찰벼 품종별 찰떡의 찰기 관련 전분 및 호화 특성

윤미라^{1*} · 이점식¹ · 박지은¹ · 이정희¹ · 전재범² · 양창인¹ · 조준현³ · 김미정¹ · 이춘기¹ · 김보경² · 김육한¹

¹농촌진흥청 국립식량과학원 중부작물부, ²농촌진흥청 국립식량과학원, ³농촌진흥청 남부작물부

Starch and Pasting Characteristics in Relation to Stickiness of Rice Cake Using Glutinous Rice Varieties

Mi-Ra Yoon^{1*}, Jeom-Sig Lee¹, Jieun Kwak¹, Jeong-Heui Lee¹, Jae-Buhm Chun², Chang-Ihn Yang¹,
Jun-Hyun Cho³, Mi-Jung Kim¹, Choon-Ki Lee¹, Bo-Kyeong Kim², and Wook-Han Kim¹

¹Department of Central Area, NICS, RDA, Suwon 16429, Korea

²National Institute of Crop Science, RDA, Wanju 55365, Korea

³Department of Southern Area, NICS, RDA, Miryang 50424, Korea

Abstract : This study was conducted to analyze the starch and pasting properties of fourteen glutinous rice varieties with different maturity, and we compared the textural characteristic difference in relation to stickiness of glutinous rice cake. The whiteness values of grain appearance showed significantly differences in the order of early < medium < mid-late maturing glutinous rice varieties. Early maturing glutinous rice varieties exhibited a little high tendency for crude protein content than that of other varieties. Mid-late glutinous rice varieties showed higher of short chain ratio of 6 to 12 in DP of amylopectin whereas, medium length chains of 13 to 24 were significantly low. According to Rapid Visco-Analyzer measurement glutinous rice flours and starches, peak time showed high negative correlation with short chains of 6 to 12 in DP. The hardness of mid-late maturing glutinous rice cake was distinctly lower than that of the other glutinous rice varieties. Furthermore, mid-late maturing glutinous rice varieties, *Baegseolchal*, *Dongjinchal* and *Baekogchal* tend to show lower and slower in hardness changes of rice cake during storage. The hardness changes of glutinous rice cake had positive correlation with the amylose content and peak time and negative correlation with short chains of 6 to 12 in DP of amylopectin, respectively.

Keywords : Glutinous rice variety, Starch properties, Glutinous rice cake, Stickiness

서 언

찰쌀은 아밀로스(amylose) 함량이 적고 거의 아밀로펙틴(amylopectin)으로 구성된 전분이기 때문에 멥쌀에 비해 차진 성질을 나타내고 상대적으로 노화속도가 느린 것으로 알려져 있다(Choi 2002, Zhou et al. 2002). 이러한 전분 구조 특성의 차이로 인해 밥쌀용 외에도 찰벼의 용도는 멥쌀에 비해 다양하고 특히, 품종이나 산지에 따라라도 품질 특성에 상당한 차이가 있을 것으로 예상된다.

쌀을 이용한 식품에서 전분의 노화가 진행되면 조직감(texture) 특성이 변화되어 품질이 저하되고 유통기한이 짧아지게 되므로 노화의 진행을 억제하거나 늦추는 방법이 필요하다. 현재 쌀 전분의 노화 지연에 대한 연구는 다양하게 진행되고 있으나, 찰벼를 통한 전분 특성 차이나 찰벼 이용에 대한 연구는 일부 한정되어 있는 실정이다(Chung et al. 2006, Kim et al. 1992, Kim et al. 1997, Miles et al. 1985, Vandeputte et al. 2003). 동일한 찰벼라도 품종에 따라 아밀로펙틴의 미세구조 차이나 호화 및 노화 특성에 차이가 있을 것으로 예상된다(Choi 2002, Wang and Wang 2002). 국내 육성되고 있는 찰쌀 품종의 전분 특성 및 호화에 대한 심도 있는 연구와 더불어 찰벼의 활용을 위하여 찰벼의 용도에 적합한 품종 구명이 필요할 것이다. 이와 동시에 적합한 찰벼

*Corresponding author (E-mail: mryoon12@korea.kr, Tel: +82-31-695-0606, Fax: +82-31-695-4085)

(Received on July 9, 2015. Revised on August 16, 2015.

Accepted on August 17, 2015.)

품종을 통한 전분 자체의 노화 연구, 즉, 찰기와 질감, 맛을 변화시키지 않으면서 노화를 조절할 수 있는 방법을 개발한다면 더 큰 효과를 기대할 수 있을 것이다.

