

특수용도 쌀품종 내 전분의 구조적 및 이화학적 특성

이 슬 · 이은정¹ · 정현정*

전남대학교 식품영양과학부 · 생활과학연구소, ¹한국폴리텍대학 바이오식품분석과

Structural and physicochemical characterization of starch from Korean rice cultivars for special uses

Seul Lee, Eun-Jung Lee, and Hyun-Jung Chung*

Division of Food and Nutrition and Research Institute for Human Ecology, Chonnam National University

¹Department of BioFood Analysis, Korea Bio Polytechnic

Abstract Molecular structure, physicochemical properties, and *in vitro* digestibility of starch from Korean rice cultivars for special uses (Baegjinju 1, Hanareum, Deuraechan, and Goami 4) were investigated. The starch from Baegjinju 1 had the lowest amylose content (9.7%) and Hanareum, Deuraechan, and Goami 4 had intermediate amylose (20-25%) contents. Baegjinju 1 had a lower proportion of short amylopectin branch chains than the other rice starches. Hanareum had the lowest relative crystallinity and the highest intensity ratio of 1047 cm⁻¹/1022 cm⁻¹ among the rice starches. The starch from Goami 4 had a higher pasting temperature and lower gelatinization enthalpy than the other rice starches. Peak viscosity of rice starch from Baegjinju 1 was substantially higher than peak viscosity of other rice starches. Rice starch from Baegjinju 1 had significantly higher rapidly digestible starch content and lower resistant starch content than other rice starches, whereas there was no significant difference in resistant starch content among the rice starches.

Keywords: rice starch, special use, molecular structure, crystalline structure, *in vitro* digestibility

서 론

쌀(*Oryza sativa* L.)은 밀과 옥수수과 함께 세계 3대 주요 곡물 중 하나로 동남아시아를 비롯한 여러 국가에서 주식으로 이용되고 있는 주요 에너지 공급원이다(1). 우리나라는 1970년대 이후 산업화 시대에 따른 생활환경의 급속한 변화로 식생활의 형태가 동물성 식품 위주의 서구화로 변화되면서 쌀 소비량이 감소하기 시작하였다(2). 우리나라 가구 부문에서의 국민 1인당 연간 쌀 소비량은 2010년 72.8 kg에서 2014년 65.1 kg으로 매년 감소하는 추세인 반면, 1인당 가공용 쌀 소비량은 2010년 6.0 kg에서 2014년 8.9 kg으로 증가하는 경향을 보이면서 가공을 통한 쌀 소비 확대의 가능성을 시사하고 있다. 쌀 소비량 문제를 해결하기 위해 현재는 소비자의 쌀 품질에 대한 요구를 충족하기 위해서 각계각층에서 다양한 소비정책을 내 놓고 있다(3). 쌀은 술, 떡, 국수, 과자 등 다양한 쌀가루 기반 가공제품에 활용되고 있다. 특수용도 쌀품종은 기본 영양소 외에 품종 자체적으로 특수 성분을 함유함으로써 인체의 생리활성을 이롭게 하는 특수한 용도의 쌀을 말하며 생리활성에 관여하는 기능성비, 활기가 있는 찰벼, 씨겉질에 색이 있는 유색벼, 향기가 나는 향미벼, 쌀 생산량이 많은 다수성벼, 가축먹이로 사용하는 사료용벼, 밭에 심는

밭벼 등을 전분 특성과 가공적성 등의 특수용도에 따라 구분한다(4).

쌀은 건조중량의 약 90%가 아밀로스와 아밀로펙틴으로 구성된 전분으로 이루어져 있으며 품종에 따라 차이가 있다. 찰벼의 전분은 주로 아밀로펙틴으로 구성되어 있으며 약 0.8-1.3%의 아밀로스를 함유하며 찰벼를 제외한 자포니카 쌀품종 내 전분은 8-37%의 아밀로스와 나머지는 아밀로펙틴으로 이루어져 있다. 일반적으로 쌀은 아밀로스 함량에 따라 waxy(1-2%), 저 아밀로스(7-20%), 중간 아밀로스(20-25%)와 고아밀로스(25% 이상)로 분류된다(5).

전분은 소화되는 속도에 따라 크게 3가지로 분류 할 수 있으며, 빨리 소화되는 전분(rapidly digestible starch, RDS), 천천히 소화되는 전분(slowly digestible starch, SDS), 소화되지 않는 전분(resistant starch, RS)이 있다(6). 이들 중 SDS는 소장에서 느리지만 완전히 소화됨으로써 포만감을 오래지속 시켜주며 주로 당뇨병과 관련하여 건강에 유익하다고 알려져 있다. 또한 RS는 소장에서는 소화되지 않지만 대장에서 완전히 또는 부분적으로 발효됨으로써 대장 환경에 유익한 환경을 미치며 고지혈증, 심혈관계 질환 등에도 좋은 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(7).

쌀 전분의 이화학적 특성 및 소화율은 전분 내의 아밀로스 및 아밀로펙틴의 함량, 아밀로펙틴의 가지사슬 구조를 포함한 분자 및 결정 구조에 영향을 받으며 이러한 쌀 전분의 이화학적 특성 및 소화율은 쌀가공제품에 직접적으로 영향을 미치게 된다(3,8). 현재 다양한 쌀 전분의 이화학적 특성에 대한 연구가 계속 진행되고 있으나 국내산 특수용도 쌀 품종에 대해서 전분 특성에 대한 연구가 충분하게 진행되지 않았으며 특히 소화율과 분자 및 결정 구조 간의 상관성에 대한 연구는 거의 진행되지 않았다. 따라서 본 연구에서는 최근에 개발된 특수용도 쌀품종인 기능성벼

*Corresponding author: Hyun-Jung Chung, Division of Food and Nutrition, Chonnam National University, Gwangju 61186, Korea
Tel: 82-62-530-1333
Fax: 82-62-530-1339
Email: hchung@jnu.ac.kr
Received July 19, 2016; revised August 10, 2016;
accepted August 11, 2016

에 속하는 백진주1호와 고아미4호, 가공용벼에 속하는 한아름과 드래찬으로 아밀로스 함량이 다른 4종의 쌀에서 추출한 쌀전분의 분자 및 결정 구조, 이화학적, 소화 특성들을 분석하고 이들 간의 연관성을 살펴봄으로써 향후 쌀 가공식품개발을 위한 기초 자료로 활용하고자 하였다.

재료 및 방법

실험 재료

본 실험에 사용된 4가지 쌀 품종인 백진주1호(Baegjinju 1), 한아름(Hanareum), 드래찬(Deuraechan), 고아미4호(Goami 4)는 농촌실용화재단(Suwon, Korea)에서 구입하였다. 쌀 시료에서 Lim 등(9)의 알칼리 침지법으로 전분을 분리하였다.

