

## 열수 및 효소 처리에 의한 찰옥수수가루의 물리화학적 특성

이동진 · 최소망 · 임승택\*  
고려대학교 생명공학과

### Effect of Hydrothermal and Enzymatic Treatments on the Physicochemical Properties of Waxy Maize Flour

Dong-Jin Lee, So-Mang Choi, and Seung-Taik Lim\*  
Department of Biotechnology, Korea University

**Abstract** Physicochemical properties of waxy maize flours prepared by hydrothermal and enzymatic treatments were evaluated. Waxy maize flours were hydrothermally treated using heat-moisture treatment (HMT) and annealing (ANN) and enzymatically treated using commercial enzymes (cellulase, proteinase, and pectinase). The HMT-modified waxy maize flours had low water absorption index (WAI), melting enthalpy, viscosity, and crystallinity. However, ANN-modified and enzymatically modified waxy maize flours had high WAI, melting enthalpy, and viscosity. X-ray diffraction analysis of ANN-modified and enzymatically modified waxy maize flours revealed a typical A-type pattern and displayed sharper crystalline peaks than those observed for the control groups (native waxy maize flours). In contrast, the crystallinity of HMT-modified waxy maize flours were decreased by hydrothermal treatment.

**Keywords:** waxy maize flour, heat-moisture treatment and annealing, enzymatic treatment, physicochemical properties

## 서 론

옥수수(*Zea mays*)는 쌀, 밀과 함께 세계적으로 널리 분포되어 재배되는 3대 식량 작물 중에 하나로서 그 용도가 매우 다양하고, 우리나라 전역에서 재배가 가능하며 사용목적에 따라 사일리지용, 종실용, 식용 옥수수로 나누어진다(1). 국내 식용옥수수는 주로 풋옥수수로 단맛이 있는 일반 단옥수수와 당도가 훨씬 높은 초당옥수수, 그리고 당도가 없는 반면에 찰기가 있는 찰옥수수 등으로 분류된다. 재배적 차이를 살펴보면 식용옥수수는 타 작물에 비하여 생육기간이 짧아 1년 2기작이 가능하고, 다양한 작물과의 작부체계에 도입될 수 있으며, 조기출하 및 주년생산으로 수익성이 높아 찰옥수수의 재배가 매년 증가되고 있다(1). 찰옥수수는 일반적으로 수분 7.5%, 단백질 11.5%, 지방질 4.6%, 회분 1.7%, 탄수화물 70.8%, 섬유질 3.9%를 함유하고 있으며, 85% 이상의 아밀로펙틴을 함유하고 있어 찰성이 높은 특성을 나타낸다(1). 또한 그 용도가 매우 다양하여 풋옥수수 상태의 간식용으로 이용하거나 가공식품으로 이용하고 있다(1). 찰옥수수에 대한 연구로는 검정찰옥수수와 흰찰옥수수의 품질관련특성 비교 연구(2), 감마선조사가 보관 중 찰옥수수의 물리화학적 품질특성 변화 연구(3), 대학찰옥수수의 이화학적 특성과 산화방지 활성(4) 등 많은 연구들이 진행되었다.

일반적으로 식품소재로의 가공적성 개선을 위해 화학적 변성 과정을 통한 변성녹말이 많이 사용되고 있으나, 최근 화학적인 방법보다는 물리적인 방법으로 식품의 물리화학적 특성을 개선 시키고자 하는 연구들이 많이 진행되고 있다. 물리적인 방법으로는 수분-열 처리에 의해 변성시키는 습열 처리(heat-moisture treatment, HMT) 및 아닐링(annealing, ANN)과 같은 녹말 입자의 구조 변화로 녹말 식품의 물리화학적 특성을 개선시키고자 하는 연구들이 많이 진행되고 있다. HMT는 보통 호화되기 어려운 낮은 수분함량(10-30%)에서 고온(90-120°C)으로 열 처리하는 방법으로 제조하고, ANN은 다량의 수분함량(50-60%)에서 저온으로 열 처리하는 방법으로 제조한다(5). HMT 변성된 녹말은 호화온도의 상승, 호화범위가 넓어지고, 팽윤력 감소와 열안정성을 높인다고 보고하였다(6). 하지만 녹말의 종류와 열 처리 조건에 따라 X-선 회절도, 아밀로스-지방질 복합체 형성, 결정성의 감소한다고 보고하였다. 또한, ANN 방법은 녹말 분자의 재배열을 통해 결정성 영역의 결합력을 변화시켜 녹말의 물리화학적 특성이 변화한다고 보고하였고(7), Hormdok과 Noomhorm (8)은 열수 처리를 통해 물리적으로 변성된 녹말은 캔이나 냉동식품산업에서 응용에 적합하고 또한 아밀로스의 침출 및 팽윤력의 감소는 면제품에 적합하다고 보고하였다.

하지만 효소 처리 찰가루를 이용한 쌀 키키의 품질특성(9), 자일란 가수분해효소(xylanase) 첨가에 따른 수수의 제빵적성 평가(10), 감자녹말의 추출효율 증진을 위한 셀룰로스 가수분해효소(cellulase)의 이용(11) 등 찰옥수수가루를 물리적 또는 효소 처리에 따른 물리화학적 특성 변화연구는 미미한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 옥수수가루의 이용성 향상을 위해 열수 처리 및 효소 처리에 따른 찰옥수수가루의 물리화학적 특성을 분석하여 제빵 또는 제과 등 식품가공적성 향상을 위한 기초자료로서 활용하고자 하였다.

\*Corresponding author: Seung-Taik Lim, Department of Biotechnology, Korea University, Seoul 02841, Korea  
Tel: 82-2-3290-3435  
Fax: 82-2-927-5201  
E-mail: limst@korea.ac.kr  
Received February 18, 2016; revised March 31, 2016;  
accepted March 31, 2016

## 재료 및 방법

### 실험재료

찰옥수수는 충북 괴산, 강원 홍천, 강원 정선에서 2014년 재배한 대학찰(DH), 미백2호찰(MB), 흑찰(HC) 옥수수를 대형 유통마트(Seoul, Korea)에서 구입하여 시료로 사용하였다. 구입한 찰옥수수는 낱알을 분리한 후 깨끗이 수세하여 열풍건조기(MOV-212F, Sanyo Electric, Osaka, Japan)를 이용하여 70°C에서 24시간 동안 건조하여 분쇄하고 400메시(mesh) 체를 통과시킨 옥수수가루를 실험에 사용하였다. 효소는 Celluclast 1.5 L, Pectinex (Novozymes, Copenhagen, Denmark) 및 펩신(pepsin) (Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA)을 사용하였다.