우리나라에서 찰벼는 주로 찰밥과 떡으로 이용되어 왔으며, 이외에도 술, 고추장, 유과, 강정 등으로 만들어 활용된다 (Chun et al. 2010, Kang et al. 2000, Kang & Sung 2000). 특히, 전통식품의 하나인 찰떡은 식생활 패턴이 다양화 및 고급화됨으로 인해 특유의 쫄깃하고 부드러운 질감과 더불어 일정기간 그대로 먹을 수 있는 장점이 있어 간편식이나 아침 식사 대용으로 이용률이 증가하는 추세이다. 일본에서는 56종의 찰벼 품종이 개발 보급되어 찰벼 종류에 따른 찰쌀가루 (백옥분), 찰떡 경단, 쌀과자, 양조 가공 등 다양하게 이용되고 있다.

따라서 본 연구에서는 국내에서 육성되고 있는 품종과 속기가 다른 14종 찰벼의 전분 특성을 분석하였고, 찰떡을 제조하여 찰기 관련 조직감의 특성 차이를 비교하였으며, 이를 통한 찰벼 품종별 찰떡의 찰기 관련 전분 및 호화 특성을 구명하여 찰벼의 이용 확대 및 품종개발의 기초자료를 얻고자 수행하였다.

재료 및 방법

실험재료

본 실험에 사용된 14종의 찰벼 재료는 조생종인 상주찰, 청백찰, 진부찰, 진설찰의 4종과 중생종인 보석찰, 해평찰, 화선찰, 설향찰, 한강찰1호의 5종, 중만생종인 신선찰, 눈보라, 백설찰, 동진찰, 백옥찰의 5종이다. 2013년도에 농촌진흥청 국립식량과학원 남양시험지에서 표준재배법에 의해 재배 생산하여 수확하였다. 왕겨를 제거한 현미시료를 시험용 도정기 (MC-90A, Toyo, Japan)을 이용하여 정백율 90.4%로 도정한 후 진공 포장하여 4°C 냉장실에 보관하며 분석에 사용하였다. 찰쌀의 이화학 성분 분석을 위하여 쌀가루는 분쇄기 (Cyclotec TM 1093, FOSS Co., Denmark)를 이용한 후 100 메쉬 체에 통과시킨 후 사용하였고, 찰쌀 전분은 알칼리 침지법에 의해 분리하였다(Yamamoto et al. 1973).

찰벼 품종별 백도 및 쌀알 경도, 일반 성분 분석

찰벼 백미의 외관 특성인 백도는 백도계(Model C-300-3, Kett Electric Lab, Tokyo, Japan)를 이용하여 측정하였으며, 일반 성분은 AOAC (Association of Official Analytical

Chemists 2000) 방법에 의하여 수분 함량은 상압가열 건조법, 조단백질은 Micro Kjeldahl법, 조지방은 n-hexane을 사용한 Soxhlet법으로 측정하였다. 찰쌀 1립의 경도는 물성측정기(TA-XT2, Stable Micro System, Haslemere, UK)를 이용하였으며, Probe의 직경은 5 mm로 시료별 측정 횟수는 10회, 3반복을 실시하였다.

전분 구조 및 호화점도 분석

아밀로스 함량은 Juliano (1985)의 비색정량법에 따라 시료 100 mg에 95% 에탄올과 1N sodium hydroxide를 가한 후 호화시킨 전분 호화액에 1N acetic acid와 0.2% I₂-KI 용액을 첨가하여 요오드 정색반응 후 분광광도계를 통한 620 nm 파장에서의 흡광도를 측정하였다.

아밀로펙틴 측쇄 사슬길이 분포는 HPAEC-PAD (high performance anion exchange chromatography-pulsed amperometric detection)으로 분석하였다(Hanashiro et al. 1996). 시료 6 mg에 90% methanol 처리 후, 중탕 가열한 호화액에 sodium azide 용액과 600 mM sodium acetate buffer (pH 4.4), isoamylase를 첨가하여 37°C에서 24시간 반응 후 분석용으로 사용하였다. 분석에 사용한 컬럼은 CarboPac TM PA-1 column (2.0 × 250 mm, Dionex, USA), 이동상 용매는 150 mM sodium hydroxide와 500 mM sodium acetate를 분당 1.0 ml의 유속으로 흘려 분리하였고, 기체는 질소를 사용하였다.

찰벼 품종별 쌀가루 및 전분의 가열에 의한 호화점도 특성은 AACC 방법(American Association of Cereal Chemists 2000)에 의하여 신속점도측정기기(RVA-4, Newport scientific, Australia)를 이용하여 분석하였다. 쌀가루 3 g(수분 14% 기준)에 25 ml 증류수로 현탁액을 만들어 50°C부터 호화를 시작하여 95°C까지 상승시킨 후 50°C로 다시 냉각시키면서 호화 점도 변화를 측정하였다.