겉보기 아밀로스 함량(apparent amylose content)

전분의 겉보기 아밀로스 함량은 Williams 등(10)의 방법을 이용하여 측정하였다. 전분 시료(10 mg)에 0.5 N KOH (1 mL) 용액을 첨가하여 호화시킨 후 0.5 N 염산(HCl) 1 mL로 중화하였다. 이 전분용액 1 mL를 취하고 아이오딘 시약(0.2% I₂+2% KI)을 첨가한 후 625 nm에서 흡광도를 측정하였다.

HPSEC-MALLS-RI를 이용한 분자량 분석

아밀로스와 아밀로펙틴의 분자량은 high performance size exclusion chromatography (HPSEC)에 multi-angle laser light scattering (MALLS)와 refractive index (RI) detector가 연결된 기기(HELEOS, Wyatt Technology Co., Santa Barbara, CA, USA)를 이용하여 분석하였다. Han과 Lim(11)의 방법을 이용하여 전처리한 전분 시료(12 mg)를 0.1 N 수산화소듐(NaOH)에 분산시키고 0.1 N HCl로 중화하였다. 중화된 시료를 microwave bomb (#4872, Parr Instrument Co., Moline, IL, USA)에 넣고 전자레인지를(microwave oven, RE-552W, Samsung, Seoul, Korea)에서 30초간 가열하였다. 가열한 시료를 membrane filter (pore size: 5 µm)를 이용하여 여과한 후 기기에 주입하였다. 분석조건으로 이동상은 0.15 M NaNO₃와 0.02% NaN₃ 칼럼은 SEC column (TSK G5000 PW, 7.5 mm × 600 mm, TosoBiosep, Montgomeryville, PA, USA)을 이용하여 분당 0.4 mL의 속도로 RI 검출기(detector) (Waters 2414, Waters Co., Milford, MA, USA)와 multi-angle laser light scattering (MALLS) detector 로 분석하였다.

HPAEC-PAD를 이용한 아밀로펙틴의 가지사슬길이 분석

전분 내 아밀로펙틴의 가지사슬길이 분포(branch chain length distribution)는 high performance anion exchange chromatography-pulsed amperometric detection (HPAEC-PAD) (Dionex ICS-5000, Dionex Co., Sunnyvale, CA, USA)을 이용하여 분석하였다. 전분 시료를 90% 다이메틸설폭사이드(dimethyl sulfoxide, DMSO)에 분산하고 가열한 후 분산액의 3배 부피의 에탄올을 첨가하여 시료를 침전시켰다. 침전된 시료는 50 mM 아세트산소듐완충용액(sodium acetate buffer, pH 3.5)에 분산시키고 아이소아밀레이스(isoamylase) (Cat. No E-ISAMY, Megazyme International Ltd., Wicklow, Ireland)을 5 µL 첨가하여 20시간 동안 37°C에서 반응시켰다. 반응을 마친 시료는 0.45 µm의 nylon filter를 이용하여 여과하고 HPAEC-PAD에 주입하고 분석하였다. 500 mM sodium acetate와 150 mM NaOH을 이동상으로 하고 Dionex CarboPac PA200 칼럼(3×250 mm, Dionex Co.)을 사용하여 분당 1 mL의 속도로 분석하였다.

X선 회절기를 이용한 결정구조

전분의 결정구조는 X선 회절기(X-ray diffractometer, D/Max-1200, Rigaku Co., Tokyo, Japan)를 이용하여 분석하였다. 기기조건으로 target은 Cu-Kα, filter는 Ni, scanning speed는 5.0°/min, voltage는 40 kV, current는 20 mA, 회절각도(2θ)는 3-40°이었으며 얻어진 X선 회절곡선으로부터 상대결정성(relative crystallinity)을 계산하였다(12).

푸리에변환 적외선분광기(FT-IR)를 이용한 표면 결정구조

전분의 표면 결정성 분석을 위하여 푸리에변환 적외선분광기(Fourier transform infrared spectroscopy, Digilab USQ, Randolph, MA, USA)을 이용하였다. 전분시료의 FT-IR spectrum로부터 피크의 해상도를 높이기 위하여 deconvolution과 basel apodization을 적용한 후 1047 cm⁻¹과 1022 cm⁻¹의 피크 높이를 측정하였고 두 피크 높이의 비율인 1047/1022을 전분 입자의 표면결정 특성으로 분석하였다(13).

호화 특성

전분의 호화특성은 시차주사열량계(differential scanning calorimeter, DSC 6100, Seiko Instruments Inc., Chiba, Japan)를 이용하여 분석하였다. 알루미늄 팬(14 µL)에 전분 (3.3 mg)과 6.6 µL 증류수 넣고 밀봉하여 5°C/min의 속도로 20°C에서 150°C까지 가열하면서 thermogram을 얻어 분석하였다.

페이스팅점도 특성

전분의 페이스팅점도 특성은 신속점도분석기(Rapid Visco-Analyzer, RVA-4D, Newport Scientific Ltd., Warriwood, Australia)를 이용하여 측정하였다. 7% (w/v) 전분용액을 50°C에서 1분간 유지한 후 50-95°C까지 6°C/min의 속도로 가열하고 95°C에서 5분간 유지하고 95-50°C까지 6°C/min의 속도로 냉각한 후 50°C에서 2분간 유지하면서 페이스팅점도 특성을 살펴보았다.

In vitro 소화율

In vitro 전분 소화율은 Englyst 등(6)의 방법을 이용하여 분석하였다. Porcine pancreatic α-amylase (P-7545, Sigma, St. Louis, MO, USA) 0.45 g를 증류수 4 mL에 분산시키고 원심분리(1,500×g, 12분)한 후 2.7 mL의 상층액을 분리하고 0.3 mL 아밀로글루코시다이스(amyloglucosidase) (A-9913, Sigma)를 첨가하여 혼합효소를 만들었다. 전분시료 100 mg에 4 mL의 아세트산소듐완충용액(sodium acetate buffer, pH 5.2)를 혼합한 후 미리 제조한 혼합효소 1 mL와 15개의 유리구슬(4 mm 지름)을 첨가하였고 일정한 속도에서 교반(170 rpm)하면서 반응하였다. 일정한 시간(0-180분)동안 반응시킨 시료(0.1 mL)를 취하여 80% 에탄올 용액 속에 혼합한 후 포도당(glucose) 함량은 포도당분석키트(glucose assay kit) (GAGO-20, Sigma)를 이용하여 분석하였다. 20분 내에 분해된 전분함량을 RDS, 20분과 120분 사이에 분해된 전분함량을 SDS, 120분 동안 분해되지 않는 전분함량을 RS로 분석하였다.

