

## 건식처리 구연산 유기농 쌀가루의 제조방법 및 특성

박재현 · 최광수 · 김창남<sup>1</sup> · 최성원<sup>2</sup> · 최현욱<sup>3</sup> · 김병용 · 백무열\*

경희대학교 생명자원과학연구원 식품생명공학과

<sup>1</sup>해전대학교 호텔제과제빵학과, <sup>2</sup>오산대학교 호텔조리계열, <sup>3</sup>한국식품연구원

### Preparation and Characterization of Dry-processed Citrated Organic Rice Flour

Jae-Hyun Park, Gwang-Su Choi, Chang-Nam Kim<sup>1</sup>, Sung-Won Choi<sup>2</sup>,  
Hyun-Wook Choi<sup>3</sup>, Byung-Yong Kim, and Moo-Yeol Baik\*

*Department of Food Science and Biotechnology, Institute of Life Science and Resources, Kyung Hee University*

<sup>1</sup>*Department of Hotel Baking Technology, Hyejeon College*

<sup>2</sup>*Department of Food and Culinary Arts, Osan University*

<sup>3</sup>*Korea Food Research Institute*

#### Abstract

Although rice production gradually increased in Korea, rice consumption has been significantly reduced during the last decade. To increase rice consumption, it is necessary to develop a wide range of rice-processed foods and functional rice materials. In association with digestion in rice-functional materials, people are interested in resistant starch (RS). The purpose of this study was to develop the citrated organic rice flour by dry process with different treatments and to investigate its physicochemical properties. Citric acid (0, 20, 30, 40% dry basis) was mixed with organic rice flour and reacted at 105°C and 150°C for 5 h. The degree of substitution increased with increasing citric acid concentration and reaction temperature. In DSC, when reacted at 105°C, onset temperature gradually decreased with increasing citric acid concentration but no DSC thermal characteristics were observed when reacted at 150°C. Relative crystallinity determined by XRD did not greatly change at 105°C but dramatically decreased at 150°C. As citric acid concentration and reaction temperature increased, rapidly digestible starch, slowly digestible starch, and total starch decreased but RS significantly increased. Therefore, RS content in organic rice flour increased with dry-processed citric acid treatment and this could be applicable to produce functional foods for diabetes.

**Key words** : organic rice flour, dry-processing, citrate rice flour, physicochemical properties

## 서 론

국내 쌀 소비는 국가의 식량안보와 밀접한 관계가 있다. 그런데 최근 국내 쌀 생산량에 비하여 소비량은 크게 줄어들고 있는 추세이다. 생산량은 시기별로 등락이 있으나, 소비량은 지난 10년간 20% 이상 감소하였다(National statistical office, 2015). 이런 쌀 소비량 감소의 영향으로 정부에서는 불어나는 재고미를 처리하는데 어려움을 겪고 있는 실정이다. 우리나라 곡물 자급률은 20% 대로 낮고 해외 의존도는 80%에 육박할 정도로 굉장히 높다(National

statistical office, 2015). 이는 국민의 식생활 고급화에 따른 다양한 종류의 식품에 대한 수요와 기능성 식품의 선호도가 급증하고 있는 것에서 그 이유를 찾을 수 있다. 세계 3대 식량자원의 하나인 쌀은 우리나라에서는 대부분 쌀이나 떡의 형태로만 소비하며, 분말형태로 일부 사용되고 있을 뿐, 소비자들의 식생활 수준에 발맞추어 개발되지 못하고 있는 상황이다(Li & Yeh, 2001).

세계적으로 유기농 식품 시장은 매년 20-30% 가량 지속 성장을 유지하고 있고, 이제는 세계시장을 형성할 만큼 수요가 증가하고 있다고 한다. 특히 아시아 지역의 유기농 현황의 특성 상 생산과 소비의 차원이 분리되어 있다는 점이 있는데, 아시아에서는 한국, 일본, 대만, 홍콩 등을 중심으로 소비가 발생하는 반면, 소비의 대상인 유기농 식음료의 대부분은 호주, 유럽, 미국에서 수입하고 있다는 것이다(Kim & Lee, 2013). 우리나라의 유기농산물 생산은 2000년 이후 매년 40-50% 가량 증가하고 있는 배경을 가지고

\*Corresponding author: Moo-Yeol Baik, Department of Food Science and Biotechnology, Institute of Life Science and Resources, Kyung Hee University, Yongin, Gyeonggi-do 17104, Korea  
Tel: +82-31-201-2625; Fax: +82-31-204-8116  
E-mail: mooyeol@khu.ac.kr  
Received October 13, 2016; revised October 26, 2016; accepted November 7, 2016

있음에도 불구하고 유기농 식품의 해외 수입이 지속되고 있는 것에 대하여, 장기적으로도 유기농 쌀가루의 활용은 쌀의 소비 진작과 유기농 식품의 해외 의존도를 낮출 수 있는 기회와 아시아의 쌀 식품 시장을 선도 할 수 있는 기회를 가지고 있을 것이다.

우리나라 쌀의 품질 특성을 이해하기 위한 연구의 일환으로써 쌀가루 혹은 쌀전분을 대상으로 한 이화학적 특성에 대한 연구나 가공특성에 대한 연구는 많이 보고된 바 있다(Williams et al., 1958; Park et al., 1988; Lee et al., 1989; Kum et al., 1995; Son et al., 1997). 하지만 전처리나 변성 등을 통해 새로운 기능성을 갖는 쌀가루, 특히 유기농 쌀가루에 대한 연구는 보고된 사례가 많지 않다. 따라서 유기농 쌀의 소비량을 늘리고 시장을 선도하기 위해서 소비자의 수요에 따른 다양한 유기농 쌀 가공식품을 개발하고 기능성을 부여 할 필요가 있다. 또한 전 세계적으로 건강에 대한 관심이 높아지고 이에 따라 저칼로리 식품에 대한 소비자의 요구가 높아지고 있다. 칼로리가 낮은 소재를 통해 소비자에게 포만감을 제공하면서도 섭취하는 칼로리는 낮고 식품의 품질을 유지 할 수 있는 소재를 얻을 수 있다면 소비자의 수요를 충족시킬 수 있을 것이다(Mun & Shin, 2002; Tie et al., 2007).

일반적으로 전분은 탄수화물로서의 인류의 주된 에너지 공급원이다. 소화특성으로만 구분 했을 때 전분은 정상적으로 소화가 되는 전분과 정상적으로 소화가 되지 않는 저항전분으로 구분한다. 이렇게 전분을 소화 특성에 따라 분류를 하면 크게 3가지로 구분할 수 있는데, 빠르게 소화가 되는 전분(rapidly digestible starch), 느리게 소화가 되는 전분(slowly digestible starch), 소화가 되지 않는 전분(resistant starch)으로 구분 할 수 있다(Sajilata et al., 2006). 즉, 정상적인 형태로 소화가 되지 않는 전분을 저항전분이라고 하며, 이는 학술적으로 1980-1990년대 이후에 식품 또는 전분의 소재로서 인식되기 시작하였다(Englyst et al., 1982; Englyst et al., 1992). 저항전분은 위와 소장 등 소화기관에서 소화가 되지 않고 대장에서 발효가 되기 때문에 식이섬유와 유사한 생리적 기능을 가지는 특징을 띠고 있다고 한다(Thrompson, 2000). 또한 식품가공의 특성상 저항전분을 사용하여 제조한 가공식품은 저칼로리 식품소재로써 각광을 받아왔던 식이섬유를 사용한 가공식품보다 품질이 떨어지지 않는 것을 넘어 오히려 뛰어난 질감을 제공한다고 하였다(Lin et al., 1994; Charalampopoulos et al., 2002). 심지어 생리활성 특성 연구를 통해서, 저항전분을 함유하고 있는 식품을 섭취 시 식이섬유를 포함하고 있는 식품 섭취와 비교했을 때 총 콜레스테롤 함량은 비슷하지만, 저항전분이 첨가된 식품을 섭취한 경우 HDL-콜레스테롤의 비중이 보다 높게 나타난다고 하였다(Oh et al., 2002). 따라서 본 연구에서는 유기농 쌀의 활용성 증가와 기능성 부여를 위하여 유기농 쌀가루의 저항전분 함량을

증가시키기 위한 방법으로써 산처리 전분이 저항전분의 함량을 증가 시켰다는 보고들(Lee et al., 1997; Van Hung et al., 2016)을 바탕으로 유기농 쌀에 산 처리를 하였다. 즉, 관능적인 면과 경제적인 면에서 사용이 적합한 무수구연산을 건식으로 처리함으로써 산 처리를 한 유기농 쌀가루를 제조하고 이들의 물리화학적 특성을 연구하였다.