찰떡의 물리적 특성 변화

찰벼 품종별 찰떡 제조를 위한 찰쌀가루는 기류식제분기 (ACM185, Hankook Crusher Co., Korea)를 이용하여 분쇄하였다. 건식찰쌀가루 150g에 0.7배의 물을 첨가하여 반죽하고 찜통에서 25분간 찌 후 20°C에서 0, 1, 2일 동안 저장하면서 Texture analyzer (TA-XT2, Stable Micro System, Haslemere, UK)를 이용하여 조직감의 특성 변화를 측정하였다. 측정을 위한 조건으로 원통형의 알루미늄 probe의 직경은

10 cm 을 사용하였고, 70%의 deformation rate와 1.0 mm/sec 의 test speed 로 경도(hardness), 부착성(adhesiveness), 응집성(cohesiveness) 및 탄력성(springiness)을 측정하였다.

통계 분석

통계분석은 SAS 9.2 (Statistical Analysis Systems Inc., Raleigh, NC, USA)을 이용하여 분산분석(ANOVA) 및 던컨의 다중범위검정(Duncan's multiple range test)으로 5% 유의수준에서 검정하였으며, 상관관계는 Pearson의 상관계수로 나타내었다.

결과 및 고찰

찰벼 품종의 외관 특성 및 일반성분

찰벼 품종별 찰떡의 찰기와 관련된 전분 특성을 구명하기 위해 쌀 외관 특성인 백도와 쌀알 1립의 경도 측정한 결과는 Table 1과 같다. 찰쌀은 투명한 멍쌀과 달리 불투명한 유백색을 나타내는데, 동일한 찰벼라도 품종과 숙기에 따라 외관상의 뽀얀 정도는 차이가 있었고, 숙기에 따라 조생종 < 중생종

< 중만생종 순으로 백도 차이가 확인되었다.

본 시험에 공시한 찰벼 14 품종 백미의 수분함량은 12.1~13.4%로, 숙기에 따른 품종의 평균 수분 함량 차이는 크지 않았다. 조단백질 함량은 6.0~8.4%로 상주찰을 제외한 청백찰, 진부찰, 진설찰의 조생종 품종이 7.0~8.4%로 중생종과 중만생종에 비해 다소 높은 경향을 나타냈다(Table 1). 이는 우리나라에서 재배하는 벼 품종 중에서 조생종이 중만생종에 비해 쌀단백질 함량이 약간 높은 경향을 나타낸다는 보고(Choi 2002)와 유사하였다. 또한, 쌀의 단백질 함량은 품종간의 차이 변이 외에도 재배 시 질소 시비량이 증가되거나 적기에 수확되지 않아 등숙이 길어짐에 따라 상대적으로 그 함량이 증가되어 쌀의 품질을 저하시키는 요인이 된다(Chae & Jun 2002). 쌀의 지방 함량은 품종이나 재배환경에 따라 현미의 경우 1~4%, 백미의 경우 0.2~2% 차이 변이를 나타낸다(Juliano 1985). 또한, 찰쌀은 멍쌀에 비해 조지방의 함량이 다소 높은 경향을 나타내는 것으로(Kim & Shin 2007), 본 연구의 찰벼 품종별 조지방 함량은 0.6~1.0%로 품종에 따른 함량 차이는 크지 않았으며, 진부찰과 진설찰이 유의적으로 낮았다.

Table 1. Whiteness, proximate composition, and grain hardness of fourteen glutinous rice varieties.

Maturing group	Variety	Whiteness	Moisture (%)	Protein (%)	Lipid (%)	Hardness (g)
Early	Sangjuchal	48.4 ⁱ	12.6 ^e	6.1 ^e	0.9 ^d	4,273 ^b
	Cheongbaekchal	50.5 ^g	12.7 ^{de}	7.0 ^c	1.0 ^b	4,463 ^a
	Jinbuchal	48.2 ⁱ	12.6 ^e	7.5 ^b	0.6 ^{gh}	4,010 ^{cd}
	Jinseolchal	50.4 ^g	12.6 ^e	8.4 ^a	0.6 ^h	3,856 ^d
	Mean	49.4 ^C	12.6 ^A	7.3 ^A	0.8 ^A	4,151 ^A
Medium	Boseogchal	50.3 ^g	12.3 ^{fg}	6.0 ^{ef}	0.7 ^{fg}	3,856 ^d
	Hangangchal 1	50.9 ^f	12.2 ^g	6.0 ^{ef}	0.8 ^d	3,068 ^f
	Haepyeongchal	51.6 ^e	12.4 ^f	5.7 ^g	1.0 ^a	3,617 ^e
	Hwaseonchal	49.5 ^h	13.4 ^a	6.4 ^d	0.8 ^d	4,428 ^{ab}
	Seolhyangchal	51.8 ^e	12.9 ^{bc}	5.6 ^h	0.8 ^d	4,074 ^c
	Mean	50.8 ^B	12.6 ^A	5.9 ^B	0.8 ^A	3,808 ^B
Mid-late	Sinseonchal	52.4 ^d	12.8 ^{cd}	6.0 ^f	0.9 ^c	3,923 ^{cd}
	Nunbora	48.1 ⁱ	13.2 ^a	6.0 ^f	1.0 ^a	4,061 ^c
	Baegseolchal	54.4 ^b	12.1 ^g	6.0 ^f	0.7 ^f	3,906 ^{cd}
	Dongjinchal	53.3 ^c	12.7 ^{de}	6.2 ^e	0.8 ^e	4,080 ^c
	Baekogchal	55.3 ^a	13.0 ^b	5.7 ⁱ	0.7 ^e	3,856 ^d
	Mean	52.7 ^A	12.8 ^A	6.0 ^B	0.8 ^A	3,965 ^{AB}