통계분석

모든 실험은 최소 2회 이상을 실시하여 평균과 표준편차로 나타냈고 통계 분석은 SPSS (SPSS Institute Inc., Chicago, IL, USA)를 이용하여 ANOVA 분석을 통해 각 처리군 간의 유의성을 확인한 후, Duncan의 다중비교로 95% 신뢰수준에서 실시하였다. 구조적, 물리화학적 특성의 상관성을 분석하기 위하여 실험을 통해 얻어진 결과값으로부터 SPSS를 이용하여 Pearson

Table 1. Amylose content, molecular weight of amylose and amylopectin, and amylopectin branch chain length distribution of rice starches

Rice starch	Amylose content (%)	Molecular weight of amylose ($\times 10^7$ g/mol)	Molecular weight of amylopectin ($\times 10^7$ g/mol)	Average chain length of amylopectin	Amylopectin chain length distribution (%)			
					DP 6-12	DP 13-24	DP 25-36	DP ≥ 37
Baegjinju1	9.7 \pm 0.2 ^c	1.1 \pm 0.2 ^a	8.7 \pm 1.3 ^b	20.7 \pm 0.0 ^d	27.5 \pm 0.1 ^b	47.5 \pm 0.1 ^a	12.0 \pm 0.0 ^a	13.1 \pm 0.1 ^b
Hanareum	20.2 \pm 0.0 ^b	1.8 \pm 0.0 ^a	14.3 \pm 1.3 ^a	20.7 \pm 0.0 ^d	28.2 \pm 0.1 ^{ab}	46.5 \pm 0.0 ^b	11.8 \pm 0.1 ^a	13.5 \pm 0.1 ^a
Deuraechan	21.1 \pm 0.8 ^{ab}	5.0 \pm 2.8 ^a	12.7 \pm 1.6 ^{ab}	20.3 \pm 0.1 ^b	29.2 \pm 0.4 ^a	46.8 \pm 0.1 ^{ab}	11.3 \pm 0.2 ^b	12.6 \pm 0.2 ^c
Goami4	22.4 \pm 0.1 ^a	6.2 \pm 3.5 ^a	16.4 \pm 1.9 ^a	20.2 \pm 0.1 ^b	29.2 \pm 0.8 ^a	47.2 \pm 0.6 ^{ab}	11.1 \pm 0.0 ^b	12.5 \pm 0.2 ^c

DP, degree of polymerization. Different superscripted letters in the same column indicate significant differences ($p < 0.05$)

correlation coefficients를 95%와 99% 신뢰수준에서 구하였다.

결과 및 고찰

겉보기 아밀로스 함량

특수용도 쌀 품종에서 추출한 전분의 겉보기 아밀로스 함량은 Table 1에 나타내었다. 백진주1호의 아밀로스 함량은 9.7%로 저 아밀로스 타입에 속하며 메벼와 찰벼의 중간 아밀로스 함량을 가지고 있음을 알 수 있었다. 나머지 한아름, 드래찬, 고아미4호 품종은 각각 20.2, 21.1, 22.4%로 중간 아밀로스 타입으로 분류할 수 있었다. 고아미4호는 아밀로스 함량이 25% 이상인 고아밀로스 품종으로 보고되고 있으나(14) 본 연구에 사용된 고아미4호의 재배환경의 차이에 의해 아밀로스 함량이 다소 낮은 것으로 생각된다. 아밀로스 함량은 전분의 특성을 결정하는데 중요한 역할을 하는 것으로 알려져 있으며 전분의 호화 및 노화 특성, 리올로지 특성, 젤 특성 등에 영향을 미친다고 보고되었다(15).

분자 구조적 특성

쌀전분의 아밀로스와 아밀로펙틴의 평균분자량은 Table 1에 나타내었다. 아밀로스의 평균분자량은 4가지 쌀품종간에 유의적인

차이는 없었다. 아밀로펙틴의 평균분자량은 $1.0\text{-}8.0 \times 10^8$ g/mol의 범위를 가진다고 보고되고 있다(16). 본 연구에서는 4가지 쌀 품종 내 전분의 아밀로펙틴의 평균분자량은 $8.7\text{-}16.4 \times 10^7$ g/mol의 범위를 나타내어 다소 낮은 결과를 보였다. 백진주1호의 아밀로펙틴 평균분자량은 다른 3가지 품종에 대해 낮은 결과를 보였다 (Table 1). Pantindol등 (17)은 평균분자량이 RVA에 의한 호화 지표와도 상관성이 있다고 보고하였으며 쌀품종들의 평균분자량 차이는 이화학적 특성에 영향을 줄 것으로 생각된다.

HPAEC-PAD를 이용하여 4가지 쌀품종으로 부터 분리한 쌀전분의 아밀로펙틴 사슬길이분포를 분석하였으며 크로마토그램을 Fig. 1에 나타내었다. 모든 시료에서 DP 11 또는 12와 DP 43에서 피크를 나타냈다. 한아름이 다른 시료에 비해 DP 11 또는 12에서의 피크 높이가 다소 낮게 나타났다(Fig. 1). 아밀로펙틴의 평균분자사슬길이는 백진주1호와 한아름이 드래찬과 고아미4호에 비하여 다소 높게 나타났다. Hanshiro 등(18)은 아밀로펙틴의 가지 사슬 길이에 따라서 A (DP 6-12), B1 (DP 13-24), B2 (DP 25-36), B3+ (DP ≥ 37) 사슬로 나눌 수 있다고 보고하였으며 이에 따라 아밀로펙틴 가지사슬길이 분포를 Table 1에 나타내었다. 백진주1호의 경우 A 사슬은 다른 품종에 비해 낮은 함량을 보였으며 B1사슬은 가장 높은 함량을 나타냈다. 한아름은 B3+사슬