### 열수 처리 찰옥수수가루의 제조

열수 처리 찰옥수수가루는 습열 처리와 ANN 방법을 사용하여 제조하였다. HMT 찰옥수수가루는 10 g의 시료를 100 mL병에 일정 수분함량(20%)이 되도록 분무기로 증류수를 첨가하여 잘 섞은 후 수분함량이 평형이 되도록 밀봉하여 실온에서 방치 후, 120°C에서 2시간 동안 가압멸균기(Autoclave Mac 1200, Sanyo Electric, Osaka, Japan)를 이용하여 제조하였다. 이 후 HMT 찰옥수수가루는 50°C에서 건조하여 분쇄 후 400메시(mesh) 체를 통과시켜 시료로 사용하였다. ANN 처리 찰옥수수가루는 시료:증류수를 1:5 (w/v) 비율로 첨가하여 50°C에서 24시간 정치 보관하여 처리하였다. 처리한 찰옥수수가루를 3,500 rpm에서 10분간 원심분리하여 50°C에서 24시간 동안 건조하여 ANN 찰옥수수가루를 제조하였다.

### 효소 처리 찰옥수수가루의 제조

효소 처리 찰옥수수가루의 제조를 위한 가수분해 조건은 각 효소의 최적 pH, 완충용액(buffer)과 온도를 참조하여, 모든 효소의 최적 조건을 만족하는 pH, buffer 농도 및 온도를 선정하였다. 즉, celluclast 1.5 L의 경우, 찰옥수수가루 10 g에 아세트산 소듐 완충용액(sodium acetate buffer) (0.4 M, pH 5.0) 100 mL 및 기질의 1% (v/w)에 해당하는 효소를 잘 혼합한 뒤 항온수조를 이용하여 50°C에서 100 rpm으로 24시간 동안 반응하였다. Pectinex의 경우, 찰옥수수가루 10 g에 인산 완충용액(phosphate buffer) (1.5 M, pH 5.0) 100 mL 및 기질의 1% (v/w)에 해당하는 효소를 잘 혼합한 뒤 항온수조를 이용하여 55°C에서 100 rpm으로 24시간 동안 반응하였다. 마지막으로 porcine gastric mucosa 유래 pepsin의 경우, 찰옥수수가루 10 g에 염산 완충용액(HCl buffer) (10 mM, pH 2.0) 100 mL 및 기질의 1% (v/w)에 해당하는 효소를 잘 혼합한 뒤 항온수조를 이용하여 40°C에서 100 rpm으로 24시간 동안 반응하였다. 이 후 100°C에서 10분간 가열하여 효소를 불활성화시킨 뒤 3,500 rpm에서 10분간 원심분리하여 상층액을 제거하고, 증류수로 3번 수세 후 원심분리하고 50°C에서 24시간 동안 건조하여 효소 처리 찰옥수수가루를 제조하였다.

### 색도, 조단백질 및 조지방 함량 측정

제조한 열수 및 효소 처리 찰옥수수가루의 색도는 색차계(CR-10, Konica Minolta Sensing Inc., Osaka, Japan)를 이용하여 Hunter L, a, b값으로 표시하였고, AOAC(12)의 방법에 따라 조단백질은 Auto Kjeldahl System (Buchi B-324/435/412, Buchi, Flawil, Switzerland)을 사용하여 분석하였고, 조지방은 에테르(ether)를 사용하여 추출하였다.

### 수분흡수지수(WAI) 및 수분용해지수(WSI)

제조한 열수 및 효소 처리한 찰옥수수가루의 수분흡수지수(WAI) 및 수분용해지수(WSI)는 Anderson의 방법(13)에 의해 측정하였다. 찰옥수수가루 2.5 g과 30 mL 증류수를 50 mL 원심분리 튜브에 넣고 분산시킨 후 흔들어서 30°C에서 30분간 방치한 다음 3,000 rpm에서 10분간 원심분리 하였다. 상층액 전부를 미리 항량을 구한 수분정량 수기에 담아 105°C에서 하룻밤 건조하여 남은 고형물량을 측정하여 2.5 g 시료에 대한 백분율로서 수분 용해도지수를 산출하였다. 수분흡수지수는 원심분리하여 침전된 침전물의 무게를 측정하여 건조시료 1 g에 함유된 수분함량 g으로 계산하였다.

### 페이스트 점도 분석

제조한 열수 및 효소 처리한 찰옥수수가루의 점도는 신속점도 측정계(Rapid Visco Analyzer, Model RVA-3D, Newport Scientific, Warriewood, Australia)를 사용하여 측정하였다. 건조물 중량으로 7% 찰옥수수가루 현탁액을 50°C에서 1분간 유지한 후 50°C부터 95°C까지 5°C/분 속도로 가열하여 95°C에서 15분간 유지시킨 후 95°C부터 50°C까지 5°C/분 속도로 냉각시켰다.

### 열전이특성 분석

제조한 열수 및 효소 처리한 찰옥수수가루의 호화 특성은 시차주사열량기(DSC 6100, Seiko Instruments Inc., Chiba, Japan)를 이용하여 측정하였으며, 알루미늄 팬에 녹말과 수분의 중량 비율이 1:3이 되도록 넣고 밀봉하여 5°C/분의 속도로 20°C부터 150°C까지 가열하여 열전이특성( $T_g$ ,  $T_p$ ,  $T_c$  및  $\Delta H$ )를 분석하였다.

### X선 회절도

X선 회절 패턴을 통해 열수 및 효소 처리 찰옥수수가루의 결정성을 확인하기 위하여 X-ray diffractometer (M03XHF22, MAC Science Co., Yokohama, Japan)를 이용하였다. Target은 Cu로 voltage 40 kV, current 30 mA로 작동하였고, 회절 각도는 3-35° (2 $\theta$ )로 스캔 속도는 1.0°/min으로 측정하였다.