## 재료 및 방법

### 실험재료

본 연구에서는 경기도 오성친환경 영농조합법인에서 2014년 생산 및 도정하여 미듬영농조합법인(Pyeongtaek, South Korea)에서 판매하는 보람찬 품종의 유기농 쌀가루를 사용하였다. 유기농 쌀을 8시간 동안 침치시켜두었다가 습식으로 분쇄하여 쌀가루로 만든 후 냉동실(-20°C)에 보관하면서 실험에 사용하였다.

### 건식 무수구연산 처리를 한 쌀가루의 제조

건식으로 무수구연산 처리를 한 쌀가루를 제조하기 위해 쌀가루 100 g (wet basis, w.b)에 쌀가루의 건조 중량 기준 각각 20%, 30%, 40%의 무수구연산을 증류수 50 mL에 용해시키고, 10 M NaOH 를 이용해 pH를 3.5로 조정하여 만든 수용액을 가하여 5분간 반죽을 하였다. 유기농 쌀가루와 무수구연산의 반응을 위해 12시간 동안 상온 보관한 뒤, 40°C의 열풍건조기에서 12시간 동안 건조하였다. 건조 후 2분간 분쇄한 후 105°C 및 150°C에서 5시간 동안 열풍 건조기를 사용하여 건식으로 반응시켰다. 반응이 완료된 후 50%의 에탄올 수용액으로 세척하고 3,000 rpm으로 4°C에서 10분간 원심분리를 하였다. 이 세척을 3번 반복한 뒤 마지막으로 95% 에탄올 수용액으로 세척을 하고 같은 조건으로 원심분리를 한 뒤 40°C의 열풍건조기에서 12시간 동안 건조시킨 후 분쇄를 하고 60 mesh 체로 쳐서 시료를 제조하였다.

### 치환도

건식반응을 통해 구연산이 수식된 유기농 쌀가루의 치환도는 Kweon et al. (2001)의 방법에 따라 분석하였다. 건량 기준의 5.0 g의 시료를 50 mL의 증류수에 충분히 분산시킨 후 지시약인 1% 페놀프탈레인 수용액 (w/w)를 첨가하였다. 2.5 M NaOH 25 mL를 넣고 시료가 붉은 색을 띠는 것을 확인 한 후 60분간 교반하였다. 위와 같이 처리한 후 붉은 색상이 사라져 투명해 질 때까지 0.5 M HCl로 적정하였다. 치환도는 아래의 식을 이용하여 계산하였다.

$$A(\%) = \frac{(V_0 - V_1) \times M \times 0.158 \times 100}{W}$$

$$DS = \frac{162 \times 2}{15,800 - 156 \times 4}$$

위 식에서 A는 citric acid substitution (%), M은 HCl 수용액의 표준 몰농도, W는 시료의 무게, 158은 citric acid의 분자량, 162는 무수포도당의 분자량, DS는 치환도를 나타낸다.

#### 입자의 형태 관찰

무수구연산의 농도와 반응 온도 조건 별로 처리한 유기농 쌀가루 입자의 크기와 형태를 수용액 상태에서 관찰하기 위해 광학현미경 (BX40, OLYMPUS, Tokyo, Japan)을 사용하였다. 또한 광학현미경에 편광렌즈를 장착하여 시료의 복굴절성을 관찰하였다.

또한 이들 시료의 건조한 상태에서의 세부 형태를 확인하기 위하여 전계방출주사전자현미경 (FE-SEM; LEO SUPRA 55, GENESIS 2000, Carl Zeiss, Oberkochen, Germany)을 사용하여 3 kV에서 working distance는 5.6-5.9 mm로 하여 10,000배의 배율로 관찰하였다.

#### 팽윤력 및 용해도

건식반응을 통해 구연산이 수식된 유기농 쌀가루 시료의 팽윤력과 용해도는 Schoch (1964)의 방법을 변형하여 측정하였다. 전분 0.5 g을 30 mL의 증류수에 분산시켜 90°C에서 30분간 가열하고 실온에서 냉각시켜 4°C에서 3000 rpm으로 1시간 동안 원심분리를 하였다. 상등액은 105°C에서 완전히 건조시켜 가용성 고형분의 무게를 측정하였고 침전물은 그대로 무게를 측정하여 아래의 식을 통해 팽윤력과 용해도를 계산하였다.

$$\text{Solubility (\%)} = \frac{\text{Weight of soluble sample (d.b)} \times 100}{\text{Weight of sample (d.b)}}$$

#### Swelling powre

$$= \frac{\text{Weight of precipitates (d.b)} \times 100}{\text{Weight of sample (d.b)} \times (100 - \text{solubility})}$$

#### 열적특성

건식반응을 통해 구연산이 수식된 유기농 쌀가루의 열적 특성은 시차주사열량계(DSC 4000, Perkin Elmer, Waltham, MA, USA)를 이용하여 측정하였다. 수분함량 75%로 제조한 시료를 습량기준 10 mg 내외로 aluminum pan에 담아 상온에서 1시간 이상 안정화 시킨 뒤 20°C에서 120°C까지 5°C/min의 속도로 가열하여 얻은 DSC thermogram으로부터 호화개시온도( $T_0$ : onset temperature), 최대호화온도( $T_p$ : peak temperature), 호화종결온도( $T_c$ : conclusion temperature)와 호화엔탈피( $\Delta H$ : crystal melting enthalpy)를 계산하였다.

#### X선 회절 분석

X선 회절도는 X-ray diffractometer (D8 Advance, Bruker,

Östliche Rheinbrückenstr, Germany)를 사용하여 40 kV, 40 mA, 회절각도( $2\theta$ ) 5-40° 범위에서, 회절속도는 6°/min의 조건으로 X-ray diffractogram을 측정하였으며, Nara & Komiya (1983)의 방법을 이용해 아래와 같이 상대결정화도를 계산하였다.

$$\text{Relative crystallinity (\%)} = \frac{A_c}{A_a + A_c} \times 100$$

위 식에서  $A_a$ 와  $A_c$ 는 각각 X-ray diffractogram의 amorphous area와 crystalline area의 면적을 나타낸다.

#### Pasting 특성

건식반응을 통해 구연산이 수식된 유기농 쌀가루의 페이스팅 특성을 신속점도측정기(Rapid Visco Analyzer, RVA-Super4, Newport scientific Pty. LTD., New South Wales, Australia)를 이용하여 Lee et al. (2004)의 방법으로 측정하였다. 전체 중량을 28 g으로 만들 때, 시료의 건조 중량이 시료와 증류수의 총 중량 대비 14%가 되게끔 aluminum canister에 넣어 교반하여 제조하였다. 측정온도는 1분간 50°C를 유지하다가 95°C까지 12°C/min의 속도로 가열하고, 95°C에서 2분 30초간 온도를 유지시켜준 뒤 12°C/min의 속도로 냉각을 시키고 최종적으로 50°C에서 2분간 유지를 시켜 총 13분간의 측정시간을 거쳐 호화온도, 호화시간, 최고점도, holding strength, breakdown, setback 및 최종점도 값을 측정하였다.