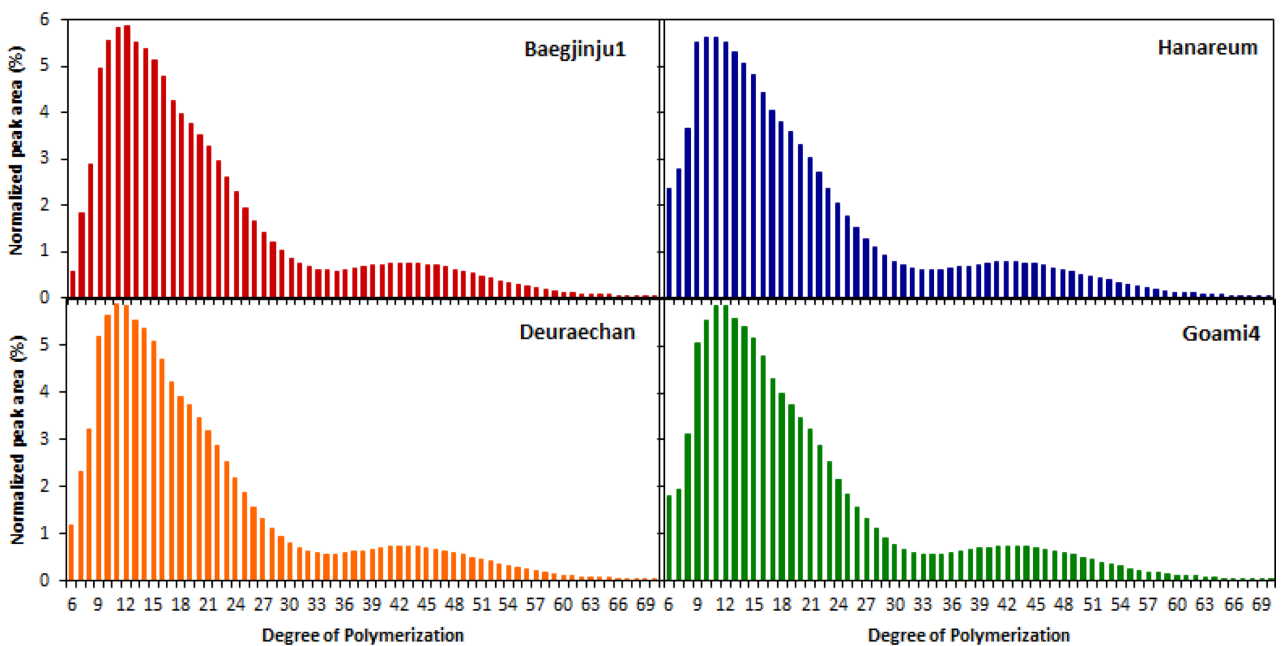


Fig. 1. Amylopectin branch chain length distribution of rice starches.

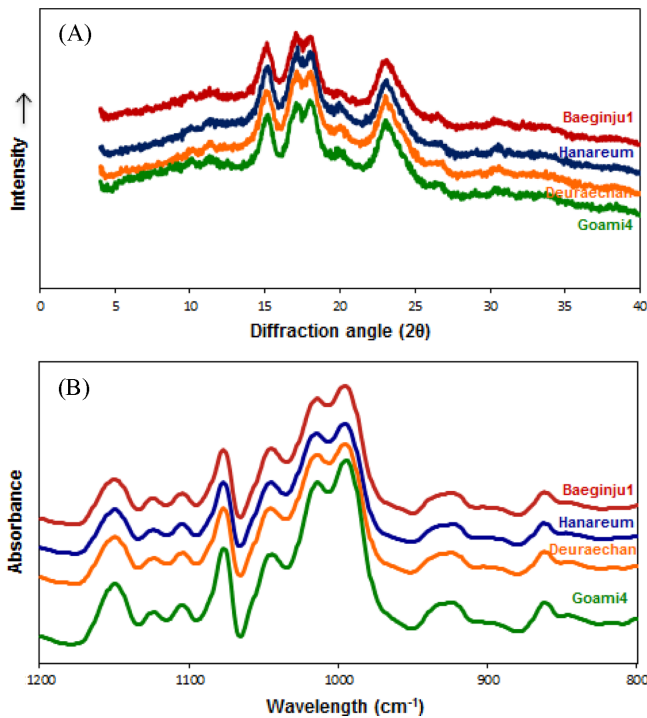


Fig. 2. XRD diffractograms (A) and FT-IR spectra (B) of rice starches.

함량이 다른 품종에 비하여 가장 높게 나타나 아밀로펙틴의 긴 사슬을 많이 가지는 것으로 나타났다. 고아미4호와 드래찬은 짧은 사슬인 A 사슬의 함량이 높고 긴 사슬은 B3+사슬 함량이 낮게 나타났다. Chávezmurill 등(19)은 아밀로펙틴의 구조적 특성은 쌀전분의 기능적, 물리화학적, 소화 특성에 영향을 미친다고 보고하였고 Ma 등(20)도 전분 내 아밀로펙틴의 분자량 및 사슬 분포도에 따른 구조적 차이는 전분의 이화학적 특성과 쌀 가공식품의 텍스처에도 상당한 영향을 미친다고 보고하였다. 결과적으로 4가지 쌀 품종 내 전분의 분자량 및 아밀로펙틴의 가지사슬 구조가 다를 수 있고 이러한 분자구조의 차이는 전분의 이화학적 특성에도 영향을 미칠 것으로 생각된다.

결정 구조적 특성

X선 회절기를 이용하여 쌀전분의 diffractogram를 Fig. 2A에 나타내었다. 4가지 쌀품종으로부터 분리된 쌀전분의 X선 회절 양상은 회절각 17-18°에서 분리되지 않은 두 개의 피크와 15, 20, 23°에서 각각 단일 피크를 보였다(Fig. 2A). 이러한 회절 양상은 쌀전분에서 주로 나타나는 전형적인 A형을 나타냈다. X선 회절도를 이용하여 계산한 상대적 결정성(relative crystallinity)은 Table

2에 나타냈으며 4가지 쌀품종의 회절 양상은 비슷하였으나 상대적 결정성은 차이를 보였다. Wani 등(21)은 찹쌀 전분(48%)은 멥쌀 전분(37-40%)에 비하여 결정성이 높게 나타나며 아밀로펙틴의 사슬길이 분포에 영향을 받는다고 보고하였다. 상대적 결정성은 반찹쌀 특성을 가진 백진주1호가 42.6%로 가장 높았으며 한아름이 37.2%로 가장 낮았다. 일반적으로 아밀로펙틴은 결정성에 기인하며 반대로 아밀로스는 아밀로펙틴의 결정 구조를 약화시키는 것으로 보고되어 있다. 또한 아밀로펙틴의 짧은 사슬인 DP 10-13의 함량이 높을수록 낮은 결정성을 나타낸다고 보고되어 있다(22). 백진주1호는 아밀로펙틴이 가장 높았고 또한 아밀로펙틴의 짧은 사슬인 A 사슬(DP 6-12)이 비교적 낮은 함량을 보였기 때문에 상대적 결정성이 높게 나타난 것으로 생각된다.