### 통계분석

본 연구의 실험결과는 최소 3반복을 실시한 평균값과 표준편차로 나타내었고, 실험결과에 대한 통계분석은 SAS 통계프로그램 (Statistical analytical system version 9.4, SAS Institute INC., Cary, NC, USA)을 이용하여 각 측정 군의 평균과 표준편차를 산출하고 던컨의 다중범위 시험법(Duncan's multiple range test)을 이용하여 통계적 유의성을 검증하였다.

## 결과 및 고찰

### 색도, 조단백질 및 조지방 함량

열수 및 효소 처리한 찰옥수수가루의 색도, 조단백질 및 조지방 함량은 Table 1에 나타내었다. ANN 및 효소 처리한 찰옥수수가루의 색도는 비슷하게 나타났으나 HMT 처리한 경우 가장 낮은 L\* (56.5-61.8)과 가장 높은 a\*(12.1-13.5)와 b\*(30.0-33.5) 값을 나타내었다. HMT의 경우 높은 온도와 수분함량으로 인해 갈변현상이 일어난 것으로 되며 이는 이전 연구결과(14)에서도 비슷한 경향을 보였다. HMT 처리한 쌀의 경우에도 L\* 은 낮아지고 a\*, b\* 가 증가하는 이유로 쌀의 미강 층의 색소 및 비효소적 갈변현상으로 인한 것으로 보고하고 있고(15), 또한 열수 처리를 하는 과정에서 글리코사이드와 펩타이드의 결합으로 멜라노이드

**Table 1. Color, crude protein and crude lipid contents of waxy maize flours by hydrothermal and enzymatic treatments**

Waxy maize flour	Color			Crude protein (%)	Crude lipid (%)
	L	a	b		
DH	79.5±0.3 <sup>a</sup>	5.1±0.1 <sup>b</sup>	23.1±0.3 <sup>b</sup>	10.78±0.05 <sup>a</sup>	4.69±0.09 <sup>bc</sup>
HMT-DH	56.5±0.5 <sup>e</sup>	12.5±0.1 <sup>a</sup>	30.3±0.3 <sup>a</sup>	9.80±0.17 <sup>c</sup>	3.35±0.41 <sup>d</sup>
ANN-DH	78.0±0.2 <sup>bc</sup>	4.1±0.2 <sup>d</sup>	21.5±0.2 <sup>d</sup>	10.09±0.01 <sup>b</sup>	5.24±0.14 <sup>a</sup>
Celluclast 1.5 L-DH	77.6±0.1 <sup>c</sup>	4.4±0.2 <sup>c</sup>	21.1±0.1 <sup>e</sup>	9.78±0.11 <sup>c</sup>	4.39±0.01 <sup>bc</sup>
Pepsin-DH	78.2±0.3 <sup>b</sup>	4.4±0.1 <sup>c</sup>	20.2±0.2 <sup>f</sup>	10.20±0.09 <sup>b</sup>	4.12±0.54 <sup>c</sup>
Pectinex-DH	75.9±0.3 <sup>d</sup>	5.2±0.1 <sup>b</sup>	22.1±0.2 <sup>c</sup>	9.56±0.36 <sup>d</sup>	4.87±0.15 <sup>ab</sup>
MB	79.5±0.4 <sup>a</sup>	4.7±0.2 <sup>b</sup>	23.1±0.3 <sup>b</sup>	12.29±0.03 <sup>a</sup>	4.66±0.17 <sup>a</sup>
HMT-MB	61.8±1.0 <sup>d</sup>	13.5±0.2 <sup>a</sup>	33.5±0.3 <sup>a</sup>	11.46±0.39 <sup>e</sup>	3.45±0.02 <sup>d</sup>
ANN-MB	77.9±0.2 <sup>bc</sup>	4.2±0.1 <sup>cd</sup>	21.7±0.4 <sup>c</sup>	11.88±0.10 <sup>b</sup>	4.38±0.15 <sup>b</sup>
Celluclast 1.5 L-MB	77.1±0.5 <sup>c</sup>	4.0±0.2 <sup>d</sup>	20.2±0.3 <sup>d</sup>	10.87±0.25 <sup>d</sup>	3.71±0.10 <sup>c</sup>
Pepsin-MB	78.7±0.2 <sup>ab</sup>	4.1±0.1 <sup>d</sup>	19.0±0.1 <sup>e</sup>	11.34±0.11 <sup>c</sup>	4.73±0.09 <sup>a</sup>
Pectinex-MB	77.6±0.2 <sup>c</sup>	4.4±0.1 <sup>bc</sup>	20.4±0.2 <sup>d</sup>	11.05±0.18 <sup>d</sup>	3.43±0.27 <sup>d</sup>
HC	75.3±0.2 <sup>bc</sup>	5.2±0.1 <sup>d</sup>	18.5±0.3 <sup>d</sup>	9.91±0.03 <sup>a</sup>	4.49±0.05 <sup>b</sup>
HMT-HC	58.8±0.5 <sup>d</sup>	12.1±0.2 <sup>a</sup>	30.0±0.1 <sup>a</sup>	8.87±0.02 <sup>b</sup>	3.09±0.16 <sup>d</sup>
ANN-HC	74.7±0.3 <sup>c</sup>	6.3±0.3 <sup>b</sup>	19.1±0.4 <sup>c</sup>	8.66±0.06 <sup>c</sup>	4.58±0.04 <sup>b</sup>
Celluclast 1.5 L-HC	76.0±0.5 <sup>a</sup>	4.7±0.1 <sup>e</sup>	19.8±0.3 <sup>b</sup>	8.15±0.11 <sup>d</sup>	3.04±0.08 <sup>d</sup>
Pepsin-HC	75.7±0.2 <sup>ab</sup>	5.9±0.1 <sup>c</sup>	17.2±0.1 <sup>e</sup>	8.65±0.04 <sup>c</sup>	4.94±0.02 <sup>a</sup>
Pectinex-HC	74.7±0.5 <sup>c</sup>	5.4±0.2 <sup>d</sup>	20.1±0.3 <sup>b</sup>	8.55±0.16 <sup>c</sup>	3.25±0.21 <sup>c</sup>

Values in the same column with different letters (a-e) mean significant difference ( $p < 0.05$ ).