#### 효소저항전분

건식반응을 통해 구연산이 수식된 유기농 쌀가루의 효소저항전분(RS) 함량과 신속소화성 전분분획(RDS) 함량 및 지소화성 전분분획(SDS) 함량을 측정하기 위하여, AOAC method 2002.02와 Resistant Starch Assay Kit (Megazyme International Ireland, Wicklow, Ireland)를 사용하였다. 각 조건별 샘플 100 mg을 원심분리관에 담고 amyloglucosidase (3 U/mL)를 넣은 pancreatic  $\alpha$ -amylase (10 mg/mL) 4 mL를 원심분리관에 함께 첨가하여 RDS, SDS, RS를 구하기 위하여 각각 20분, 2시간, 16시간 동안 37°C 항온수조에서 반응시켰다(McCleary & Monaghan, 2002). 효소반응을 마친 후 무수에탄올 4 mL를 가하여 반응을 종결시키고 3000 rpm, 4°C의 조건으로 10분간 원심분리하고 상등액을 부피플라스크에 담았다. 침전물은 다시 50% 에탄올 수용액으로 세척 후 같은 조건으로 원심분리를 하였고 다시 상등액을 앞서 사용한 부피플라스크에 담았다. 이 세척 과정을 1회 더 반복하였다.

이 상등액을 담아둔 부피 플라스크에 100 mM sodium acetate buffer (pH 4.5)를 가하여 100 mL로 정용하고, 이 용액 0.1 mL를 취하여 유리시험관에 넣고 희석된 amyloglucosidase 용액(300 U/mL)을 넣은 100 mM의 sodium maleate

buffer (pH 6.0) 10  $\mu$ L을 함께 첨가하여 50°C의 항온욕조에서 20분간 반응시켰다. 마지막으로 GOPOD reagent를 3 mL 첨가하여 50°C의 항온욕조에서 20분간 반응시켜 발색시킨 후 분광광도계(DU730, Beckman Coulter, Brea, CA, USA)를 이용하여 510 nm의 파장에서 흡광도를 측정하였다. 이렇게 측정된 흡광도를 이용하여 RDS, SDS, 비효소저항전분(Non-RS) 함량을 구하였다.

위의 과정 중 에탄올 세척을 마치고 남은 침전물 중 16 시간 동안 효소반응을 시킨 시료에 대해서 2 M KOH를 2 mL 가하여 차가운 얼음물에 담구어 교반하면서 20분 뒤에 1.2 M sodium acetate buffer (pH 3.8) 8 mL를 넣고, 즉시 0.1 mL의 amyloglucosidase (3,300 U/mL)를 가하였다. 그리고 적당히 시간이 흐른 뒤 50°C의 항온욕조에 30분간 넣어두고 5분에 한번씩 vortex mixer로 교반하여 주었다. 추정되는 RS 함량에 따라서 10% 이상일 경우 100 mL 부피플라스크에 증류수로 정용하여 0.1 mL를 취하고, 10% 이하일 경우 바로 0.1 mL를 취하여 GOPOD reagent를 3 mL 넣어 50°C의 항온욕조에서 20분간 발색시킨 뒤 510 nm 파장의 흡광도를 측정하여 RS 함량을 구하였다. 또한 위에서 구한 RS와 Non-RS 함량을 통해 total starch 함량을 구하였다.

### 통계분석

수행한 모든 실험은 3회 이상 반복 측정을 한 결과 값을 바탕으로 SAS (version 9.1.3, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA) 통계 프로그램을 이용하여 5% 유의 수준에서 Duncan's multiple range test로 평균 값 간의 다중비교를 실시하였다.

## 결과 및 고찰

### 치환도

건식반응을 통해 구연산이 수식된 한 유기농 쌀가루의 치환도를 Table 1에 나타내었다. 아무 처리를 하지 않은

유기농 쌀가루와 열처리만을 한 쌀가루는 구연산과 결합한 부분이 전혀 없기 때문에 citric acid substitution과 치환도 모두 값이 나오지 않았고, 105°C에서 무수구연산의 양이 20%에서 40%로 증가함에 따라서, citric acid substitution은 12.85%에서 21.81%까지 증가하였고, 치환도는 0.1509에서 0.2853까지 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 또한 150°C에서 무수구연산을 반응시킨 유기농 쌀가루에 대해서는 무수구연산이 20%에서 40%까지 증가함에 따라 citric acid substitution은 14.05%에서 24.94%까지 증가하였고, 치환도는 0.1672에서 0.3395까지 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 전분입자에서의 치환 및 가교반응은 무정형 영역에서 더 쉽고 활발히 일어나는데 그 이유는 치환 또는 가교반응물질이 무정형 영역으로 접근 및 반응하기가 더 쉽기 때문이라고 한 Xia et al. (2016)의 보고 내용과 같이 무수구연산을 처리함에 따라 치환도가 높아지는 것은 가열에 의하여 일부 결정형 영역이 파괴되고 무정형 영역이 증가하여 발생한 효과 때문으로 보인다. 또한 본 연구에서 사용한 시료는 쌀전분이 아니라 쌀가루로 쌀가루에는 단백질이 존재하고 구연산은 전분분자보다 단백질과 아미드 결합이 더 잘 일어난다. 결과적으로 구연산에 의한 치환 또는 가교반응은 전분과 함께 쌀가루에 존재하는 일부 단백질과도 이루어진 것으로 보이며, 치환도는 사용된 구연산 농도에 비례하는 것으로 나타났다.

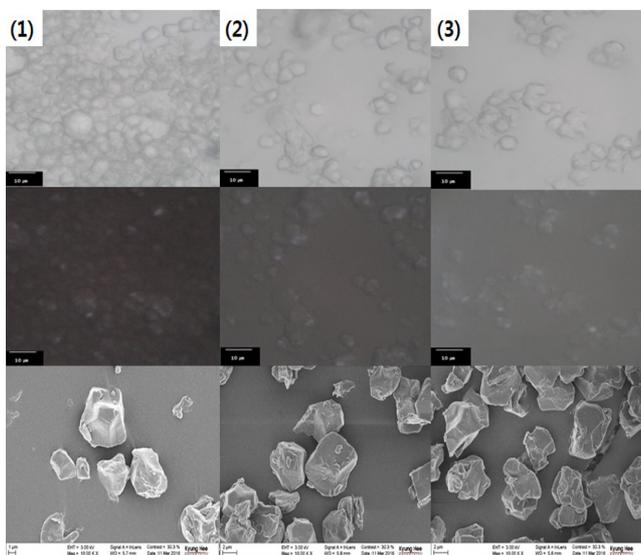
### 형태관찰

아무 처리를 하지 않은 유기농 쌀가루와 105°C, 150°C에서 각각 열처리만을 해준 시료의 광학현미경, 편광현미경, 전계방출주사전자현미경 사진을 Fig. 1에 나타내었다. 그리고 105°C, 150°C에서 유기농 쌀가루의 건량 기준 중량 대비 20%, 30%, 40%의 무수구연산을 반응시킨 시료들의 광학현미경, 편광현미경, 전계방출주사전자현미경 사진을 각각 Fig. 2와 3에 나타내었다. 열처리만을 한 시료의 경우 열처리의 온도가 상승하더라도 입자의 형태나 크기에는 영향을 주지 않는다는 것을 확인할 수 있었다(Fig. 1).

