨, 탄산수소나트륨 용액들에 의한 마 전분들에 있어 68.3-69.2°C의 범위에 있었으며 전분추출용액에 따라 유의적인 차이를 나타내지 않았다. 그러나 탄산나트륨 용액에 의한 마 전분은 다른 전분추출용액들에 의한 것보다 유의적으로 낮은 호화개시온도(66.1°C)를 나타내었다. 호화최고온도는 76.9-78.1°C의 범위로 탄산수소나트륨 용액에 의한 마 전분이 가장 낮은 온도를 나타내었으나 전분추출용액들에 따른 통계적 유의성은 존재하지 않았다. 호화종결온도는 메타중아황산나트륨, 탄산수소나트륨, 탄산나트륨 용액들에 의한 마 전분들에 있어 88.9-90.2°C의 범위에 있었으며 전분추출용액에 따라 유의적인 차이를 나타내지 않았다. 그러나 아스코르브산 용액에 의한 마 전분은 다른 전분추출용액들에 의한 것보다 유의적으로 높은 호화종결온도(91.4°C)를 나타내었다. 전반적으로 탄산나트륨 용액에 의한 마 전분의 호화개시온도와 아스코르브산 용액에 의한 마 전분의 호화종결온도를 제외하고 마 전분들의 호화온도는 통계적으로 유사한 것 같다. 한편 호화엔탈피는 산성 전분추출용액들에 의한 마 전분들이 염기성 전분추출용액에 의한 것들보다 유의적으로 높은 수준을 나타내었다. 이러한 결과는 상대적 결정도(Table 2)에 제시된 것처럼 염기성 전분추출용액에 의해 마 전분의 결정구조가 부분적으로 손상되었기 때문인 것 같다.

페이스팅 점도

신속점도분석기를 이용하여 전분추출용액들에 따라 제조된 마

Table 2. Mean¹⁾ values for relative crystallinity, solubility, and swelling power of Chinese yam starches separated using different starch extracting solution

Starch extracting solution ²⁾	Relative crystallinity (%)	Solubility ³⁾ (%, d.b)	Swelling power ³⁾ (g/g)
A	23.2±0.2 ^a	26.6±0.1 ^b	14.7±0.2 ^b
M	23.5±0.2 ^a	28.1±0.6 ^a	15.0±0.5 ^b
B	22.6±0.2 ^b	28.2±0.4 ^a	16.9±0.9 ^a
C	22.4±0.1 ^b	25.0±0.2 ^c	16.0±0.8 ^a

¹⁾Mean values of three replicate measurements; values sharing the same lowercase letters with columns are not significantly different at $p < 0.05$.

²⁾A, ascorbic acid; M, sodium metabisulfite; B, sodium bicarbonate; C, sodium carbonate.

³⁾Determined at 85°C.

Table 3. Mean¹⁾ values for gelatinization property of Chinese yam starches separated using different starch extracting solution

Starch extracting solution ²⁾	Gelatinization temperature (°C)			Gelatinization enthalpy (J/g)
	Onset	Peak	Completion	
A	68.4±0.2 ^a	78.1±0.1 ^a	91.4±0.4 ^a	6.3±0.3 ^a
M	69.2±1.2 ^a	77.7±1.2 ^a	88.9±1.3 ^b	6.7±0.3 ^a
B	68.3±1.0 ^a	76.9±1.1 ^a	89.5±0.9 ^b	5.7±0.1 ^b
C	66.1±0.2 ^b	78.1±0.1 ^a	90.2±0.8 ^b	5.7±0.2 ^b

¹⁾Mean values of three replicate measurements; values sharing the same lowercase letters with columns are not significantly different at $p < 0.05$.

²⁾A, ascorbic acid; M, sodium metabisulfite; B, sodium bicarbonate; C, sodium carbonate.