색소가 생성되거나 페놀화합물의 산화로 색도가 어두워진다고 보고하고 있다(16). DH, MB, HC 찹옥수수가루의 조단백질함량은 각각 10.78, 12.29, 9.91%로, 조지방함량은 각각 4.69, 4.66, 4.49%로 나타났다. 열수 및 효소 처리한 경우 모두 찹옥수수가루 내의 조단백질 함량이 감소한 것을 알 수 있었고, 조지방함량은 ANN-DH (5.24%), Pectinex-DH (4.87%), ANN-HC (4.58%), Pepsin-HC (4.94%)의 경우에는 약간 증가하였으나 큰 차이는 나타나지 않았다. 하지만 HMT-DH, MB, HC 찹옥수수가루의 경우 26.0-31.2% 급격한 감소가 일어났다. 이는 높은 열 처리로 인해 찹옥수수내의 지방산들의 산화(17,18)가 일어난 것으로 생각된다.

**수분흡수지수(WAI) 및 수분용해지수(WSI)**

열수 및 효소 처리한 찹옥수수가루의 수분흡수지수 및 수분용해지수는 Table 2에 나타내었다. 식품산업 측면에서 볼 때, 시리얼이나 미숫가루 등 우유나 물 등에 첨가하여 먹는 제품의 경우 분말의 수분흡수지수 및 용해지수는 중요한 가공적성 요인으로 알려져 있다(19). 수분흡수지수의 경우 HMT-HC 찹옥수수가루가 1.31로 가장 낮은 값을 나타냈으며, ANN-MB가 2.18로 가장 높은 값을 나타내었다. 품종별로 조금씩 차이는 있으나 HMT 처리한 찹옥수수가루의 경우 수분흡수지수는 낮고 수분용해지수는 높게 측정되었다. 이는 HMT 처리를 함에 따라 찹옥수수가루 내의 녹말 호화현상으로 녹말 입자의 치밀도가 낮아지거나 녹말 입자의 비결정성 부분이 많아져 수분흡수지수가 높아진 것으로 사료된다(20). 수분용해지수의 경우 HMT>Pepsin>ANN, Pectinex> Celluclast 순으로 HMT 처리한 찹옥수수가루가 55.29-61.43으로 가장 높은 값을 나타내었다. HMT 처리한 찹옥수수가루의 경우에도 녹말 호화현상으로 녹말 입자의 치밀도가 낮아지거나 비결정성 부분이 많아지고 또한 갈변현상으로 인한 멜라노이딘 색소가 많아져 높은 온도에서 용해도가 높은 것으로 생각된다. 효소처리 찹옥수수가루의 경우 펩신 처리한 찹옥수수가루의 수분용해지수가 48.83-53.30으로 가장 높은 값을 나타내었다. 이는 펩신 처리 시 pH 2.0

**Table 2. Water absorption index (WAI) and water solubility index (WSI) of waxy maize flours by hydrothermal and enzymatic treatments**

Waxy maize flour	WAI	WSI
HMT-DH	1.51±0.03 <sup>d</sup>	59.53±0.26 <sup>a</sup>
ANN-DH	1.86±0.02 <sup>b</sup>	36.95±0.81 <sup>c</sup>
Celluclast 1.5 L-DH	1.90±0.09 <sup>b</sup>	26.51±0.43 <sup>c</sup>
Pepsin-DH	1.80±0.01 <sup>c</sup>	48.83±0.32 <sup>b</sup>
Pectinex-DH	2.01±0.02 <sup>a</sup>	31.40±5.25 <sup>d</sup>
HMT-MB	1.49±0.04 <sup>d</sup>	55.29±0.60 <sup>a</sup>
ANN-MB	2.18±0.03 <sup>a</sup>	36.14±0.24 <sup>d</sup>
Celluclast 1.5 L-MB	1.90±0.02 <sup>b</sup>	34.97±1.53 <sup>d</sup>
Pepsin-MB	1.72±0.07 <sup>c</sup>	52.11±0.59 <sup>b</sup>
Pectinex-MB	1.75±0.03 <sup>c</sup>	39.63±3.16 <sup>c</sup>
HMT-HC	1.31±0.03 <sup>d</sup>	61.43±3.47 <sup>a</sup>
ANN-HC	1.86±0.01 <sup>a</sup>	44.52±0.21 <sup>c</sup>
Celluclast 1.5 L-HC	1.71±0.01 <sup>c</sup>	34.40±1.02 <sup>d</sup>
Pepsin-HC	1.68±0.01 <sup>c</sup>	53.30±0.13 <sup>b</sup>
Pectinex-HC	1.82±0.01 <sup>b</sup>	44.85±0.63 <sup>c</sup>

Values in the same column with different letters (a-e) mean significant difference ( $p < 0.05$ ).

의 염산(HCl) 원충용액으로 처리함에 따라 찹옥수수내의 녹말의 구조에 변화가 생기는 것으로 사료된다. 이는 산 처리한 녹말의 경우 수용성 텍스트린의 함량이 증가하여 용해도가 증가하는 것과 유사한 결과를 나타내었다(21). 다른 효소 처리의 경우 pH 5.0으로 찹옥수수내의 녹말에 크게 영향을 미치지 않아 ANN 처리한 결과와 비슷한 결과를 나타낸 것으로 생각된다.