Different lower case letters within the column indicate significant difference at $p < 0.05$

Different upper case letters (A, B, and C) of mean values according to the maturity indicate significant difference at $p < 0.05$

품종별 찹쌀 1립의 경도는 3068~4463 g로 중생종의 통일형 타입의 찰벼인 한강찰1호가 가장 낮게 나타난 반면, 조생종인 청백찰이 다른 찹쌀 품종에 비해 유의적으로 높게 나타났다. 동일한 품종의 쌀 경도는 수분과 단백질 함량 등에 의해 영향을 받으며, 그 중에서 특히 수분 함량이 가장 크게 영향을 주는 것으로 알려져 있다. 또한, 앞서 제시된 조생종 품종의 단백질 함량이 근소하지만 높은 경향을 나타내어, 이로 인한 찹쌀 배유의 정도 차이를 보인 것으로 여겨진다.

찰벼 품종별 전분 특성 차이

찰벼의 호화 및 찰기 관련하여 품종별 전분의 아밀로스 함량 및 아밀로펙틴의 측쇄사슬길이 분포 차이를 비교하였다 (Table 2). 찰벼 품종별 아밀로스 함량은 4.5~5.6%을 나타냈으며, 신선찰을 제외한 중만생종인 눈보라, 백설찰, 동진찰, 백옥찰은 4.5~4.9%로 조생종이나 중생종에 비해 상대적으로 낮은 함량을 나타냈다. 일반적으로 일반 메벼의 아밀로스 함량은 등숙 기간 중 온도에 따라 함량 차이를 나타내는데, 고온 조건에서는 아밀로스 함량이 낮아지는 반면, 저온 조건

에서는 높아지는 경향을 보인다(Patindol & Wang 2003). 특히, 일반 메쌀에 비해 아밀로스 함량이 적은 품종일수록 등숙 온도에 따른 변동이 더욱 크게 나타나는 경향이라고 하는데 (Choi 2002), 고아밀로스 품종의 경우는 일반 메벼와 달리 고온 등숙 조건에서 아밀로스 함량 변화가 적거나 오히려 높아지는 경향을 나타낸다고 보고되어 있다(Zhong et al. 2005). 본 연구에서 찰벼 조생종 품종에 비해 중만생종의 아밀로스 함량이 더 낮은 경향을 띤 것은 숙기와 품종적 특성 차이에 기인된 것으로 생각되며, 이와 관련하여 동일한 찰벼 품종의 고온 등숙 조건에서의 전분 특성 변화에 대한 세부적인 연구가 필요하다고 사료된다. 중만생종의 신선찰벼의 경우만 아밀로스 함량이 조생종 품종과 유사한 경향을 나타냈다.

찹쌀은 거의 아밀로펙틴으로 구성된 전분으로 메쌀에 비해 가공 용도가 다양하고 품질 특성에 차이를 나타낸다. 찰벼 품종별 전분의 아밀로펙틴 구조적인 차이를 나타내는 중합도 (DP, Degree of polymerization) 분석 결과(Table 2), DP 6~12의 짧은 사슬(A) 비율은 32.5~33.4%, B₁ (DP 13~24)은 51.6~53.5%, B₂ (DP 25~36)은 10.7~11.3%, B₃ (36<DP)

Table 2. Varietal differences of amylose content and amylopectin chain length distribution in fourteen glutinous rice varieties.