쌀전분의 결정 특성을 나타내기 위한 deconvolution된 FT-IR 스펙트럼(spectrum)은 Fig. 2B에 나타내었다. 4가지 쌀전분의 FT-IR spectrum은 큰 차이를 나타내지 않았다. FT-IR spectrum에 나타난 1047 cm⁻¹과 1022 cm⁻¹은 각각 전분입자의 표면 근처의 결정형 영역과 무정형 영역의 변화에 민감한 것으로 알려져 있다. 또한 그 비율(1047/1022)은 전분 내의 무정형 영역에 대한 결정형 영역의 양을 나타낸다(13,23). 1047/1022는 한아름이 고아미4호에 비해 유의적으로 높은 값을 나타냈다. 고아미4호는 X-ray에 의한 상대적 결정성과 1047/1022가 비슷하게 낮은 결과를 보였다. 이는 아밀로스 함량이 높고 아밀로펙틴의 짧은 사슬함량이 높기 때문으로 생각된다(Table 1). Cai 등(23)도 쌀전분에서 1045/1022의 범위는 0.548-0.592로 본 연구에서와 유사한 결과값을 보였다.

호화 특성

쌀전분의 호화특성은 DSC를 이용하여 분석하였으며 결과는 Table 2에 나타내었다. 호화 개시온도 (onset temperature, T_o), 최고온도(peak temperature, T_p), 종결온도(conclusion temperature, T_c)는 각각 57.7-60.2, 57.7-60.2, 72.1-76.3°C의 범위를 나타냈다(Table 2). 백진주1호의 호화 개시온도, 최고온도, 종결온도가 다른 쌀 전분에 비해 모두 유의적으로 높은 결과를 나타내었다. DSC에 의하여 나타난 호화 온도는 아밀로펙틴의 구조적 특징에 영향을 받는 것으로 보고되었다(24). 중합도(DP)가 10 이하인 아밀로펙틴의 가지사슬은 전분 결정성 내 이중나선 구조의 안정성을 감소시키기 때문에 아밀로펙틴의 A사슬(DP 6-12)의 함량이 많을수록 호화 온도는 낮아지는 것으로 알려져 있다(24). 백진주1호는 아밀로펙틴의 A 사슬 함량이 비교적 적었으며(Table 1) 상대적 결정성이 높은 결과(Table 2)를 나타내었기 때문에 호화 온도가 높게 나타난 것으로 생각된다. 쌀전분의 호화엔탈피(ΔH)는 14.2-16.3 J/g의 범위를 보였으며 고아미4호의 호화엔탈피는 다른 쌀전분에 비해 유의적으로 낮았다. 호화엔탈피는 전분의 결정성 내에 존재하는 이중나선 구조를 붕괴하는데 필요한 에너지로 결정성과 관련이 있다(24). Kong 등(25)은 겔보기 아밀로스 함량이 T_o , T_p , T_c ,

Table 2. Relative crystallinity, intensity ratio of 1047 to 1022 cm⁻¹ (1047/1022), and gelatinization properties of rice starches

Rice starch	Relative crystallinity (%)	1047/1022	Gelatinization parameters			
			T_o (°C)	T_p (°C)	T_c (°C)	ΔH (J/g)
Baegjinju1	42.6±0.2 ^a	0.582±0.031 ^{ab}	60.2±0.1 ^a	66.6±0.0 ^e	76.3±0.2 ^a	16.3±0.3 ^a
Hanareum	37.2±0.9 ^c	0.597±0.009 ^a	57.7±0.3 ^c	64.4±0.1 ^d	72.4±0.1 ^c	16.1±0.8 ^a
Deuraechan	39.3±0.6 ^b	0.553±0.012 ^{ab}	59.6±0.1 ^b	65.3±0.1 ^b	73.6±0.4 ^b	15.5±0.1 ^a
Goami4	37.9±0.1 ^{bc}	0.532±0.014 ^b	59.6±0.0 ^b	65.1±0.1 ^c	72.1±0.0 ^c	14.2±0.1 ^b

T_o , onset temperature; T_p , peak temperature; T_c , conclusion temperature; ΔH , gelatinization enthalpy. Different superscripted letters in the same column indicate significant differences ($p < 0.05$).

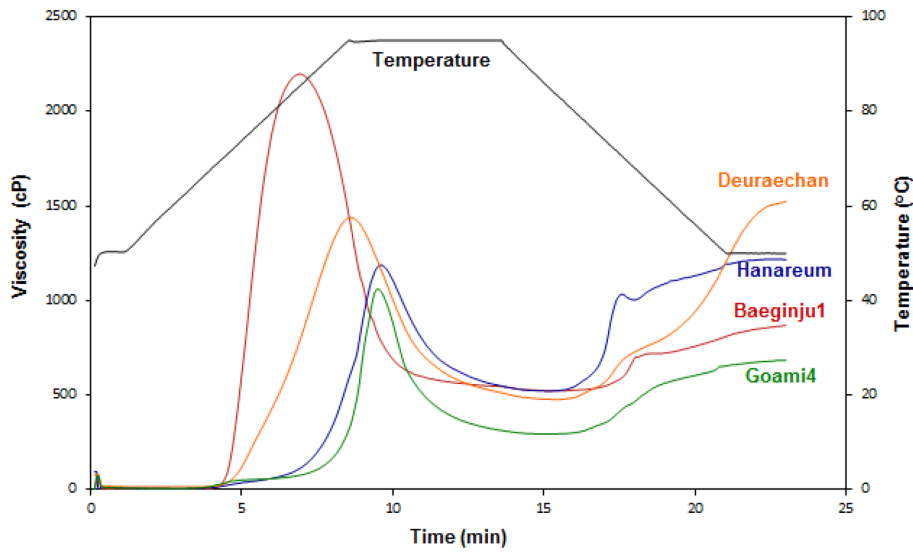


Fig. 3. RVA viscosograms of rice starches.

Table 3. Pasting properties of rice starches

Rice starch	Pasting temperature (°C)	Peak viscosity (cP)	Breakdown (cP)	Setback (cP)	Final viscosity (cP)
Baeginju1	69.7±0.8 ^d	2149±72 ^a	1626±72 ^a	348±4 ^d	871±4 ^c
Hanareum	84.5±0.3 ^b	1200±16 ^c	672±7 ^c	709±20 ^b	1237±28 ^b
Deuraechan	71.7±0.3 ^c	1443±4 ^b	964±3 ^b	1050±6 ^a	1529±6 ^a
Goami4	87.3±0.3 ^a	1062±2 ^d	768±4 ^c	389±2 ^c	682±4 ^d

Different superscripted letters in the same column indicate significant differences ($p < 0.05$).