**페이스트 점도**

열수 및 효소 처리한 찹옥수수가루의 점도는 Fig. 1에 나타내

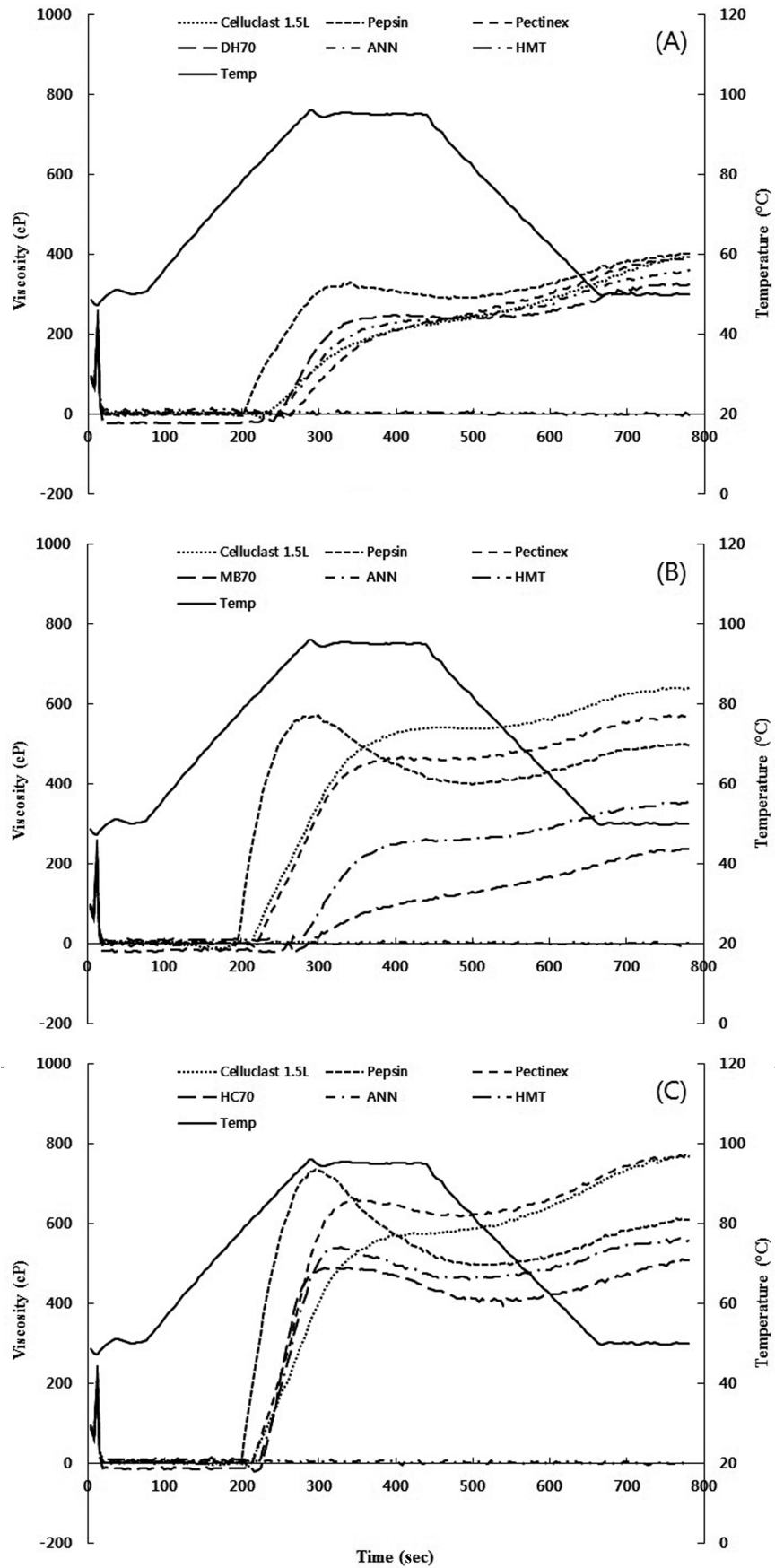


Fig 1. Effect of hydrothermal and enzymatic treatments on the RVA profiles of waxy maize flours. (A) DH, (B) MB, (C) HC

**Table 3. Thermal properties of waxy maize flours by hydrothermal and enzymatic treatments**

Waxy maize flour	$T_o$ (°C)	$T_p$ (°C)	$T_c$ (°C)	$T_c - T_o$ (°C)	$\Delta H$ (J/g)
DH	65.5±0.7 <sup>c</sup>	74.3±0.1 <sup>b</sup>	86.0±1.4 <sup>b</sup>	20.5±0.8 <sup>a</sup>	10.0±0.3 <sup>c</sup>
HMT-DH	74.1±0.1 <sup>a</sup>	83.8±0.2 <sup>a</sup>	93.8±0.1 <sup>a</sup>	19.7±0.1 <sup>a</sup>	4.3±0.1 <sup>c</sup>
ANN-DH	65.0±0.1 <sup>c</sup>	71.5±1.0 <sup>c</sup>	84.9±0.1 <sup>bc</sup>	19.9±0.2 <sup>a</sup>	11.6±0.4 <sup>a</sup>
Celluclast 1.5 L-DH	63.5±0.3 <sup>d</sup>	71.0±0.1 <sup>c</sup>	81.8±0.5 <sup>d</sup>	18.3±0.2 <sup>b</sup>	10.7±0.1 <sup>b</sup>
Pepsin-DH	61.4±0.5 <sup>e</sup>	69.9±0.1 <sup>d</sup>	79.2±0.6 <sup>e</sup>	17.8±0.1 <sup>b</sup>	9.2±0.5 <sup>d</sup>
Pectinex-DH	66.3±0.3 <sup>b</sup>	73.6±0.5 <sup>b</sup>	84.3±1.3 <sup>c</sup>	18.0±1.0 <sup>b</sup>	10.8±0.5 <sup>b</sup>
MB	65.1±2.4 <sup>c</sup>	75.8±0.1 <sup>b</sup>	87.6±1.1 <sup>b</sup>	23.6±3.5 <sup>a</sup>	10.3±0.8 <sup>b</sup>
HMT-MB	70.9±0.2 <sup>a</sup>	84.3±0.5 <sup>a</sup>	93.5±1.1 <sup>a</sup>	22.6±1.3 <sup>a</sup>	6.8±0.3 <sup>c</sup>
ANN-MB	66.2±0.3 <sup>bc</sup>	74.2±0.3 <sup>c</sup>	85.2±0.5 <sup>c</sup>	19.1±0.8 <sup>b</sup>	10.8±0.4 <sup>ab</sup>
Celluclast 1.5 L-MB	64.3±1.4 <sup>cd</sup>	73.1±1.9 <sup>c</sup>	82.4±1.6 <sup>d</sup>	18.1±0.2 <sup>b</sup>	11.0±0.3 <sup>ab</sup>
Pepsin-MB	62.2±0.1 <sup>d</sup>	70.7±0.1 <sup>d</sup>	79.9±0.9 <sup>c</sup>	17.7±0.9 <sup>b</sup>	10.5±0.4 <sup>ab</sup>
Pectinex-MB	67.4±0.6 <sup>b</sup>	74.5±0.8 <sup>bc</sup>	84.2±1.2 <sup>cd</sup>	16.8±0.6 <sup>b</sup>	11.2±0.1 <sup>a</sup>
HC	68.2±0.3 <sup>b</sup>	75.1±0.3 <sup>b</sup>	88.7±1.3 <sup>b</sup>	19.4±1.4 <sup>ab</sup>	11.4±0.6 <sup>b</sup>
HMT-HC	74.6±0.4 <sup>a</sup>	84.7±0.3 <sup>a</sup>	95.0±0.2 <sup>a</sup>	20.5±0.6 <sup>a</sup>	4.7±0.4 <sup>d</sup>
ANN-HC	66.8±0.7 <sup>bc</sup>	73.7±0.4 <sup>c</sup>	86.1±0.5 <sup>b</sup>	19.3±0.3 <sup>ab</sup>	11.9±0.1 <sup>ab</sup>
Celluclast 1.5 L-HC	66.2±2.0 <sup>c</sup>	72.8±1.6 <sup>c</sup>	84.1±2.1 <sup>c</sup>	17.9±0.1 <sup>c</sup>	12.3±0.4 <sup>a</sup>
Pepsin-HC	63.9±0.4 <sup>d</sup>	70.8±0.1 <sup>d</sup>	82.1±0.2 <sup>d</sup>	18.3±0.5 <sup>bc</sup>	10.5±0.1 <sup>c</sup>
Pectinex-HC	67.8±0.3 <sup>bc</sup>	73.9±0.2 <sup>bc</sup>	83.7±0.5 <sup>cd</sup>	16.0±0.2 <sup>d</sup>	11.6±0.1 <sup>b</sup>