Maturing group	Variety	Amylose (%)	Amylopectin chain length distribution			
			DP ≤ 12 (A, %)	12 < DP ≤ 24 (B ₁ , %)	24 < DP ≤ 36 (B ₂ , %)	36 < DP < 60 (B ₃ , %)
Early	Sangjuchal	5.6 ^a	32.8 ^{bc}	52.4 ^e	11.3 ^a	3.52 ^{bc}
	Cheongbaekchal	5.2 ^d	32.9 ^b	52.6 ^d	11.2 ^a	3.19 ^{de}
	Jinbunchal	5.4 ^{bc}	32.6 ^{bcd}	53.1 ^{bc}	11.1 ^{bc}	3.15 ^{def}
	Jinseolchal	5.2 ^{cd}	32.6 ^{cd}	53.2 ^{bc}	11.1 ^{bc}	3.17 ^{def}
	Mean	5.3 ^A	32.7 ^B	52.8 ^A	11.2 ^A	3.26 ^B
Medium	Boseogchal	5.5 ^b	32.5 ^d	52.2 ^e	11.0 ^{cd}	3.88 ^a
	Hangangchal 1	5.2 ^{cd}	32.8 ^{bc}	53.5 ^a	10.7 ^e	2.99 ^f
	Haepyeongchal	5.0 ^{de}	32.9 ^b	53.2 ^{bc}	10.9 ^{de}	3.03 ^{ef}
	Hwaseonchal	5.2 ^{cd}	32.7 ^{bcd}	53.3 ^{ab}	10.9 ^{de}	3.08 ^{def}
	Seolhyangchal	5.2 ^{cd}	32.5 ^{cd}	53.1 ^c	11.0 ^{cd}	3.42 ^c
	Mean	5.2 ^A	32.7 ^B	53.1 ^A	10.9 ^B	3.28 ^B
Mid-late	Sinseonchal	5.4 ^{bc}	32.7 ^{bcd}	53.0 ^c	10.9 ^{cd}	3.24 ^d
	Nunbora	4.9 ^{cf}	32.9 ^b	51.9 ^f	11.2 ^{ab}	4.04 ^a
	Baegseolchal	4.5 ^g	33.4 ^a	51.6 ^g	11.3 ^a	3.66 ^b
	Dongjinchal	4.5 ^g	33.4 ^a	51.9 ^f	11.0 ^{cd}	3.48 ^{bc}
	Baekogchal	4.8 ^f	33.4 ^a	51.9 ^f	11.0 ^{bc}	3.66 ^b
	Mean	4.8 ^{AB}	33.2 ^A	52.1 ^B	11.1 ^A	3.62 ^A

Different lower case letters within the column indicate significant difference at $p < 0.05$

Different upper case letters (A, B, and C) of mean values according to the maturity indicate significant difference at $p < 0.05$

은 2.99~4.04% 차이를 나타냈다. 짧은 사슬(A)인 DP 6-12 비율은 품종에 따른 차이 변이는 크지 않았으며, 중만생종인 백설찰, 동진찰, 백옥찰이 다른 품종에 비해 0.5~0.9% 높게 나타낸 반면, 중간 사슬인 DP 13-24 분포 비율은 상대적으로 0.8~1.9% 낮았다. 또한 중만생종 품종들은 DP 37이상인 장쇄 분포 비율에서도 근소하지만 조생종과 중생종 찰벼 품종에 비해 높은 비율을 나타냈다.

찰벼의 전분 조성 차이 비교 결과, 중만생종 품종은 조생종과 중생종에 비해 아밀로스 함량은 낮았고, 아밀로펙틴 DP 6-12의 짧은 사슬 비율과 DP 37 이상인 장쇄 비율은 높은 반면, 중간사슬인 DP 13-24 분포에서는 낮은 경향을 나타냄을 확인하였다. 이러한 찰벼 품종의 전분 조성 차이로 인해 호노화 특성 및 찰떡의 품질 특성에 영향을 미칠 것으로 예상된다 (Karim et al. 2000, Wang & Wang 2002).

찰벼 품종별 호화점도 차이 비교

참쌀은 멥쌀에 비해 아밀로스 함량이 매우 낮아 호화가 쉽게 이루어지는 반면, 노화는 더디게 진행되는 것으로 알려져 있다(Zhou et al. 2002). 본 연구에서는 찰벼의 호화 특성을 비교하기 위해 신속점도계를 통한 쌀가루와 전분의 호화 점도를 분석하였으며 그 결과, 찰벼 품종에 따라 유의적인 차이를 보였을 뿐만 아니라 쌀가루와 전분과의 호화점도 차이도 큼을 확인할 수 있었다(Table 3). 우선, 찰벼 14종 쌀가루의 호화점도 비교에서, 최고(peak)와 최저(trough), 최종(final), 강하(breakdown) 및 치반(setback)점도는 각각 83.6~215.5 RVU, 26.8~90.1 RVU, 36.3~115.6 RVU, 46.2~125.4 RVU, -35.0~-99.9 RVU 범위로 품종별 유의적인 차이를 나타냈다. 특히, 통일형 찰벼인 한강찰1호가 최고, 최저, 최종, 강하점도는 상당히 높고, 치반점도는 낮아 다른 찰벼 품종에 비해 유의적으로 상이한 결과를 나타냈다. 이러한 통일형 한강찰1호의 높은 호화점도 특성은 생태형이 다른 찰

Table 3. Pasting properties of rice flours and starches for fourteen glutinous rice cultivars by Rapid Visco-Analyzer.