ΔH 와 음의 상관관계를 갖는다고 보고하였다. 다른 품종에 비하여 낮은 아밀로스 함량을 가진 백진주1호는 DSC parameters가 높게 나타났으며 반대로 고아미4호는 아밀로스 함량이 높기에 ΔH 가 낮게 나타났다.

페이스팅 점도 특성

쌀전분의 페이스팅 점도 특성은 RVA를 이용하여 분석하였으며 얻어진 viscosogram은 Fig. 3에 나타내었다. 아밀로스 함량이 낮은 백진주1호와 아밀로스 함량이 높은 고아미4호는 확연하게 페이스트 점도특성이 다르게 나타났다. 백진주1호는 낮은 페이스팅 온도와 높은 피크점도를 보였으며 그에 비해 고아미4호는 높은 페이스팅 온도와 낮은 피크점도를 보였다(Fig. 3). Viscosogram으로부터 분석한 페이스트 점도 지표들을 Table 3에 나타내었다. 페이스팅 온도(pasting temperature)는 69.7-87.3%의 범위를 보였으며 백진주1호가 다른 쌀품종에 비하여 가장 낮은 값을 나타냈다. 백진주1호의 아밀로스 함량이 다른 쌀품종에 비해 낮은 반찰 특성 을 보이며 이는 찰쌀이 멍쌀에 비해 페이스팅 온도가 낮은 결과와 유사하였다(26,27). 한아름과 드래찬은 아밀로스 함량이 비슷하지만 페이스팅 온도는 각각 84.5, 71.7°C로 큰 차이를 나타냈다. Vandeputte 등(28)은 아밀로펙틴의 짧은 가지사슬(DP 6-12)은 페이스팅 온도를 감소시키는 반면 긴 아밀로펙틴 가지사슬(DP 12-22)은 페이스팅 온도를 증가시킨다고 보고하였다. 드래찬의 쌀전분의 경우 한아름에 비하여 다소 낮은 짧은 사슬(DP 6-12) 함량을 가졌고 반대로 긴 사슬(DP≥37) 함량은 유의적으로 높았다. 이러한 아밀로펙틴의 가지사슬의 분포 차이는 한아름과 드래찬의 페이스팅 온도에 영향을 미친 것으로 생각된다.

최고점도(peak viscosity)는 백진주1호(2149 cP)가 가장 높았으며 고아미4호(1062 cP)가 가장 낮은 최고 점도를 나타내었다. 아

밀로스는 팽윤을 억제하는 반면 아밀로펙틴에 의해 전분의 팽윤이 일어난다(29). 아밀로스 함량이 낮은 백진주1호가 팽윤이 높게 되어 최고점도가 높게 나타났으며 그에 비해 고아미4호는 아밀로스 함량이 높기에 팽윤이 억제되기 때문에 최고점도가 가장 낮게 나타났다. 백진주1호의 강하점도(breakdown)는 1626 cP로 가장 높은 결과를 나타냈다. 이는 아밀로스 함량이 낮을 때 높은 최고점도와 강하점도를 갖는다는 보고와 일치하였다(28). 고아미4호의 최고점도와 강하점도가 백진주1호에 비하여 낮게 나타난 것은 아밀로스 함량 차이에 기인한다고 볼 수 있다. 아밀로스 함량이 비슷한 한아름과 드래찬의 강하점도는 각각 682 cP, 964 cP로 드래찬이 더 높았다. 치반점도(setback)와 최종점도(final viscosity)는 드래찬이 각각 1050 cP, 1529 cP로 고아미4호나 백진주1호에 비해 높은 값을 나타냈다.

In vitro 소화율

쌀전분의 in vitro 소화율의 지표인 RDS, SDS 및 RS함량은 Table 4에 나타냈다. RDS함량은 백진주1호, 한아름, 드래찬, 고아미4호가 각각 50.6, 43.6, 42.0, 40.2%로 백진주1호가 가장 높은 값을 나타냈다. Chung 등(8)은 전분의 소화율은 아밀로스 함량 및 아밀로펙틴의 가지사슬의 쌀전분의 분자구조와 연관되어 있으며 아밀로스 함량이 증가함에 따라 RDS함량은 낮은 값을 나타냈다고 보고하였다. 이는 본 연구에서 나타난 RDS함량은 쌀전분 내 아밀로스 함량 차이에 의한 것으로 생각된다. RDS는 주로 전분의 무정형 부분, SDS는 전분의 무정형 및 결정형 부분과 연관이 있다(6). SDS함량은 백진주1호가 42.5%로 가장 낮았으며 한아름과 드래찬의 경우 SDS함량이 각각 50.7, 49.9%로 가장 높은 함량을 보였다. SDS함량은 쌀전분의 아밀로스 및 아밀로펙틴의 구조적 특성, 결정 특성에 영향을 받은 것으로 보인다. 또한

Table 4. RDS, SDS and RS contents of rice starches

Rice starch	RDS (%)	SDS (%)	RS (%)
Baegjinju1	50.6±4.3 ^a	42.5±0.1 ^b	6.9±4.2 ^a
Hanareum	43.6±2.5 ^{ab}	50.7±0.6 ^a	8.1±1.5 ^a
Deuraechan	42.0±2.2 ^b	49.9±1.0 ^a	8.0±4.0 ^a
Goami4	40.2±0.8 ^b	47.4±5.0 ^{ab}	13.8±2.3 ^a

RDS, rapidly digestible starch; SDS, slowly digestible starch; RS, resistant starch.
Different superscripted letters in the same column indicate significant differences ($p<0.05$).

SDS는 RDS에 비하여 혈당 수준을 안정화 해주며 포만감을 오래 지속해주는 등 다양한 생리적 이점을 가지고 있는 중요한 전분의 소화율 지표이다(30). 고아미4호는 이미 보고된 바와 같이 RDS함량은 낮고 RS함량이 높아 혈당 조절에 있어 더 긍정적인 효과를 나타낼 것으로 생각된다. RS함량은 통계적으로 유의적인 차이를 나타내지 않았지만 아밀로스 함량이 높을수록 RS함량의 절대 값이 증가하는 경향을 보였다.