Table 1. Citric acid substitution (%) and degree of substitution (DS) of dry-processed citrate organic rice flour

Sample	Reacting temperature (°C)	Citric acid concentration (%)	Citric acid substitution (%)	Degree of substitution
1	–	–	–	–
2	105	–	–	–
3	105	20	12.85±0.09 <sup>ab</sup>	0.1509±0.0013 <sup>c</sup>
4	105	30	16.48±0.25 <sup>d</sup>	0.2018±0.0037 <sup>d</sup>
5	105	40	21.81±1.35 <sup>b</sup>	0.2853±0.0224 <sup>b</sup>
6	150	–	–	–
7	150	20	14.05±0.01 <sup>c</sup>	0.1672±0.0001 <sup>c</sup>
8	150	30	18.55±0.87 <sup>c</sup>	0.2330±0.0133 <sup>c</sup>
9	150	40	24.94±1.19 <sup>a</sup>	0.3395±0.0217 <sup>a</sup>

\*Means with the same letter are not significantly different ( $p < 0.05$ ).

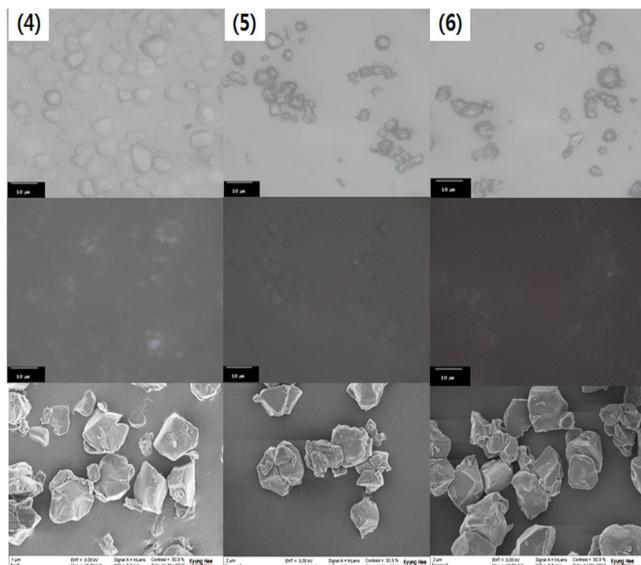


**Fig. 1.** Light microscope (top row), polarized microscope (middle row), and FE-SEM (bottom row) images of dry-processed citrate organic rice flour (scale bar = 10 µm). (1) column; raw organic rice flour, (2) column; heat treatment (105°C), (3) column; heat treatment (150°C).

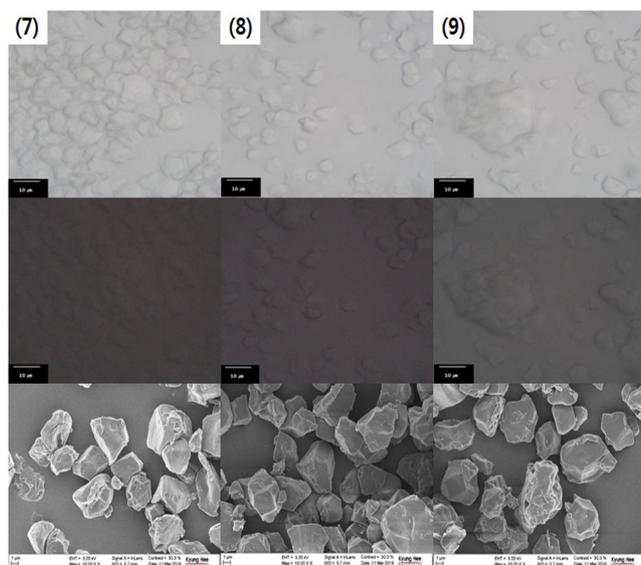
이는 heat moisture treatment (HMT)를 거친 각종 종류의 전분들이 입자와 형태에 있어서 변화를 겪지 않는다는 보고(Hoover & Manuel, 1996; Gunaratne & Hoover, 2002; Adebowale et al., 2005; Lawal, 2005)와 일치한다. 또한 열처리의 온도가 상승함에 따른 편광현미경 사진으로 확인한 복굴절성이 점점 줄어든다는 것을 확인 할 수 있었다. 이는 유기농 쌀가루 내의 쌀 전분 결정의 부분적인 용융에 의한 현상으로 보이며, 건조를 시킨 후에 열처리를 해주어도 높은 온도에서는 일부 쌀 전분 결정의 부분적인 용융이 발생한다고 판단 할 수 있다. 또한 전계방출주사전자현미경 사진을 통해 온도처리에 따른 입자표면의 변화는 거의 관측되지 않았다는 것을 확인할 수 있었다.

105°C로 열처리 했을 때의 광학현미경 사진에서 무수구연산의 함량이 높아지면 높아질수록 유기농 쌀가루의 입자들이 형태의 차이는 크지 않으나 입자들이 뭉치거나 배열이 불규칙하게 변화하는 현상을 관측 할 수 있었다(Fig. 2). 그리고 주사전자현미경을 통해 구연산의 양이 증가함에 따라서 입자표면의 거칠기가 거칠어진다는 것을 확인 할 수 있었고, 편광현미경을 통해서도 구연산의 처리량이 증가함에 따라서 복굴절성이 크게 줄어든다는 것을 확인 할 수 있었다(Fig. 2).

150°C에서 각 농도별로 무수구연산을 처리한 유기농 쌀가루 시료의 경우에도 105°C에서 무수구연산의 농도별로 처리한 유기농 쌀가루의 시료와 같이 광학현미경 관찰을 했을 때 형태적인 차이는 크지 않았으나 입자가 뭉치거나, 입자의 배열형태가 불규칙해지는 현상을 볼 수 있었다(Fig. 3). 또한 주사전자현미경을 관찰을 통해 입자 표면의 거칠



**Fig. 2.** Light microscope (top row), polarized microscope (middle row), and FE-SEM (bottom row) images of dry-processed citrate organic rice flour (scale bar = 10 µm). (4) column; heat treatment (105°C) with anhydrous citric acid (20%), (5) column; heat treatment (105°C) with anhydrous citric acid (30%), (6) column; heat treatment (105°C) with anhydrous citric acid (40%).



**Fig. 3.** Light microscope (top row), polarized microscope (middle row), and FE-SEM (bottom row) images of dry-processed citrate organic rice flour (scale bar = 10 µm). (7) column; heat treatment (150°C) with anhydrous citric acid (20%), (8) column; heat treatment (150°C) with anhydrous citric acid (30%), (9) column; heat treatment (150°C) with anhydrous citric acid (40%).

기가 증가하는 것을 확인 할 수 있었고, 편광현미경을 통해 150°C에서는 구연산의 함량이 낮을 때부터 거의 복굴절성을 띄지 않는 것을 확인 할 수 있었다(Fig. 3).

무수구연산과 전분을 가열하여 반응시켰을 경우에 일반

**Table 2. Swelling power and solubility of dry-processed citrate organic rice flour**

Sample	Reacting temperature (°C)	Citric acid concentration (%)	Solubility (%)	Swelling power (g/g)
1	–	–	19.23±1.63 <sup>a*</sup>	18.77±0.87 <sup>a</sup>
2	105	–	16.52±0.95 <sup>b</sup>	14.57±0.20 <sup>b</sup>
3	105	20	6.70±0.26 <sup>f</sup>	7.36±0.18 <sup>d</sup>
4	105	30	8.25±0.24 <sup>c</sup>	7.24±0.07 <sup>d</sup>
5	105	40	9.61±0.20 <sup>d</sup>	7.09±0.14 <sup>d</sup>
6	150	–	13.40±0.73 <sup>c</sup>	9.06±0.20 <sup>c</sup>
7	150	20	3.85±0.04 <sup>h</sup>	4.73±0.07 <sup>e</sup>
8	150	30	5.07±0.08 <sup>e</sup>	4.55±0.07 <sup>e</sup>
9	150	40	6.34±0.09 <sup>f</sup>	3.98±0.06 <sup>e</sup>

\*Means with the same letter are not significantly different ( $p < 0.05$ ).