Table 4. Mean¹⁾ values for pasting viscosity characteristics of Chinese yam starches separated using different starch extracting solution

Starch extracting solution ²⁾	T _p ³⁾ (°C)	Pasting viscosity (mPa·s)				
		Peak	Trough	Breakdown	Final	Setback
A	80.8±0.0 ^b	2471.5±10.6 ^c	1596.0±33.9 ^d	875.5±23.3 ^d	2348.0±56.6 ^d	752.0±22.6 ^d
M	80.8±0.1 ^b	3333.0±53.7 ^b	1913.5±37.5 ^b	1419.5±16.3 ^c	2743.5±6.4 ^b	830.0±31.1 ^c
B	80.1±0.1 ^c	3274.0±66.5 ^b	1711.5±36.1 ^c	1562.5±30.4 ^b	2649.5±29.0 ^c	938.0±7.1 ^b
C	81.5±0.0 ^a	3818.5±43.1 ^a	2140.5±85.6 ^a	1678.0±42.4 ^a	3219.5±51.6 ^a	1079.0±33.9 ^a

¹⁾Mean values of three replicate measurements; values sharing the same lowercase letters with columns are not significantly different at $p < 0.05$.

²⁾A, ascorbic acid; M, sodium metabisulfite; B, sodium bicarbonate; C, sodium carbonate.

³⁾Pasting temperature.

전분들의 페이스팅 점도 프로파일과 특성치들을 각각 Fig. 3과 Table 4에 나타내었다. 마 전분들의 페이스팅 온도는 80.1-81.5°C의 범위로 전분추출용액에 따른 통계적 유의성을 나타내었으나 페이스팅 온도들의 차이는 미미한 수준이었다(Table 4). 본 연구에서 조사된 마 전분들 중 아스코르브산 용액에 의한 마 전분의 페이스팅 점도 프로파일(Fig. 3)과 특성치들(Table 4)은 본 연구에서 조사된 마 전분들 중 가장 낮은 수준을 나타내었다. 반면에 탄산나트륨 용액에 의한 마 전분의 페이스팅 점도 프로파일과 특성치들은 다른 전분추출용액에 의한 것들보다 가장 높은 수준을 나타내었다. 이와 같은 현상은 아스코르브산 용액 보다 탄산나트륨 용액에 의한 마 전분이 상대적 결정도(Table 2)가 낮고, 팽윤력이 높기(Table 2) 때문인 것으로 생각된다. 한편 메타중아황산나트륨과 탄산수소나트륨 용액들에 의한 마 전분들의 페이스팅 점도 프로파일과 특성치들은 아스코르브산과 탄산나트륨 용액들에 의한 마 전분들의 사이에 있었다(Fig. 3과 Table 4). 탄산수소나트륨 용액에 의한 마 전분의 최고 점도(peak viscosity)는 메타중아황산나트륨 용액에 의한 것과 통계적으로 유의적인 차이를 보이지 않았다(Table 4). 그러나 최고 점도에 도달한 이후에는 메타중아황산나트륨 용액에 의한 마 전분의 페이스팅 점도 프로파일이 탄산수소나트륨 용액에 의한 것보다 항상 높은 수준을 나타내었다(Fig. 3).

한편 아스코르브산과 메타중아황산나트륨 용액들(산성 전분추출용액)에 의한 마 전분들은 조단백질과 아밀로오스 함량, 상대적 결정도, 팽윤력에 있어 통계적으로 유의적인 차이를 나타내지 않았으나(Table 1과 2) 페이스팅 점도 프로파일과 특성치들은 메타중아황산나트륨 용액에 의한 마 전분이 아스코르브산에 의한 것보다 유의적으로 높았다(Fig. 1과 Table 4). 유사하게 탄산수소나트륨과 탄산나트륨 용액들(염기성 전분추출용액)에 의한 마 전분들의 아밀로오스 함량, 상대적 결정도, 팽윤력은 통계적으로 유의적이지 않았지만(Table 1과 2) 페이스팅 점도 프로파일과 특성치들은 탄산나트륨 용액에 의한 마 전분이 탄산수소나트륨 용액에 의한 것보다 유의적으로 높았다(Fig. 1과 Table 4). 이와 같은 현상들은 본 연구에서 얻은 결과들로는 해석이 어렵지만 마 전분에 포함되어 있는 뮤신 잔류물의 영향 때문일 가능성이 있다. 서류전분들의 0.7% 미만의 적은 단백질 함량(Abegunde 등, 2013; Kim과 Kim, 2015)과 비교할 때, Table 1에 제시된 조단백질 함량은 마 전분들의 본원적 단백질과 뮤신 잔류물의 단백질로부터 유래되었을 가능성이 있다. 뮤신은 pH에 따라 응집 또는 겔화, 팽윤, 용해 등의 물리적 특성 변화를 통해 점도를 높이거나 낮추는 유변학적 특성을 나타낸다(Ma 등, 2017). 문헌상에서 Kumar 등(2018)은 농축 유청단백질과 유청락트알부민이 귀리전분의 페이스팅 점도를 낮춘다고 하였고, Qiu 등(2015)은 분리대두단백질이 옥수수 전분의 페이스팅 점도를 풍부하게 하며, 분리대두단백질이 열처리에 의해