Maturing group	Variety	Flours						Starches							
		Viscosity properties (RVU)					Peak Time (min.)	Pasting Temp. (°C)	Viscosity properties (RVU)					Peak Time (min.)	Pasting Temp. (°C)
		Peak (p)	Trough (T)	Final (F)	Break-down (P-T)	Setback (F-P)			Peak (p)	Trough (T)	Final (F)	Break-down (P-T)	Setback (F-P)		
Early	Sangjuchal	83.6 ^k	37.4 ⁱ	48.5 ^j	46.2 ⁱ	-35.0 ^a	3.67 ^{ab}	68.10 ^{abc}	127.5 ^j	63.3 ^e	77.7 ^g	64.2 ^k	-49.8 ^e	4.20 ^a	68.10 ^c
	Cheongbaekchal	119.2 ^c	53.4 ^d	68.3 ^d	65.8 ^d	-50.9 ^h	3.62 ^{bc}	68.03 ^c	139.0 ^b	61.5 ^h	85.0 ^b	77.5 ^b	-54.0 ^j	3.93 ^d	68.05 ^d
	Jinbuchal	98.0 ⁱ	44.4 ^g	58.2 ^g	53.6 ^h	-39.8 ^b	3.69 ^a	68.03 ^c	130.4 ^g	64.2 ^c	79.8 ^c	66.3 ^j	-50.7 ^f	4.07 ^b	68.15 ^b
	Jinseolchal	123.3 ^d	60.1 ^c	78.1 ^b	63.2 ^c	-45.2 ^d	3.73 ^a	68.10 ^{abc}	133.5 ^f	64.9 ^b	82.5 ^c	68.6 ^g	-51.0 ^g	4.07 ^b	68.05 ^d
	Mean	106.0 ^B	48.8 ^B	63.3 ^B	57.2 ^B	-42.7 ^A	3.66 ^A	68.05 ^A	132.6 ^A	63.5 ^A	81.3 ^A	69.2 ^B	-51.5 ^A	4.07 ^A	68.09 ^A
Medium	Boseogchal	107.8 ^h	50.6 ^e	65.3 ^c	57.1 ^g	-42.4 ^c	3.60 ^{cd}	68.10 ^{abc}	135.0 ^e	63.2 ^f	80.5 ^d	71.8 ^e	-54.5 ^k	4.00 ^c	68.05 ^d
	Hangangchal 1	215.5 ^a	90.1 ^a	115.6 ^a	125.4 ^a	-99.9 ^k	3.53 ^e	68.12 ^{abc}	137.7 ^c	63.8 ^d	79.4 ^f	73.9 ^d	-58.3 ^l	3.87 ^c	68.00 ^e
	Haepyeongchal	111.1 ^g	48.6 ^f	63.3 ^f	62.5 ^e	-47.8 ^{ef}	3.55 ^{de}	68.06 ^{abc}	128.8 ⁱ	60.9 ⁱ	76.5 ^h	67.8 ^h	-52.3 ^h	3.93 ^d	68.00 ^e
	Hwaseonchal	99.2 ⁱ	43.4 ^g	57.3 ^g	55.8 ^g	-42.0 ^c	3.69 ^a	68.12 ^{abc}	137.3 ^d	62.3 ^g	77.7 ^g	75.1 ^c	-59.7 ^m	4.00 ^c	68.05 ^d
	Seolhyangchal	126.3 ^c	61.2 ^b	76.4 ^c	65.1 ^d	-49.9 ^{gh}	3.67 ^{ab}	68.08 ^{abc}	174.8 ^a	79.6 ^a	101.3 ^a	95.3 ^a	-73.5 ⁿ	3.93 ^d	68.00 ^e
	Mean	132.0 ^A	58.8 ^A	75.6 ^A	73.2 ^A	-56.4 ^B	3.61 ^A	68.09 ^A	142.7 ^A	65.9 ^A	83.1 ^A	76.8 ^A	-59.6 ^B	3.95 ^B	68.02 ^A
Mid-late	Sinseonchal	114.6 ^f	49.7 ^e	63.7 ^f	64.9 ^d	-50.9 ^h	3.58 ^{cde}	68.02 ^c	130.0 ^h	60.3 ^j	77.7 ^g	69.7 ^f	-52.3 ⁱ	4.00 ^c	68.15 ^b
	Nunbora	83.2 ^k	26.8 ^j	36.3 ^l	56.4 ^g	-46.9 ^c	3.33 ^f	68.05 ^{bc}	122.2 ^k	58.1 ^k	73.2 ⁱ	64.1 ^l	-49.0 ^d	3.80 ^f	68.20 ^a
	Baegseolchal	135.6 ^b	42.1 ^h	55.0 ^h	93.5 ^b	-80.6 ^j	3.18 ^h	68.20 ^a	112.8 ^m	52.8 ^m	63.9 ^l	60.0 ^m	-48.8 ^c	3.73 ^g	68.00 ^e
	Dongjinchal	86.8 ^j	27.6 ^j	37.7 ^k	59.3 ^f	-49.1 ^{fg}	3.27 ^g	68.13 ^{abc}	112.1 ⁿ	54.8 ^l	64.6 ^k	57.3 ⁿ	-47.5 ^b	3.80 ^f	68.05 ^d
	Baekogchal	126.5 ^c	38.3 ⁱ	50.4 ⁱ	88.2 ^c	-76.2 ⁱ	3.22 ^{gh}	68.18 ^{ab}	118.3 ^l	51.8 ⁿ	70.8 ^j	66.4 ⁱ	-47.4 ^a	3.73 ^g	68.05 ^d
	Mean	109.3 ^{AB}	36.9 ^C	48.6 ^C	72.5 ^A	-60.7 ^B	3.32 ^B	68.12 ^A	119.1 ^B	55.6 ^B	70.0 ^B	63.5 ^B	-49.0 ^A	3.81 ^C	68.09 ^A