적으로 입자의 형태가 변화한다고 보고하였는데, 이는 반응시간 동안 열에 의하여 전분의 호화가 발생하여 입자 구조가 파괴됨으로 인한 현상이라고 보고 된 바가 있다(Lee et al., 2011) 그러나 본 연구에서는 입자의 배열에는 일부 영향을 준 것으로 보이거나 입자의 크기와 형태는 크게 변하지 않은 것을 확인 할 수 있었는데, 이는 수분을 제한하여 건식으로 반응을 시켰기 때문인 것으로 생각된다.

#### 팽윤력과 용해도

건식반응을 통해 구연산이 수식된 유기농 쌀가루의 팽윤력과 용해도를 Table 2에 나타내었다. 아무 처리를 거치지 않은 유기농 쌀가루의 용해도는 평균적으로 19.23%를 팽윤력은 18.77로 확인되었다. 열처리만을 했을 경우 105°C 및 150°C에 대하여 열처리의 온도조건이 높을수록 용해도와 팽윤력 모두 감소하는 것을 확인 할 수 있었다. 따라서 열처리가 유기농 쌀가루의 팽윤력 및 용해도에 큰 영향을 준다는 것을 확인 할 수 있었다.

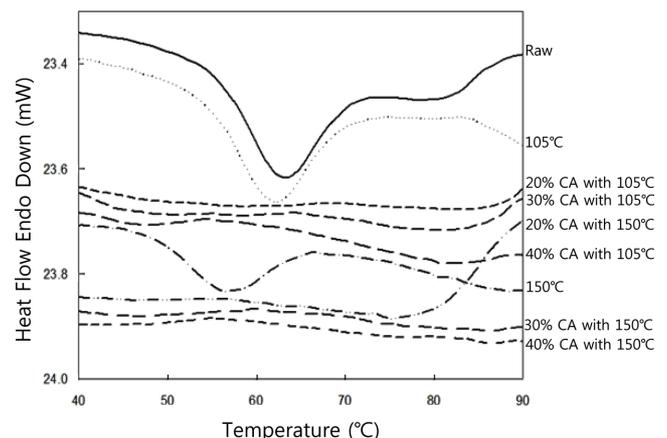
한편 105°C에서 무수구연산과 건식반응 시킨 유기농 쌀가루의 경우 무수구연산의 함량 20%에서 40%까지 증가함에 따라 용해도는 6.70%에서 9.61%까지 증가하였고, 팽윤력은 통계 처리 시에 유의한 차이를 보이지는 않지만 7.36에서 7.09로 감소하는 경향을 보여주었다. 마찬가지로 150°C에서 무수구연산과 건식반응 시킨 유기농 쌀가루의 경우 105°C에서 반응시킨 유기농쌀가루와 같은 경향이 나타났다. 무수구연산의 함량이 20%에서 40%로 증가함에 따라 용해도는 3.85%에서 6.34%까지 증가를 하였고, 팽윤력은 또한 통계적으로 유의차를 나타내지는 않으나 4.73에서 3.98로 감소하는 경향을 확인 할 수 있었다. 즉, 같은 온도조건 내에서 유기농 쌀가루의 건량기준 중량 대비 무수구연산의 함량에 따라, 함량이 높아질 수록 용해도는 증가하는 것을 확인 할 수 있었고, 유의한 차이가 통계처리 상으로는 드러나지 않으나 팽윤력이 약간 감소하는 것을 확인 할 수 있었다. 따라서 용해도와 달리 팽윤력은 무수구연산과 건식반응시켰을 경우 무수구연산에 의한 영향이

크지 않다는 것을 확인 할 수 있었다.

#### 열적 특성

건식반응을 통해 구연산이 수식된 유기농 쌀가루의 열적 특성에 대한 DSC thermogram을 Fig. 4에 나타내었고, 그 특성 값들을 Table 3에 나타내었다. Fig. 4에서 볼 수 있듯이 아무 처리를 하지 않은 유기농 쌀가루와 열처리만을 한 쌀가루는 호화피크를 확인 할 수 있는 반면 무수구연산과 열처리를 병행한 쌀가루는 105°C에서 반응시킨 경우 완만한 피크를 확인 할 수 있었고, 150°C에서 반응시킨 경우에는 피크를 확인 할 수 없었다. 무수구연산 없이 열처리만 했을 때, 처리온도가 증가함에 따라 호화개시온도는 55.02°C에서 49.38°C으로, 최대호화온도는 63.02°C에서 56.22°C으로, 호화종결온도는 70.23°C에서 63.80°C, 호화엔탈피 값은 2.29 J/g에서 0.83 J/g으로 감소하는 것을 확인 할 수 있었다(Table 3).

또한 105°C에서 무수구연산을 반응시킨 유기농 쌀가루에 첨가한 무수구연산의 양이 20%에서 40%로 증가 할수록 호화개시온도는 41.48°C에서 39.66°C으로, 최대호화온도는



**Fig. 4. DSC thermograms of dry-processed citrate organic rice flour.**

**Table 3. DSC thermal characteristics of dry-processed citrate organic rice flour**

Sample	Reacting temperature (°C)	Citric acid concentration (%)	Onset temperature ( $T_{os}$ , °C)	Peak temperature ( $T_p$ , °C)	Conclusion temperature ( $T_c$ , °C)	Enthalpy ( $\Delta H_G$ , J/g sample)
1	—	—	55.02±0.63 <sup>a*</sup>	63.02±0.34 <sup>a</sup>	70.23±0.21 <sup>a</sup>	2.29±0.26 <sup>a</sup>
2	105	—	53.64±0.97 <sup>a</sup>	61.40±0.58 <sup>b</sup>	68.58±0.73 <sup>b</sup>	2.05±0.12 <sup>b</sup>
3	105	20	41.48±2.87 <sup>c</sup>	50.38±0.93 <sup>d</sup>	64.19±1.52 <sup>c</sup>	1.01±0.08 <sup>c</sup>
4	105	30	39.66±0.60 <sup>d</sup>	47.70±0.56 <sup>c</sup>	61.61±1.79 <sup>d</sup>	0.48±0.09 <sup>d</sup>
5	105	40	41.33±0.93 <sup>c</sup>	47.56±0.14 <sup>c</sup>	55.02±1.10 <sup>c</sup>	0.21±0.07 <sup>c</sup>
6	150	—	49.38±0.83 <sup>b</sup>	56.22±0.10 <sup>c</sup>	63.80±0.01 <sup>c</sup>	0.83±0.09 <sup>c</sup>
7	150	20	—	—	—	—
8	150	30	—	—	—	—
9	150	40	—	—	—	—

\*Means with the same letter are not significantly different ( $p < 0.05$ ).