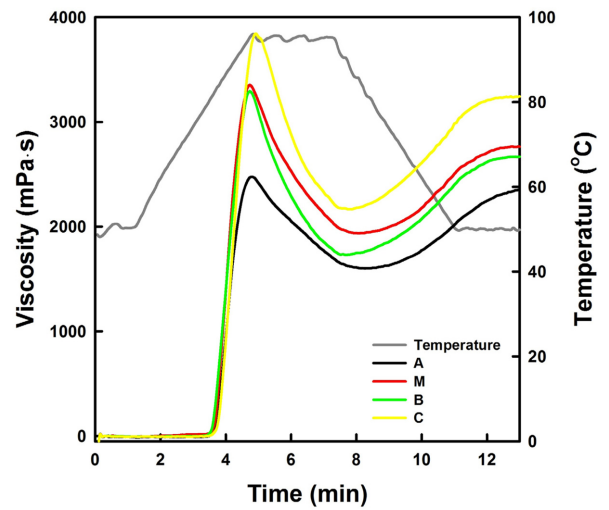


Fig. 3. Pasting viscosity profiles of Chinese yam starches separated using different starch extracting solution (A, ascorbic acid; M, sodium metabisulfite; B, sodium bicarbonate; C, sodium carbonate).

변성되었을 때 페이스팅 점도를 더욱 증가시킨다고 보고하였다. 따라서 본 연구에서 적용된 전분추출용액에 의해 어떤 방식으로 뮤신의 구조적, 물성적 특성을 변화시켰는지는 제시된 연구결과들에 기초하여 알 수는 없지만 뮤신 잔류물들이 마 전분의 페이스팅 점도 발달을 풍부하게 하거나 제한한 것으로 추측된다.

요 약

마로부터 전분의 추출조건을 확립하기 위해 아스코르브산, 메타중아황산나트륨, 탄산수소나트륨 및 탄산나트륨을 전분추출용액으로 하여 추출된 전분의 추출수율과 물리화학적 특성을 조사하였다. 증류수를 이용하여 마로부터 전분을 추출할 경우 추출수율은 본 연구에서 적용한 전분추출용액을 사용할 때의 약 30% 수준으로 매우 낮았으며, 전분추출과정 중 갈변현상의 발생으로 최종적인 마 전분이 회백색을 띄어 전분소재로 적합하지 않았다. 마 전분의 추출수율은 전분추출용액에 따라 통계적으로 유의성은 없었으나 탄산수소나트륨 용액을 사용한 경우 가장 높았으며, 아스코르브산 용액을 사용한 경우가 다음으로 높은 추출수율을 나타내었다. 마 전분들의 조단백질 함량은 대표적인 서류전분들에 비해 높은 수준이었으나 총 전분함량은 유사하거나 높아 전분소재로서 활용이 가능한 것으로 보인다. 겔보기 아밀로오스 함량은 산성 전분추출용액들에 의해 제조된 마 전분들이 염기성 전