Different lower case letters within the column indicate significant difference at $p < 0.05$

Different upper case letters (A, B, and C) of mean values according to the maturity indicate significant difference at $p < 0.05$

벼의 이화학 특성에서 인디카 찰벼 품종은 자포니카 품종에 비해 최고, 강하, 최저, 최종점도가 높은 경향을 나타낸다는 결과(Choi 2002)와 유사하였다. 노화 정도를 나타내는 치반(setback) 점도는 통일형 한강찰 1호를 제외한 자포니카 중만생종의 백설찰과 백옥찰이 각각 -80.6 RVU, -76.2 RVU로 다른 품종에 비해 낮았다. 최고점도에 이르는 피크시간(peak time)은 3.18~3.73분으로 찰벼 품종별 유의적인 차이를 나타냈다. 특히, 중만생종 품종들의 피크시간이 조생종과 중생종에 비해 낮은 경향을 보였다.

한편, 찰벼의 품종별 전분 분획을 통한 호화점도 특성을 분석한 결과, 최고(peak)와 최저(trough), 최종(final), 강하(break-down) 및 치반(setback)점도는 각각 112.1~174.8 RVU, 51.8~79.6 RVU, 63.9~101.3 RVU, 57.3~95.3 RVU, -73.5~-47.4 RVU 범위로 대부분의 찰벼 품종 역시 전분의 호화점도 특성이 쌀가루에 비해 높아지는 경향을 나타냈다. 전분에 비해 쌀가루의 호화점도가 낮은 것은 찰쌀의 팽윤과 호화시 쌀가루에 포함된 단백질과 지방 등 성분들에 의해 호화 특

성이 억제됨으로 기인된 결과로 생각된다(Fitzgerald et al. 2003). 특히, 상주찰과 설향찰의 전분 최고(peak)점도와 강하(breakdown)점도는 쌀가루에 비해 각각 43.9~48.5 RVU, 18.0~30.1 RVU의 차이 폭으로 크게 증가한 반면, 통일형의 한강찰1호는 전분의 호화점도 특성이 두드러지게 감소하였다. 생태형이 다른 품종들의 호화점도 특성 차이와 관련하여 추후 세부적인 원인 구명이 필요할 것으로 여겨진다.

이와 같이 동일한 찰벼 품종이라도 전분의 아밀로펙틴 측쇄사슬 분포가 다르고, 호화점도 특성 또한 차이를 나타내어 이들의 상관관계를 확인하였다(Fig. 1). 찰쌀의 아밀로펙틴 측쇄사슬에서 짧은 사슬(A)인 DP 6-12과 중간 사슬인 DP 13-24 분포는 쌀가루와 전분의 호화점도 특성인 피크시간(peak time)과 최저(trough), 최종(final) 점도와 유의적인 상관관계를 나타냈다($p < 0.05$, $p < 0.01$, $p < 0.001$). 찰벼 호화시 최고점에 이르는 피크시간은 아밀로펙틴의 짧은 사슬인 DP 6-12과는 고도의 부의 상관관계를 보였고($r = -0.76^{**}$, $r = -0.90^{***}$), 아밀로펙틴의 중쇄사슬인 DP 13-24이 높을수록 피

Fig. 1. Relationship between amylopectin chain length distribution and pasting properties of fourteen glutinous rice varieties.

크시간($r = 0.55^*$, $r = 0.80^{***}$), 최저점도($r = 0.62^*$, $r = 0.67^{**}$), 및 최종점도($r = 0.60^*$, $r = 0.67^{**}$)은 유의적으로 증가하는 정 상관관계를 나타냈다.