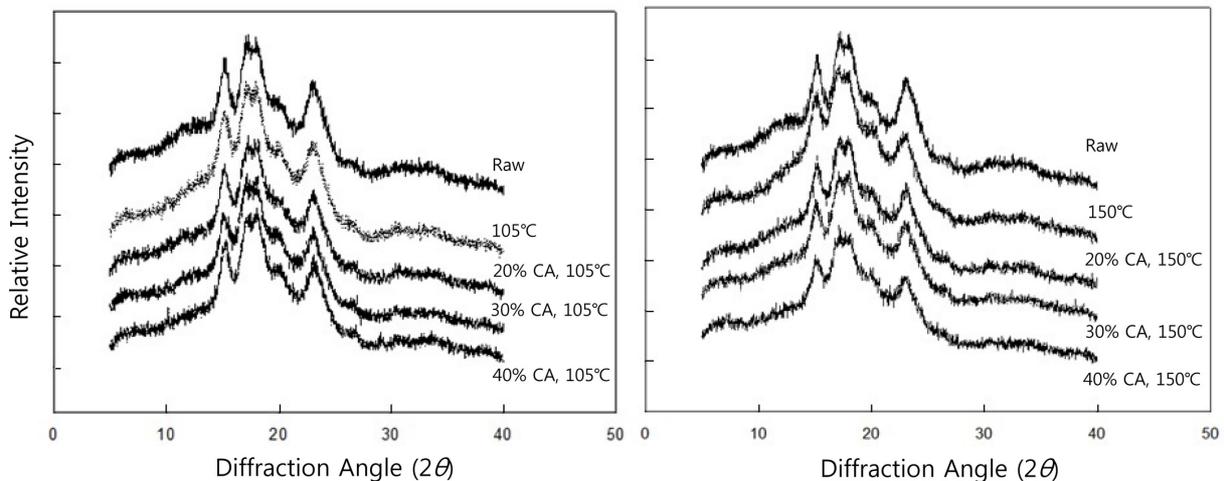
50.38°C에서 47.56°C으로, 호화종결온도는 64.19°C에서 55.02°C으로, 호화엔탈피 값은 1.01 J/g에서 0.21 J/g으로 감소하는 것을 확인 할 수 있었다. 반면 150°C에서 무수구연산을 반응시킨 유기농 쌀가루의 경우 호화피크를 확인할 수 없었다. 따라서 열처리만을 했을 경우에는 수분이 없는 상태일지라도 열처리의 정도에 따라서 부분적인 호화가 발생했음을 알 수 있었고, 또한 일정한 온도에서 무수구연산 농도가 증가할수록 부분적인 호화가 발생했음을 확인할 수 있었다.

**X-선 회절도**

건식 무수구연산 처리를 한 유기농 쌀가루의 X-선 회절도를 Fig. 5에 나타내었다. 모든 시료들은 회절 각도(2θ) 15°에서 1개의 peak, 17°에서 2개의 peak을 보이고, 23°에서 다시 한 번 peak을 보이는 전형적인 A형의 회절양상을 나타내었다. 이러한 결과는 DSC로 분석한 열적특성과는 전혀 다른 양상으로 나타나고 있는데, 일반적으로는 X-선 분석 결과와 DSC결과가 일치하는 경향을 나타내는 것으로 알려져 있다. 그러나 열 및 산을 처리한 쌀가루에 대해서

순수한 쌀가루와 같이 A형의 결정 구조에는 영향을 주지 않아 X-선 회절 패턴에 변화를 주지 않는다는 보고도 있다(Vandeputte et al., 2003) 이에 대한 명확한 분석은 현 상태에서는 어려우며 추가적인 연구가 진행되어야 할 것으로 판단된다.

상대적 결정화도는 회절도형으로부터 무정형부분(Aa)과 결정형부분(Ac)으로 나누어 전체 면적에 대한 결정형부분의 면적을 백분율로 표시한 값으로 Table 4에 나타내었다. 반응 조건의 차이에 따라서 상대결정화도는 차이를 나타냈는데, 유기농 쌀가루를 열처리만 했을 경우 105°C까지는 상대결정화도에 있어 유의적 차이가 발생하지 않았지만, 150°C에 이르러 11.08%에서 6.85%로 크게 감소하는 것을 확인 할 수 있었다. 무수구연산을 건식 열처리 하였을 경우에는 20%의 무수구연산을 처리 했을 때 105°C의 반응 조건에서는 11.32%에서 13.67%로 증가하였다가, 40%의 무수구연산을 처리 했을 때 10.36%까지 다시 감소하는 경향을 보였다. 또한 반응온도 150°C에서는 무수구연산 20%를 처리 했을 때 6.85%에서 8.32%로 증가하였고, 40%의 무수구연산을 처리하였을 때는 7.79%까지 감소하는 경향



**Fig. 5. X-ray diffraction patterns of dry-processed citrate organic rice flour.**

**Table 4. Relative crystallinity of dry-processed citrate organic rice flour**

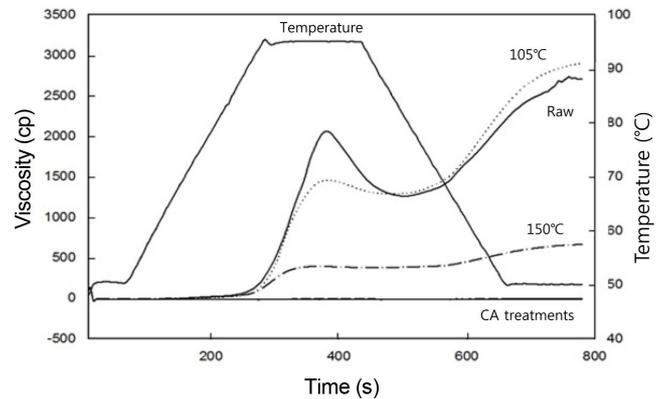
Sample	Reacting temperature (°C)	Citric acid concentration (%)	Relative crystallinity (%)
1	–	–	11.08±0.06 <sup>d*</sup>
2	105	–	11.32±0.12 <sup>e</sup>
3	105	20	13.67±0.11 <sup>a</sup>
4	105	30	12.77±0.18 <sup>b</sup>
5	105	40	10.36±0.21 <sup>e</sup>
6	150	–	6.85±0.05 <sup>h</sup>
7	150	20	8.32±0.14 <sup>f</sup>
8	150	30	8.23±0.03 <sup>f</sup>
9	150	40	7.79±0.02 <sup>g</sup>

\*Means with the same letter are not significantly different ( $p < 0.05$ ).

을 보였다(Table 4).

### RVA 특성 변화

건식 무수구연산 처리를 한 유기농 쌀가루의 RVA pasting curve를 Fig. 6에 나타내었다. 무수구연산을 처리하지 않은 시료들은 약 60-70°C 사이에서부터 점도가 증가하기 시작하여 95°C를 유지하는 중반에 peak viscosity를 나타내었고, 그 값은 아무 처리 하지 않은 유기농 쌀가루로부터 높은 온도로 열처리를 한 유기농 쌀가루일수록 peak viscosity가 2058 cp에서 391 cp까지 감소하는 것을 확인 할 수 있었다. 또한 95°C에서 온도를 유지하는 중 peak viscosity에 도달한 이후에는 다시 점도의 하락을 관측할 수 있었고, 냉각을 하는 과정에서 점도가 재상승을 하는 것을 확인 할 수 있었다. 다시 말해 열처리만을 해준 유기농 쌀가루의 페이스팅 특성은 아무처리 하지 않은 유기농 쌀가루의 RVA profile과 경향은 같으나 완만한 형태의 변화를 보여주었고 이를 통해 열처리에 의해 유기농 쌀가루 내의 전분 일부에 호화가 발생했음을 확인할 수 있었다. 한편 건식으로 무수구연산을 처리한 유기농 쌀가루의 경우 페이스팅 특성을 나타내지 않았는데, 이는 유기농 쌀가루 내의 대부분의 전분입자가 구연산과 반응 및 결합을 하게

**Fig. 6. RVA pasting properties of dry-processed citrate organic rice flour.**

되고 그로 인하여 팽윤 및 호화가 될 수 있는 부분의 비율이 급격히 감소함에 따라 점도가 측정되지 않는 것으로 판단된다.