Values in the same column with different letters (a-e) mean significant difference ( $p < 0.05$ ).

었다. HMT 처리한 찹옥수수가루의 경우, DH, MB 및 HC 3가지 품종모두 점도를 나타내지 않았다. 이는 높은 열 처리로 인한 찹옥수수가루 내의 녹말이 호화된 것으로 생각된다. Sun 등(22)은 HMT 처리한 수수가루의 경우에도 HMT 처리 시 수분함량이 증가할수록 점도가 낮아진다고 보고하였다. 또한 Pancha-Amon과 Uttapap(23)은 HMT 처리한 쌀가루의 경우에도 높은 열 처리 시 단백질의 변성으로 점도에 영향을 미친다고 보고하였다. Lim 등(24)과 Xie 등(25)은 단백질이 호화 성질(pasting properties)에 영향을 준다고 보고하였다. DH의 경우, 대조군과 비교했을 때 ANN 처리한 것과는 비슷한 경향을 나타내었지만, MB의 경우 점도가 상승하였고, HC의 경우에는 미미한 상승이 있었다. 효소 처리한 경우 찹옥수수의 점도변화는 펙신 처리한 찹옥수수가루에서 호화시작온도가 가장 낮게 측정되었으며, celluclast 1.5 L, pepsin, pectinex 처리군 모두 점도가 상승한 것을 확인하였다. 효소 처리에 의한 점도의 상승은 찹옥수수가루 내의 녹말의 ANN 효과(26)로 인한 것으로 생각된다.