구조 및 이화학적 특성과 소화율 특성 간의 상관성

피어슨 상관계수 분석에 의한 소화율 특성(RDS, SDS, RS)과 쌀전분 구조 및 이화학적 특성 간의 상관성을 분석한 결과는 Table 5에 나타내었다. 본 연구에서 RS는 구조 및 이화학적 특성 지표와의 상관성을 보이지 않았다. 그에 비해 RDS함량은 아밀로스 함량과 음의 상관성($r=-0.879$, $p<0.01$)을 나타냈고 SDS함량은 아밀로스 함량과 양의 상관성($r=0.732$, $p<0.05$)을 보였다. 아밀로스 함량이 RDS, SDS 및 RS 함량과 높은 상관성을 가진다는 보고가 많았다. Chung 등(8)은 아밀로스 함량은 RDS와 음의 상관성을 SDS와 RS와는 양의 상관성을 나타낸다고 보고하였으며 Zhu 등(31)은 아밀로스 함량은 RDS와는 상관성이 없었으며 SDS는 음의 상관성, RS와는 양의 상관성을 나타낸다고 보고하였다. Chavezmurillo 등(19)은 아밀로스 함량이 RDS와는 양의 상관성을 나타냈으며 SDS, RS와는 상관성을 나타내지 않았으며 이는 품종 간 아밀로스 함량 차이가 적었기 때문에 소화율 지표와 상관성이 적었다고 보고하였다. 아밀로펙틴의 가지사슬 특성 또한 소화율과 연관성을 보인다고 보고되었다(8,19). 특히 A 사슬(DP 6-12)과 B1사슬(DP13-24)은 소화율 지표와 높은 상관성을 나타냈다. 본 연구에서는 RDS 지표만이 A사슬과 음의 상관성($r=-0.824$, $p<0.05$)을 B2 사슬과 양의 상관성($r=0.809$, $p<0.05$)을 나타냈다(Table 5).

결정 특성의 경우 상대적 결정성(RC)은 RDS와 양의 상관성($r=0.718$, $p<0.05$)을 SDS와는 음의 상관성($r=-0.709$, $p<0.05$)을 나타냈다(Table 5). 전분의 무정형 부분은 전분의 소화율에 중요한 역할을 한다고 보고되었다(32). 결정성은 주로 RDS와 양의 상관성을, SDS와는 음의 상관성을 나타내는 것으로 알려져 있으며(8) 본 실험에서 유사한 결과를 나타냈다. 그러나 본 연구에서는 무정형 영역에 대한 결정형 영역을 나타내는 지표인 1047/1022 값(Ratio)은 상관성을 나타내지 않았다(Table 5). 호화 종결온도(T_c)는 RDS와 양의 상관성($r=0.851$, $p<0.01$)을, SDS와는 음의 상관성($r=-0.708$, $p<0.05$)을 나타냈으며 각각 호화 최고온도(T_p)는 SDS와 음의 상관성($r=-0.814$, $p<0.05$)을 나타냈다.

Chung 등(8)은 페이스팅 점도 특성을 나타내는 RVA 분석 지표들은 최종점도와 RS를 제외한 모든 피어슨 상관계수에서 큰 상관성을 나타낸다고 보고하였다. 본 연구에서는 페이스팅점도(PV)는 RDS와 양의 상관성($r=0.823$, $p<0.05$)을 나타냈으며 강하

Table 5. Pearson correlation coefficient between starch digestibility and the molecular, thermal and pasting properties of rice starches

Parameter	RDS	SDS	RS
AC	-0.879**	0.732*	0.501
AvCl	0.701	-0.119	-0.529
A	-0.824*	0.325	0.481
B1	0.463	-0.450	-0.059
B2	0.809*	-0.366	-0.515
B3+	0.455	0.141	-0.449
RC	0.718*	-0.709*	-0.482
Ratio	0.619	-0.104	-0.697
T_o	0.319	-0.649	0.079
T_p	0.697	-0.814*	-0.269
T_c	0.851**	-0.708*	-0.484
ΔH	0.689	-0.213	-0.557
PT	-0.581	0.407	0.554
PV	0.823*	-0.691	-0.503
BD	0.772*	-0.772*	-0.375
SB	-0.355	0.651	-0.259
FV	-0.133	0.558	-0.442

* $p<0.05$, ** $p<0.01$.

AC, amylose content; AvCl, average chain length of amylopectin; A, DP6-12; B1, DP13-24; B2, DP25-36; B3+, DP≤37; RC, relative crystallinity; Ratio, intensity ratio of 1047 to 1022 cm^{-1} ; T_o , onset temperature; T_p , peak temperature; T_c , conclusion temperature; ΔH , gelatinization enthalpy; PT, pasting temperature; PV, peak viscosity; BD, breakdown; SB, setback; FV, final viscosity.

점도(BD)는 RDS와 양의 상관성($r=0.772$, $p<0.05$)을, SDS와는 음의 상관성($r=-0.772$, $p<0.05$)을 나타냈다. 따라서 전분의 구조적 특성 및 이화학적 특성이 RDS와 SDS에 상관성을 보이는 것을 알 수 있었다. RS는 전분의 구조, 이화학적 특성의 지표들과의 상관성을 나타내지 않았는데 이는 쌀전분에서의 RS함량이 다소 낮았고 아밀로스 함량의 범위가 넓지 않았기 때문으로 생각된다. 본 연구에서 얻어진 소화율 특성과 이화학적 특성들과의 상관성의 결과는 특수용도 쌀품종을 활용한 다양한 제품을 생산할 때 소화율과 품질특성을 예상하는데 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 생각된다.

요 약

본 연구에서는 국내산 특수용도 쌀품종 내 전분의 분자 및 결정 구조적 특성과 소화 특성을 분석하고 상관성을 살펴봄으로써 향후 쌀가공식품들을 개발하는 기초자료로 활용하고자 하였다. 백진주1호 전분은 다른 쌀품종에 비하여 아밀로스 함량, 아밀로펙틴의 분자량, A 사슬(DP 6-12), 페이스팅 온도, 치반점도, SDS 함량은 유의적으로 낮았으며 아밀로펙틴의 B1 사슬(DP 13-24), 상대적 결정성, 호화온도(T_o , T_p , T_c), 호화 엔탈피(ΔH), 최고점도, 강하점도, RDS 함량이 유의적으로 높은 결과를 나타냈다. 소화율과 구조 및 이화학적 특성 간의 상관성을 분석한 결과 RDS 및 SDS는 아밀로스 함량, 결정성, 호화 온도와 높은 상관성을 보였으며 이는 쌀전분의 구조적 특성과 이화학적 특성의 차이가 전분의 소화율에 영향을 미친 것으로 생각된다. 국내에서 생산된 4 가지 특수용도 쌀품종의 전분 분자 및 결정 구조적 특성, 이화학적 특성, 및 소화율 특성이 다르게 나타났으며 이러한 결과는 특

수용도 쌀품종을 활용한 가공제품개발에 기초자료로 활용될 것으로 기대된다.