### 효소저항전분 함량

건식 무수구연산 처리를 한 유기농 쌀가루의 효소저항전분, 빠르게 소화되는 전분, 천천히 소화되는 전분 그리고 총 전분의 함량을 분석한 결과를 Table 5에 나타내었다. 아무처리하지 않은 유기농 쌀가루와 열처리만을 한 유기농 쌀가루는 빠르게 소화되는 전분의 함량은 44%, 천천히 소화되는 전분은 50%, 효소저항전분의 함량은 0.1-0.3%, 총 전분의 함량은 94%로 시료들간의 유의차가 나타나지 않았다. 하지만 무수구연산을 열처리하여 반응시켰을 때는 반응 온도 105°C에서 무수구연산의 농도가 20%에서 40%까지 증가할 때 빠르게 소화되는 전분은 37.41%에서 31.32%까지 감소하였고, 천천히 소화되는 전분은 30.53%에서 20.19%까지 감소하였고, 효소저항전분은 23.45%에서 28.22%로 증가하였으며, 총 전분의 함량은 91.39%에서 79.73%로 감소하였다. 또한 반응 온도 150°C에서는 무수구연산의 농도가 20%에서 40%까지 증가할 때 빠르게 소화되는 전분은

**Table 5. Resistant starch (RS), rapidly digestible starch (RDS), slowly digestible starch (SDS), and total starch of dry-processed citrate organic rice flour**

Sample	Reacting Temperature (°C)	Citric Acid Concentration (%)	RDS (% w/w)	SDS (% w/w)	RS (% w/w)	Total Starch (% w/w)
1	–	–	44.03±1.58 <sup>a</sup>	50.33±1.09 <sup>a</sup>	0.12±0.03 <sup>g*</sup>	94.48±0.08 <sup>a</sup>
2	105	–	43.88±1.28 <sup>a</sup>	50.47±0.98 <sup>a</sup>	0.19±0.04 <sup>g</sup>	94.54±0.09 <sup>a</sup>
3	105	20	37.41±1.37 <sup>b</sup>	30.53±1.04 <sup>b</sup>	23.45±0.06 <sup>f</sup>	91.39±0.40 <sup>b</sup>
4	105	30	32.42±0.72 <sup>c</sup>	25.60±0.48 <sup>d</sup>	26.36±0.04 <sup>e</sup>	84.38±0.58 <sup>c</sup>
5	105	40	31.32±0.48 <sup>d</sup>	20.19±1.41 <sup>e</sup>	28.22±0.11 <sup>d</sup>	79.73±0.96 <sup>d</sup>
6	150	–	44.05±1.19 <sup>a</sup>	50.11±0.87 <sup>a</sup>	0.35±0.08 <sup>g</sup>	94.51±0.15 <sup>a</sup>
7	150	20	13.28±0.22 <sup>e</sup>	27.88±0.49 <sup>c</sup>	31.75±0.90 <sup>c</sup>	72.91±1.33 <sup>e</sup>
8	150	30	4.96±0.28 <sup>f</sup>	9.22±0.13 <sup>f</sup>	50.04±0.88 <sup>b</sup>	64.22±0.92 <sup>f</sup>
9	150	40	0.95±0.03 <sup>g</sup>	2.39±0.10 <sup>g</sup>	56.98±1.08 <sup>a</sup>	60.32±1.10 <sup>g</sup>

\*Means with the same letter are not significantly different ( $p < 0.05$ ).

**Table 5. Resistant starch (RS), rapidly digestible starch (RDS), slowly digestible starch (SDS), and total starch of dry-processed citrate organic rice flour**

Sample	Reacting Temperature (°C)	Citric Acid Concentration (%)	RDS (% w/w)	SDS (% w/w)	RS (% w/w)	Total Starch (% w/w)
1	-	-	44.03±1.58 <sup>a</sup>	50.33±1.09 <sup>a</sup>	0.12±0.03 <sup>g</sup>	94.48±0.08 <sup>a</sup>
2	105	-	43.88±1.28 <sup>a</sup>	50.47±0.98 <sup>a</sup>	0.19±0.04 <sup>g</sup>	94.54±0.09 <sup>a</sup>
3	105	20	37.41±1.37 <sup>b</sup>	30.53±1.04 <sup>b</sup>	23.45±0.06 <sup>f</sup>	91.39±0.40 <sup>b</sup>
4	105	30	32.42±0.72 <sup>c</sup>	25.60±0.48 <sup>d</sup>	26.36±0.04 <sup>e</sup>	84.38±0.58 <sup>c</sup>
5	105	40	31.32±0.48 <sup>d</sup>	20.19±1.41 <sup>e</sup>	28.22±0.11 <sup>d</sup>	79.73±0.96 <sup>d</sup>
6	150	-	44.05±1.19 <sup>a</sup>	50.11±0.87 <sup>a</sup>	0.35±0.08 <sup>g</sup>	94.51±0.15 <sup>a</sup>
7	150	20	13.28±0.22 <sup>e</sup>	27.88±0.49 <sup>c</sup>	31.75±0.90 <sup>c</sup>	72.91±1.33 <sup>e</sup>
8	150	30	4.96±0.28 <sup>f</sup>	9.22±0.13 <sup>f</sup>	50.04±0.88 <sup>b</sup>	64.22±0.92 <sup>f</sup>
9	150	40	0.95±0.03 <sup>g</sup>	2.39±0.10 <sup>g</sup>	56.98±1.08 <sup>a</sup>	60.32±1.10 <sup>g</sup>

\*Means with the same letter are not significantly different ( $p < 0.05$ ).

13.28%에서 0.95%로 감소하였고, 천천히 소화되는 전분의 함량은 27.88%에서 2.39%로 감소하였으며, 효소저항전분의 함량은 31.75%에서 56.98%로 증가하였고, 총 전분의 함량은 72.91%에서 60.32%로 감소하였다.

무수구연산의 농도가 20%로 동일 할 때 반응온도가 105°C에서 150°C로 증가함에 따라서 빠르게 소화되는 전분은 37.41%에서 13.28%로 감소하였고, 천천히 소화되는 전분은 30.53%에서 27.88%로 감소하였으며, 효소저항전분은 23.45%에서 31.75%로 증가하였고, 총 전분의 함량은 91.39%에서 72.91%로 감소하였다. 무수구연산의 농도가 30%로 동일 할 때는 반응온도가 105°C에서 150°C로 증가함에 따라, 빠르게 소화되는 전분은 32.42%에서 4.96%로 감소하였고, 천천히 소화되는 전분은 25.60%에서 9.22%로 감소, 효소저항전분은 26.36%에서 50.04%로 증가하였으며, 총 전분은 91.39%에서 64.22%로 감소하는 것을 확인 할 수 있었다. 마지막으로 무수구연산의 농도가 40%로 동일 할 때는 반응온도가 105°C에서 150°C로 증가함에 따라 빠르게 소화되는 전분의 함량은 31.32%에서 0.95%로 감소하였고, 천천히 소화되는 전분의 함량은 20.19%에서 2.39%로 감소하였으며, 효소저항전분은 28.22%에서 56.98%로 증가를 하였고, 총 전분은 79.73%에서 60.32%로 감소하는 것을 확인 할 수 있었다.

따라서 건식 무수구연산 처리를 한 유기농 쌀가루의 경우, 반응 온도와 무수구연산의 농도가 증가함에 따라 효소저항전분의 함량은 크게 증가하였는데 이를 총 전분의 함량에 대한 효소저항전분의 함량으로 비교하면 더욱 큰 비율로 증가를 하고 있다는 것을 알 수 있었다. 또한 효소저항전분의 함량이 높은 무수구연산을 처리한 유기농 쌀가루들은 페이스팅이 되지 않아 점도가 나타나지 않았는데, 효소저항전분 함량이 높은 특히 구연산 처리를 한 전분에 대해서 저항전분의 양이 많아질 수록 낮은 점도를 보여준다고 하며, 이것은 구연산과 결합한 전분의 입자가 전분 입자의 팽윤에 저항하기 때문이라고 보고된 바가 있다(Xie & Liu, 2004).