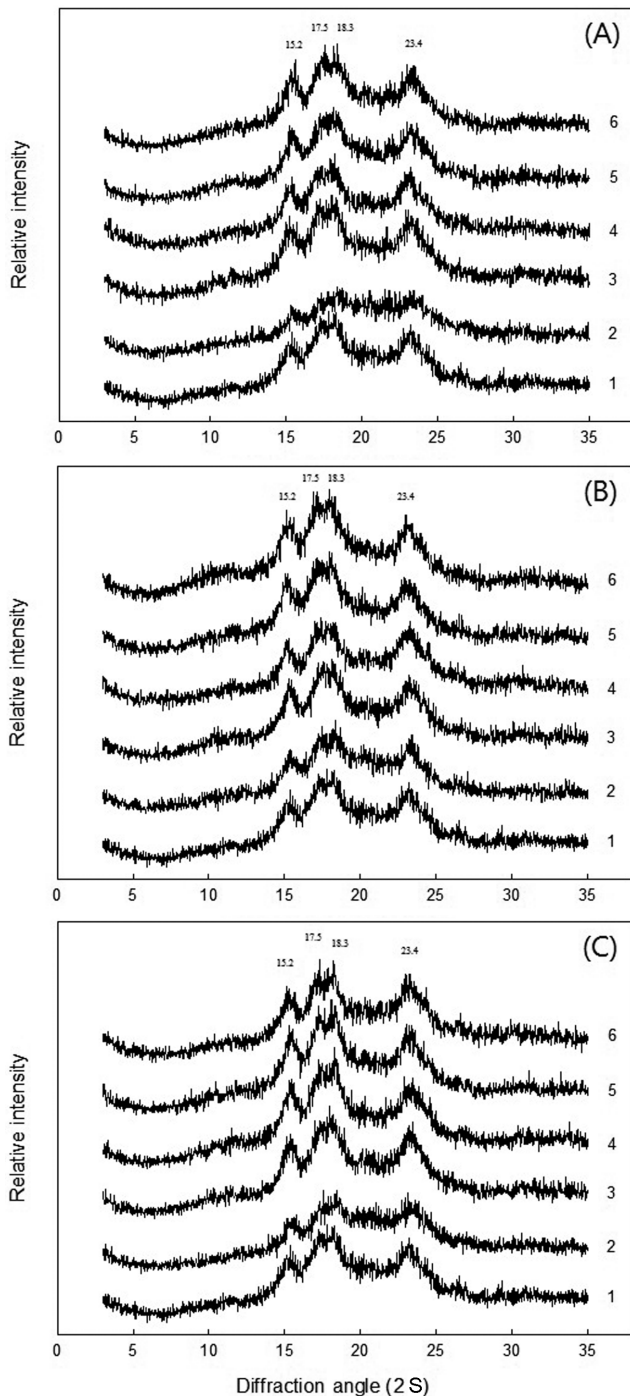
**열전이특성**

DSC를 이용하여 열수 및 효소 처리한 찹옥수수가루의 열적특성을 Table 3에 나타내었다. DH, MB 및 HC 찹옥수수가루의 호화개시온도(onset temperature)는 65.1-68.2°C, 최고온도(peak temperature)는 74.3-75.8°C 및 종결온도(conclusion temperature)는 88.0-88.7°C로 나타났다. HMT 처리한 찹옥수수의 경우 호화개시온도는 70.9-74.6°C, 최고온도 83.8-84.7°C 및 종결온도 93.5-95.0°C로 상승했다. 이는 Sirisoontaralak과 Noomhorm(16)의 보고와 비슷한 경향을 나타내었다. 하지만 호화엔탈피( $\Delta H$ )는 4.3-6.8 J/g으로 낮아진 것으로 측정되어 Pancha-Amon과 Uttapap(23)의 보고와는 상반된 결과를 나타냈다. 이는 HMT 처리가 열 처리로 인한 찹옥수수가루 내의 녹말의 호화로 녹말의 결정성이 감소한 것으로 생각된다. 또한 호화온도 범위 ( $T_c - T_o$ ) 값은 대조군은 DH, MB 및 HC 찹옥수수가루와 비슷한 범위를 나타내었다. 하지만

ANN 처리한 찹옥수수가루의 경우 호화개시온도는 65.0-66.8°C, 최고온도 71.5-74.2°C 및 종결온도 84.9-86.1°C로 찹옥수수가루와 비슷하게 측정되었다. 호화온도 범위는 19.1-19.9°C로 측정되었고, 호화엔탈피( $\Delta H$ )는 10.8-11.9 J/g으로 대조군에 비해 약간 상승하였다. 이는 ANN 처리로 인한 찹옥수수가루 내의 녹말 입자들의 재배열이 일어나고, 무정형부분에서의 결정성이 증가할 뿐 아니라 결정형과 무정형 부분의 결합에 변화가 생기는 것으로 생각된다(27,28). Celluclast 1.5 L 및 펙신 처리한 찹옥수수가루의 경우 호화개시온도, 최고온도, 종결온도 및 호화온도 범위는 대조군에 비해 낮아지는 경향을 보였고, 호화엔탈피 값은 대조군과 비슷하게 나타났다. 효소 처리의 경우 효소 처리과정 중 녹말의 ANN 효과로 인해 ANN 찹옥수수가루와 비슷한 경향을 나타낸 것으로 생각된다.

**X선 회절도**

X선 회절기(X-ray diffractometer)를 이용하여 열수 처리 및 효소 처리 찹옥수수가루의 결정특성을 Fig. 2에 나타내었다. 대조군 DH, MB 및 HC 찹옥수수가루의 경우 15°, 17-18°, 23°에서 강한 피크를 나타내며 전형적인 A-형의 결정성을 나타냈다. 또한, ANN 처리한 찹옥수수가루 및 효소 처리한 찹옥수수가루 경우에도 전형적인 A-형의 결정성을 나타내었다. 하지만 HMT 처리한 찹옥수수가루(HMT-DH, MB, HC)의 경우 피크(peak)의 강도가 다소 낮아짐을 알 수 있었다. HMT 처리한 찹옥수수가루의 경우에는 높은 온도와 수분함량으로 찹옥수수가루 내의 녹말 입자들이 호화되어 결정형 부분이 붕괴되어 결정성이 낮아진 것으로 생각된다. 또한, ANN 및 효소 처리한 경우 대조군인 DH, MB, HC 찹옥수수가루에 비해 날카로운 피크를 나타내는 것으로 보아 DSC 결과와 유사하게 ANN 및 효소 처리 할 경우 찹옥수수가루 내의 녹말 입자들의 재배열 및 무정형부분의 결정성이 증가하는 것으로 생각된다.



**Fig 2. Effect of hydrothermal and enzymatic treatments on the X-ray patterns of waxy maize flours. (A) DH, (B) MB, (C) HC (1; control, 2; HMT, 3; ANN, 4; Celluclast 1.5 L, 5; Pectinex, 6; Pepsin)**

## 요약

찰옥수수가루의 제빵 또는 제과 등 식품가공적성 향상을 위한 기초자료로서 활용하고자 열수 처리 및 효소 처리에 따른 물리화학적 특성을 분석하였다. HMT 처리한 찰옥수수가루의 경우  $L^*$ 이 감소하고,  $a^*$ 와  $b^*$ 이 증가하고 조단백질의 함량과 조지방함량이 감소하였다. 또한 HMT 처리 시 수분흡수지수가 낮아지고 수분용해지수가 높아짐에 따라 찰옥수수가루 내의 녹말의 호화

현상으로 녹말 입자들의 치밀도가 낮아지고 비결정성부분이 많아지는 것으로 생각된다. HMT 처리 시 높은 열 처리로 인해 DSC를 통해 호화엔탈피( $\Delta H$ )의 감소, RVA를 통해 점도(viscosity)의 감소 및 XRD를 통해 결정성이 낮아짐을 알 수 있었다. 반면 ANN 또는 효소 처리 시 색도의 변화는 없었지만, 조단백질 및 조지방 함량의 변화가 있었고, DSC를 통해 확인한 호화엔탈피값은 대조군보다 약간 증가하거나 비슷하고, RVA를 통해 점도가 증가하는 것을 확인하였다. 또한 XRD 결과 전형적인 A-type의 결정성을 보였다. 전체적인 결과를 볼 때, HMT 처리는 찰옥수수가루 특성이 변화함에 따라 즉석식품으로 활용가능 할 것으로 생각되며 ANN에 의한 찰옥수수가루의 경우에는 점증제로서의 활용이 가능할 것으로 사료된다. 효소 처리한 경우 ANN 처리한 찰옥수수가루와 비교했을 때 큰 차이가 없으므로 효소 처리가 공보다는 ANN 처리하여 사용하는 것이 더 효과적이라고 생각된다.