분추출용액들에 의한 것보다 낮은 수준을 나타내었다. 마 전분의 입도분포와 평균입도는 전분추출용액에 따라 큰 차이를 나타내지 않았다. X선 회절패턴은 전형적인 C형 결정구조를 나타내었으며, 염기성 전분추출용액들을 사용한 경우 상대적 결정도는 감소하였다. 용해도는 전분추출용액에 따른 특정 경향을 나타내지 않았으나, 팽윤력은 산성에 비해 염기성 전분추출용액들을 사용하였을 때가 높았다. 마 전분들의 호화온도는 대체로 유사한 수준이었으나 호화엔탈피는 산성에 비해 염기성 전분추출용액들을 사용하였을 때 감소하였다. 페이스팅 점도는 탄산나트륨, 메타중아황산나트륨, 탄산수소나트륨, 아스코르브산 용액들에 의한 마 전분들의 순서로 증가하였다. 특히 마 전분들의 강하점도(breakdown viscosity)와 치반점도(setback viscosity)는 염기성 전분추출용액들을 사용하였을 때 증가하는 양상을 나타내었다. 전반적으로 아스코르브산 용액을 이용하여 제조된 마 전분은 추출수율이 상대적으로 높고, 총 전분 함량도 풍부하며, 온도프로파일에 따른 페이스팅 점도의 변동이 상대적으로 적다. 또한 본 연구에서 적용된 전분추출용액들에 비해 아스코르브산은 마 전분 내에 전분추출용액의 잔류에 대한 안전성 문제가 없다. 결과적으로 마로부터 마 전분의 추출을 위한 전분추출용액을 위해서는 아스코르브산을 사용하는 것이 적절한 것 같다.

감사의 글

본 연구는 농림축산식품부 고부가가치식품기술개발사업(과제번호 314041-3)에 의해 이루어진 것의 일부이며 이에 감사드립니다.