## 요 약

본 연구에서는 유기농 쌀가루에 무수구연산을 건식으로 열처리하여 건식 무수구연산 처리 쌀가루를 제조하고 이들의 물리화학적 성질 및 효소저항전분의 함량을 분석하였다. 무수구연산의 농도가 증가하고 열처리의 온도가 높아짐에 따라 복굴절성이 점점 더 소실되고, 팽윤력이 감소하며, 용해도가 증가하는 경향을 나타내었다. 한편 열적특성 및 복굴절성 소실과는 다르게 X-선 회절은 큰 변화가 없는 것으로 나타났는데 이에 대한 후속 연구가 필요할 것으로 판단된다. 효소저항전분의 경우 열처리만으로는 효소저항전분의 함량 조절을 유도할 수 없었지만, 무수구연산을 높은 온도에서 반응 시킬수록 저항전분의 함량이 급격하게 증가하는 것을 확인 할 수 있었다. 이를 통해 고온에서 저농도의 무수구연산을 처리하거나, 저온에서 고농도의 무수구연산을 처리하는 등의 조건을 설정함으로써 원하는 수준의 구연산 치환을 초래 할 수 있게 되고, 이를 통해 특정 함량의 효소저항전분 얻어낼 수 있을 것으로 판단된다. 따라서 본 실험의 결과는 전분의 호화가 부분적으로 발생되지 않는 소재나 호화의 발생을 억제시키는 소재를 제작하거나 팽윤이 조절되는 소재를 경우에 따라 제작 하여 사용하는 등 이화학적 특징에 따라 해당 기능에 맞게끔 적용 할 수 있는 요소로써 활용 가능 할 것이다. 또한 유기농 쌀가루의 효소저항전분 생성을 통해서 유기농과 기능성이라는 두 이점을 활용할 수 있을 것이며 실생활에 적용 할 수 있는 후발 연구들을 통해 시장성과 경쟁력을 가진 기술과 소재로써 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

## 감사의 글

본 연구는 농림축산식품부 고부가식품기술개발사업(과제 번호: 314078032WT021)에 의해 이루어진 것으로 연구비 지원에 감사드립니다.

## References

- Adebowale K, Afolabi T, Olu-Owolabi B. 2005. Hydrothermal treatments of finger millet (*Eleusine coracana*) starch. *Food Hydrocolloid*. 19: 974-983.
- Charalampopoulos D, Wang R, Pandiella SS, Webb C. 2002. Applications of cereals and cereal components in functional foods: A review. *Int. J. Food Microbiol.* 79: 131-141.
- Englyst HN, Kingman SM, Cummings JH. 1992. Classification and measurement of nutritionally important starch fractions. *Eur. J. Clin. Nutr.* 46: 33-50.
- Englyst HN, Wiggens HS, Cummings JH. 1982. Determination of the non-starch polysaccharides in plant foods by gas-liquid chromatography of constituent sugars as alditol acetates. *Analyt.* 107: 307-318.
- Gunarathne A, Hoover R. 2002. Effect of heatmoisture treatment on the structure and physicochemical properties of tuber and root starches. *Carbohydr. Polym.* 49: 425-437.
- Hoover R, Manuel H. 1996. Effect of heat moisture treatment on the structure and physicochemical properties of legume starches. *Food Res. Int.* 29: 731-750.
- Kim SU, Lee HJ. 2013. Social Characteristics of organic food market consumers. *Korean Ind. Econ. Assoc.* 26: 1247-1270.
- Kum JS, Lee CH, Baek KH, Lee SH, Lee HY. 1995. Influence of cultivar on rice starch and cooking properties. *Korean J. Food Sci. Technol.* 27: 365-369.
- Kweon DK, Choi JK, Kim EK, Lim ST. 2001. Adsorption of divalent metal ions by succinylated and oxidized corn starches. *Carbohydr. Polym.* 46: 171-177.
- Lawal OS. 2005. Studies on the hydrothermal modifications of new cocoyam (*Xanthosoma sagittifolium*) starch. *Int. J. Biol. Macromol.* 37: 268-277.
- Lee CJ, Shin SI, Kim Y, Choi HJ, Moon TW. 2011. Structural characteristics and glucose response in mice of potato starch modified by hydrothermal treatments. *Carbohydr. Polym.* 83: 1879-1886.
- Lee KJ, Lee SY, Kim YR, Park JW, Shim JY. 2004. Effect of dry heating on the pasting/retrogradation and textural properties of starch-soy protein mixture. *Korean J. Food Sci. Technol.* 36: 568-573.
- Lee SH, Han O, Lee HY, Kim SS, Chung DH. 1989. Physicochemical properties of rice starch by amylose content. *Korean J. Food Sci. Technol.* 21: 766-771.
- Lee SK, Mun SH, Shin MS. 1997. Enzyme-resistant starch formation from mild acid-treated maize starches. *Korean J. Food Sci. Technol.* 29: 1309-1315.
- Li JY, Yeh AI. 2001. Relationships between thermal, rheological characteristics and swelling power for various starches. *J. Food Eng.* 50: 141-148.
- Lin PY, Czuchajowska A, Pomeranz Y. 1994. Enzyme-resistant starch in yellow layer cake. *Cereal Chem.* 71: 69-75.
- McCleary, B. V., Monaghan, D. A. 2002. Measurement of resistant starch. *Journal of AOAC International*, 85: 665-675.
- Mun SH, Shin MS. 2002. The effects of annealing on resistant starch contents of cross-linked maize starches. *Korean J. Food Sci. Technol.* 34: 431-436.
- Nara S, Komiya T. 1983. Studies on the relationship between water saturated state and crystallinity by the diffraction method for moistened potato starch. *Starch-Stärke*. 35: 407-410.
- National statistical office. 2015. Trends in Production and Consumption of Agriculture and stockbreeding Products. Seoul, Korea.
- National statistical office. 2015. Investigation of Cereals Consumption: Cereal Consumption of one person / day. Seoul, Korea.
- National statistical office. 2015. Investigation of Cereals Consumption: one person/year. Seoul, Korea.
- Oh SH, Shin MS, Choi IS. 2002. The effect of resistant starch on physio-nutrition availability in human. *Korean J. Nutr.* 35: 932-942.
- Park YK, Seog HM, Nam YJ, Shin DH. 1988. Physicochemical properties of various milled rice flours. *Korean J. Food Sci. Technol.* 20: 504-510.
- Sajilata MG, Singhal RS, Kulkarni PR. 2006. Resistant starch—a review. In: *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 5: 1-17.
- Schoch, T. J. 1964. Swelling power and solubility of granular starches. *Methods in carbohydrate chemistry*. 4: 106-108.
- Son HS, Park SO, Hwang HJ, Lim ST. 1997. Effect of oligosaccharide syrup addition on the retrogradation of a Korean rice cake (Karedduk). *Korean J. Food Sci. Technol.* 29: 1213-1221.
- Thompson DB. 2000. Strategies for the manufacture of resistant starch. *Trends Food Sci. Tech.* 11: 245-253.
- Tie J, Lee ES, Hong ST, Ryu GH. 2007. Manufacturing of Goami flakes by using extrusion process. *Korean J. Food Sci. Technol.* 39: 146-151.
- Vandeputte GE, Vermeulen R, Geeroms J, Delcour JA. 2003. Rice starches. I. Structural aspects provide insight into crystallinity characteristics and gelatinisation behaviour of granular starch. *J. Cereal Sci.* 38: 43-52.
- Van Hung P, Vien NL, Phi NTL. 2016. Resistant starch improvement of rice starches under a combination of acid and heat-moisture treatments. *Food Chem.* 191: 67-73.
- Williams VR, Wu WT, Tsai HY, Bates HG. 1958. Rice starch, varietal differences in amylose content of rice starch. *J. Agr. Food Chem.* 6: 47-48.
- Xia H, Li Y, Gao Q. 2016. Preparation and properties of RS4 citrate sweet potato starch by heat-moisture treatment. *Food Hydrocolloid*. 55: 172-178.
- Xie XS, Liu Q. 2004. Development and physicochemical characterization of new resistant citrate starch from different corn starches. *Starch-Stärke*. 56: 364-370.