## 감사의 글

본 연구는 농림축산식품부 고부가 식품기술개발사업에 의해 이루어진 것으로 연구비 지원에 감사드립니다.

## References

- Song EM, Kim HY, Lee SH, Woo SH, Kim HS, Kyung KS, Lee JS, Jeong HS. Chemical components and quality characteristics of waxy corns cultured by conventional and environmentally-friendly methods. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 40: 962-968 (2011)
- Jung TW, Moon HG, Cha SW, Kim SL, Kim SK, Son BY. Comparison of grain quality characteristics in waxy corn hybrids with a white and a black colored pericarp. *Korean J. Breed. Sci.* 33: 40-44 (2001)
- Choi JH, Oh DH. Effect of gamma irradiation on the microbiological and physicochemical qualities of vacuum-packaged sugar-treated waxy corns during storage. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 35: 768-773 (2006)
- Lee SH, Hwang IG, Kim HY, Lee HK, Lee SH, Woo SH, Lee JS, Jeong HS. Physicochemical property and antioxidant activity of daehak waxy corns with different harvest times. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 39: 719-724 (2010)
- Maache-Rezzoug Z, Zarguili I, Loisel C, Queveau D, Buleon A. Structural modifications and thermal transitions of standard maize starch after DIC hydrothermal treatment. *Carbohydr. Polym.* 74: 802-812 (2008)
- Chung HJ, Liu Q, Hoover R. Impact of annealing and heat-moisture treatment on rapidly digestible, slowly digestible and resistant starch levels in native and gelatinized corn, pea and lentil starches. *Carbohydr. Polym.* 75: 436-447 (2009)
- Jayakody L, Hoover R. Effect of annealing on the molecular structure and physicochemical properties of starches from different botanical origins-a review. *Carbohydr. Polym.* 74: 691-703 (2008)
- Horndok R, Noomhorm A. Hydrothermal treatments of rice starch for improvement of rice noodle quality. *LWT-Food Sci. Technol.* 40: 1723-1731 (2007)
- Kim MS, Park JD, Lee HY, Kum JS. Effect of rice flour prepared with enzyme treatment on quality characteristics of rice cookies. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 42: 1439-1445 (2013)
- Ahn JE, Go JY, Koh BK. Effects of xylanase on the baking properties of sorghum. *Korean J. Food Cook. Sci.* 31: 18-25 (2015)
- Seo DH, Kim MS, Choi HW, Sung JM, Choi YS, Park CS, Baik MY, Kim HS. Improvement of starch extraction efficiency from potato with cellulase family. *Food Eng. Prog.* 20: 78-83 (2016)
- AOAC. Official Method of Analysis of AOAC Intl. 18th ed. Method 979.09 and 954.02. Association of Official Analytical Chemists, Arlington, VA, USA (2005)

13. Anderson RA. Water absorption and solubility and amylograph characteristics of roll-cooked small grain products. *Cereal Chem.* 59: 265-269 (1982)
14. Arns B, Paraginski RT, Bartz J, de Almeida Schiavon R, Elias MC, da Rosa Zavareze E, Dias ARG. The effects of heat-moisture treatment of rice grains before parboiling on viscosity profile and physicochemical properties. *Int. J. Food Sci. Tech.* 49: 1939-1945 (2014)
15. Saikia S, Dutta H, Saikia D, Mahanta CL. Quality characterisation and estimation of phytochemicals content and antioxidant capacity of aromatic pigmented and non-pigmented rice varieties. *Food Res. Int.* 46: 334-340 (2012)
16. Sirisoontaralak P, Noomhorm A. Changes to physicochemical properties and aroma of irradiated rice. *J. Stored Prod. Res.* 42: 264-276 (2006)
17. Molteberg EL, Magnus EM, Bjørge JM, Nilsson A. Sensory and chemical studies of lipid oxidation in raw and heat-treated oat flours. *Cereal Chem.* 73: 579-587 (1996)
18. Hwang KT, Jung ST. Effects of heat treatment and irradiation on lipid hydrolysis and oxidation of rice bran. *Korean J. Food Sci. Technol.* 28: 928-934 (1996)
19. Lee YR, Choi YH, Koh HJ, Kang MY. Quality characteristics of brown rice flakes prepared with giant embryonic rice and normal rice cultivars. *Korean J. Food Sci. Technol.* 33: 540-544 (2001)
20. Lim JH, Kim JH, Seo YH, Moon KD. Effects of low-temperature blanching on physical properties of chestnut powder. *Korean J. Food Sci. Technol.* 31: 1216-1220 (1999)
21. Sandhu KS, Singh N, Lim ST. A comparison of native and acid thinned normal and waxy corn starches: Physicochemical, thermal, morphological and pasting properties. *LWT-Food Sci. Technol.* 40: 1527-1536 (2007)
22. Sun Q, Han Z, Wang L, Xiong L. Physicochemical differences between sorghum starch and sorghum flour modified by heat-moisture treatment. *Food Chem.* 145: 756-764 (2014)
23. Punched-armon S, Uttapap D. Rice starch vs. rice flour: Differences in their properties when modified by heat-moisture treatment. *Carbohydr. Polym.* 91: 85-91 (2013)
24. Lim ST, Lee JH, Shin DH, Lim HS. Comparison of protein extraction solutions for rice starch isolation and effects of residual protein content on starch pasting properties. *Starch/Stärke* 51: 120-125 (1999)
25. Xie L, Chen N, Duan B, Zhu Z, Liao X. Impact of proteins on pasting and cooking properties of waxy and non-waxy rice. *J. Cereal Sci.* 47: 372-379 (2008)
26. Jacobs H, Eerlingen RC, Clauwert W, Delcour JA. Influence of annealing on the pasting properties of starches from varying botanical sources. *Cereal Chem.* 72: 480-487 (1995)
27. Krueger BR, Knutson CA, Inglett GE, Walker CE. A differential scanning calorimetry study on the effect of annealing on gelatinization behavior of corn starch. *J. Food Sci.* 52: 715-718 (1987)
28. Krueger BR, Walker CE, Knutson CA, Inglett GE. Differential scanning calorimetry of raw and annealed starch isolated from normal and mutant maize genotypes. *Cereal Chem.* 64: 187-190 (1987)