감사의 글

본 논문은 2014 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(NRF-2014R1A1A1008329)이며 이에 감사드립니다.

References

- Lee NY. Starch and pasting characteristics of various rice flour collected from markets. *Korean J. Food Preserv.* 19: 257-262 (2012)
- Lee CH, Rhee SJ. Global food crisis and Korean response measures. *Food Sci. Ind.* 44: 20-37 (2011)
- Yoon SD, Oh SK, Park HY, Woo KS, Choi ID, Cho YB, Park SH, Jeong EG, Kim WH. Changing consumption patterns for processed rice food products in metropolitan household of Korea: 2010-2014. *J. Korean Soc. Int. Agric.* 27:631-638 (2015)
- Sim EY, Chung SK, Cho JH, Woo KS, Park HY, Kim HJ, Oh SG, Kim WH. Physicochemical properties of high-amylose rice varieties. *Food Eng. Prog.* 19: 392-398 (2015)
- Choi ID. Physicochemical properties of rice cultivars with different amylose contents. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 39: 1313-1319 (2010)
- Englyst HN, Kingman SM, Cummings JH. Classification and measurement of nutritionally important starch fractions. *Eur. J. Clin. Nutr.* 46: S33-S50 (1992)
- Pantindol J, Guraya H, Champagne L, McClung A. Nutritionally important starch fractions of rice cultivars grown in southern United States. *J. Food Sci.* 75: H137-H144 (2010)
- Chung HJ, Liu Q, Lee L, Wei D. Relationship between the structure, physicochemical properties and *in vitro* digestibility of rice starches with different amylose contents. *Food Hydrocolloid.* 25: 968-975 (2011)
- 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* 51: 120-125 (1999)
- Williams PC, Kuzina FD, Hlynka I. A rapid colorimetric procedure for estimating the amylose content of starches and flours. *Cereal Chem.* 47: 411-420 (1970)
- Han JA, Lim ST. Structural changes of corn starches by heating and stirring in DMSO measured by SEC-MALLS-RI system. *Carbohydr. Polym.* 55: 265-272 (2004)
- Nara S, Komiya TT. Studies on the relationship between water-saturated state and crystallinity by the diffraction method for moistened potato starch. *Starch* 35: 407-410 (1983)
- van Soest JGG, Tournois H, de Wit D, Vliegthart JFG. Short range structure in partially crystalline potato starch determined with attenuated total reflectance Fourier-transform IR spectroscopy. *Carbohydr. Res.* 279: 201-214 (1995)
- Yoon MR, Lee JS, Lee JH, Kwak J, Chun A, Kim BK. Content and characteristics of resistant starch in high amylose mutant rice varieties derived from *Ilpum*. *Korean J. Breed. Sci.* 45: 324-331 (2013)
- Juliano BO. Structure, chemistry, and function of the rice grain and its fractions. *Cereal Foods Worlds* 37: 772-774 (1992)
- Tukomane T, Varavinit S. Classification of rice starch amylose content from rheological changes of starch paste after cold recrystallization. *Starch* 60: 292-297 (2008)
- Zhong F, Yokoyama W, Wang Q, Shoemaker CF. Rice starch, amylopectin, and amylose: Molecular weight and solubility in dimethyl sulfoxide-based solvents. *J. Agr. Food Chem.* 54: 2320-2326 (2006)
- Pantindol J, Gu X, Wang YJ. Chemometric analysis of the gelatinization and pasting properties of long-grain rice starches in relation to fine structure. *Starch* 61: 3-11 (2009)
- Hanashiro I, Abe J, Hizukuri S. A periodic distribution of the chain length of amylopectin as revealed by high-performance anion-exchange chromatography. *Carbohydr. Res.* 283: 151-159 (1996)
- Chávezmurillo CE, Méndezmontealvo G, Wang YJ, Bellopérez LA. Starch of diverse Mexican rice cultivars: Physicochemical, structural, and nutritional features. *Starch* 64: 745-756 (2012)
- Ma Z, Zhao S, Cheng K, Zhang X, Xu X, Zhang L. Molecular weight and chain conformation of amylopectin from rice starch. *J. Appl. Polym. Sci.* 104: 3124-3128 (2007)
- Wani AA, Singh P, Shah MA, Schweiggertweisz U, Gul K, Wani IA. Rice starch diversity: Effects on structural, morphological, thermal, and physicochemical properties-a review. *Compr. Rev. Food Sci.* 11: 417-436 (2012)
- 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)
- Cai J, Man J, Hung J, Liu Q, Wei W, Wei C. Relationship between structure and functional properties of normal rice starches with different amylose contents. *Carbohydr. Polym.* 125: 35-44 (2015)
- Gidley MJ, Bulpin PV. Crystallization of malto-oligosaccharides as models of the crystalline forms of starch: Minimum chain length requirement for the formation of double helices. *Carbohydr. Polym.* 13: 291-300 (1987)
- Kong X, Zhu P, Sui Z, Bao J. Physicochemical properties of starches from diverse rice cultivars varying in apparent amylose content and gelatinisation temperature combinations. *Food Chem.* 172: 433-440 (2015)
- Park IM, Ibanex AM, Zhong F, Shoemaker CF. Gelatinization and pasting properties of waxy and non-waxy rice starches. *Starch* 59: 388-396 (2007)
- Kim WS, Shin M. The properties of rice flours prepared by dry- and wet-milling of soaked glutinous and normal grains. *Korean J. Food Cook. Sci.* 23: 908-918 (2007)
- Vandeputte GE, Derycke V, Geeroms J, Delcour A. Rice starches. III. Structural aspects provide insight in amylopectin retrogradation properties and gel texture. *J. Cereal Sci.* 38: 61-68 (2003)
- Tester RF, Morrison WR. Swelling and gelatinization of cereal starches. I. Effect of amylopectin, amylose, and lipids. *Cereal Chem.* 67: 551-557 (1990)
- Lehmann U, Robin F. Slowly digestible starch-its structure and health implications: A review. *Trends Food Sci. Tech.* 18: 346-355 (2007)
- Zhu LJ, Liu QQ, Wilson JD, Gu MH, Shi YC. Digestibility and physicochemical properties of rice (*Oryza sativa* L.) flours and starches differing in amylose content. *Carbohydr. Polym.* 86: 1751-1759 (2011)
- Htoon A, Shrestha AK, Flanagan BM, Lopezrubio A, Bird AR, Gilbert EP, Gidly MJ. Effects of processing high amylose maize starches under controlled conditions on structural organization and amylase digestibility. *Carbohydr. Polym.* 75: 236-245 (2009)