References

- AACC. Approved Method of the AACC. 10th ed. Methods 46-08 & 76-13. American Association of Cereal Chemists, St Paul, MN, USA (2000)
- 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)
- Chrastil J. Improved colorimetric determination of amylose in starches or flours. *Carbohydr. Res*. 159: 154-158 (1987)
- Chung HY. Carbohydrate analyses of Korean yam (*Dioscorea*) tubers. *Korean J. Food Sci. Technol*. 27: 36-40 (1995)
- Cheatham 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)
- Chen HL, Wang CH, Chang CT, Wang TC. Effects of Taiwanese yam (*Dioscorea japonica* Thunb var. *pseudojaponica* Yamamoto) on upper gut function and lipid metabolism in Balb/c mice. *Nutrition* 19: 646-651 (2003)
- Choi EM, Koo SJ, Hwang JK. Immune cell stimulating activity of mucopolysaccharide isolated from yam (*Dioscorea batatas*). *J. Ethnopharmacol*. 91: 1-6 (2004).
- Jang SM. Contents of nutritional ingredients and diosgenin in the tubers of different *Dioscorea* spp.. *Korean J. Food Nutr*. 22: 223-228 (2009)
- Korea Forest Service. Trends in the production amount of forest products. http://www.index.go.kr/potal/main/EachDtlPageDetail.do?idx_cd=1302. Accessed Jan. 15, 2018.
- Kumar L, Brennan M, Zheng H, Brennan C. The effects of dairy ingredients on the pasting, textural, rheological, freeze-thaw properties and swelling behaviour of oat starch. *Food Chem*. 245: 518-524 (2018)
- Kim EJ, Kim HS. Physicochemical properties of dehydrated potato parenchyma cells with ungelatinized and gelatinized starches. *Carbohydr. Polym*. 117: 845-852 (2015)
- Kim MJ, Kim HN, Kang KS, Baek NI, Kim DK, Kim YS, Kim SH, Jean BH. Methanol extract of *Dioscoreae Rhizoma* inhibits pro-inflammatory cytokines and mediators in the synoviocytes of rheumatoid arthritis. *Int. Immunopharmacol*. 4: 1489-1497 (2004)
- Kim WS, Kim SS, Park YK, Seog HM. Physicochemical properties of several Korean yam starches. *Korean J. Food Sci. Technol*. 23: 554-560 (1991)
- Kim JY, Lee YC, Kim YC, Kim YB, Choi HW. Research on processing properties of yam (*Disocorea batatas*) by drying methods and milling methods. *Food Eng. Prog*. 20: 307-313 (2016)
- Kim IH, Son HJ, Chung KM. Viscosity of yam suspension by drying methods and additives. *Korean J. Food Sci. Technol*. 38: 444-447 (2006)
- Lee BY, Kim HK. Quality properties of Korean yam by various drying methods. *Korean J. Food Sci. Technol*. 30: 877-882 (1998)
- Lee BY, Lee YC, Kim HM, Kim CJ, Park MH. Rheological properties of the gelatinized yam starch solution. *Korean J. Food Sci. Technol*. 24: 619-622 (1992)
- Lee DS, Park YM. Optimization of curing treatment and storage temperature of Chinese yam. *Kor. J. Hort. Sci. Technol*. 31: 289-298 (2013)
- McAnuff MA, Harding WW, Omoruyi FO, Jacobs H, Morrison EY, Asemota HN. Hypoglycemic effects of steroidal saponins isolated from Jamaican bitter yam, *Dioscorea polygonoides*. *Food Chem. Toxicol*. 43: 1667-1672 (2005)
- Ma F, Zhang Y, Liu N, Zhang J, Tan G, Kannan B, Liu X, Bell AE. Rheological properties of polysaccharides from *Dioscorea opposita* Thunb.. *Food Chem*. 227: 64-72 (2017)
- Onwueme IC. The tropical tuber crops: Yams, cassava, sweet potato and coco yam. John Wiley & Sons Inc., Somerset, NJ, USA. pp. 24-30 (1978)
- Palacios-Fonseca AJ, Castro-Rosas J, Gmez-Aldapa CA, Tovar-Bentez T, Milln-Malo BM, del Real A, Rodriguez-Garca ME. Effect of the alkaline and acid treatments on the physicochemical properties of corn starch. *CyTA-J. Food* 11: 67-74 (2013)
- Park YM, Lim JH, Jeong HJ, Seo EW. Protective effects of crude mucin and saponin from *Dioscorea rhizoma* on gastric ulcer induced by alcohol in rats. *J. Life Sci*. 24: 1200-1208 (2014)
- Prez OE, Haros M, Suarez C. Corn steeping: influence of time and lactic acid on isolation and thermal properties of starch. *J. Food Eng*. 48: 251-256 (2001)
- Qiu C, Li X, Ji N, Qin Y, Sun Q, Xiong L. Rheological properties and microstructure characterization of normal and waxy corn starch dry heated with soy protein isolate. *Food Hydrocolloid*. 48: 1-7 (2015)
- Shin JH, Kim SK, Kang DK, Park SZ. Effect of fertilizer and organic matter level on marketable tuber production in Chinese yam (*Dioscorea opposita*). *Korean J. Crop Sci*. 59: 144-150 (2014)
- Shujun W, Hongyan L, Wenyan G, Haixia C, Jiugao Y, Peigen X. Characterization of new starches separated from different Chinese yam (*Dioscorea opposita* Thunb.) cultivars. *Food Chem*. 99: 30-37 (2006a)
- Shujun W, Jinglin Y, Wenyan G, Hongyan L, Peigen X. New starches from traditional Chinese medicine (TCM)-Chinese yam (*Dioscorea opposita* Thunb.) cultivars. *Carbohydr. Res*. 341: 289-293 (2006b)
- Srichuwong S, Sunarti TC, Mishima T, Isono N, Hisamatsu M. Starches from different botanical sources II: Contribution of starch structure to swelling and pasting properties. *Carbohydr. Polym*. 62: 25-34 (2005)
- Sugimoto N, Yoshida N, Nakamura Y, Ichikawa H, Naito Y, Okanoue T, Yosikawa T. Influence of vitamin E on gastric mucosal injury induced by *Helicobacter pylori* infection. *Biofactors* 28: 9-19 (2006)
- Wang Y, Gao W, Li X. Carboxymethyl Chinese yam starch: Synthesis, characterization, and influence of reaction parameters. *Carbohydr. Res*. 344: 1764-1769 (2009)
- Wang S, Yu J, Yu J, Liu H. Granule structure of C-type Chinese yam (*Dioscorea opposita* Thunb var. *Zhongbowa*) starch by acid hydrolysis. *Food Hydrocolloid*. 22: 538-542 (2008)