찰떡의 물리적 특성 변화

찰벼 품종별 건식 찰쌀가루를 이용하여 찰떡을 제조하였고, 20°C에서 0, 1, 2일 동안 저장하면서 시간 경과에 따른 찰떡의 물리적 특성 변화를 분석 비교하였다(Table 4). 우선, 찰떡의 단단한 정도를 나타내는 초기 경도(hardness) 측정 결과, 중만생종인 백설찰과 중생종이 보석찰이 각각 17,042 g, 17,351 g으로 다른 품종에 비해 상대적으로 경도가 낮았다. 숙기에 따른 찰떡의 초기 경도 비교에선, 중만생종 품종이 낮은 경향을 보였으며, 조생종 > 중생종 > 중만생종 순으로 $p < 0.05$ 수준에서 유의적인 차이를 나타냈다(Fig. 2).

Texture Analyzer를 이용한 식품의 물리적 특성에서, 부착성(adhesiveness)은 식품 표면이 접촉 부위에 달라붙는 힘을 극복하는데 필요한 일의 양으로 정의되고, 본 연구에서는 찰떡의 끈적끈적한 성질을 비교할 수 있다(Karim et al. 2000). 찰떡의 초기 부착성(adhesiveness)을 보면, 경도(hardness)가 낮았던 보석찰이 다소 높게 나타냈지만 품종간의 유의적인

차이는 확인되지 않았다. 조생종과 중생종, 중만생종의 숙기에 따른 부착성의 결과에서도 유의적인 차이는 없었다(Fig. 2). 찰떡의 탄력성(springiness)은 경도가 높았던 조생종 품종들이 높은 경향을 나타낸 반면, 응집성(cohesiveness)은 품종 및 숙기에 따른 유의적인 차이를 보이지 않았다(Table 4).

찰벼의 노화와 관련하여, 제조한 찰떡을 1, 2일 저장함에 따른 물리적 특성 변화를 통하여 찰기 지속성 여부를 확인하였다(Table 4, Fig. 2). 찰떡의 경도(hardness)는 저장기간이 길어질수록 높아졌으며, 노화가 진행됨에 따라 품종 및 숙기별 유의적인 차이를 나타냈다. 1일 경과 후 품종별 찰떡의 경도 변화 차이를 보면, 초기 경도가 높았던 조생종인 상주찰이 1일 후 31,550 g으로 가장 높게 나타낸 반면, 중만생종인 눈보라는 20,528 g로 유의적으로 낮았다. 2일 경과 후에는 중만생종인 동진찰과 백옥찰, 백설찰이 다른 품종에 비해 경도가 낮았으며, 대체적으로 중만생종 품종이 저장에 따른 찰떡의 경도가 낮았고, 경도 변화가 완만함을 확인할 수 있었다(Fig. 2). 또한, 찰떡의 저장에 따른 숙기별 경도(hardness) 차이 비교에서도 1일 경과 후에는 중만생종이 경도가 낮은 경향을 보였고, 2일 경과 후에도 중만생종이 가장 낮아 조생종 > 중생종 > 중만생종 순으로 유의적인 차이를 나타냈다($p < 0.05$). 본

Table 4. Textural properties of rice cake from fourteen glutinous rice varieties during storage at 20°C.

Maturing group	Variety	Storage time (day)											
		0				1				2			
		Hardness (g)	Adhesive-ness (g.s)	Spring-iness	Cohesive-ness	Hardness (g)	Adhesive-ness (g.s)	Spring-iness	Cohesiv-eness	Hardness (g)	Adhesive-ness (g.s)	Spring-iness	Cohesive-ness
Early	Sangjuchal	21,302 ^{ab}	-10,425 ^{bcd}	0.81 ^a	0.52 ^{bcd}	31,550 ^a	-19,973 ^e	0.81 ^{ab}	0.50 ^{bcd}	41,049 ^a	-20,602 ^{ab}	0.72 ^{bc}	0.32 ^f
	Cheongbaekchal	21,884 ^a	-9,823 ^{bc}	0.80 ^{abc}	0.54 ^{abc}	26,425 ^{bcd}	-16,328 ^{bcd}	0.82 ^a	0.51 ^{bc}	41,388 ^a	-20,417 ^{ab}	0.70 ^{cd}	0.37 ^{de}
	Jinbuchal	21,972 ^a	-10,459 ^{bcd}	0.80 ^{abc}	0.52 ^{bcd}	27,510 ^{bcd}	-17,742 ^{de}	0.80 ^{bc}	0.51 ^{bc}	41,602 ^a	-21,612 ^{ab}	0.68 ^{de}	0.36 ^{de}
	Jinseolchal	21,288 ^{ab}	-10,724 ^{cd}	0.80 ^{abc}	0.51 ^d	23,397 ^f	-13,976 ^{abc}	0.82 ^a	0.51 ^{bc}	39,009 ^b	-20,480 ^{ab}	0.73 ^b	0.39 ^{cd}
Medium	Boseogchal	17,351 ^{ef}	-8,557 ^a	0.77 ^{cde}	0.54 ^{ab}	24,786 ^{ef}	-17,928 ^{de}	0.81 ^{ab}	0.50 ^{bcd}	39,163 ^b	-18,966 ^{ab}	0.70 ^{cd}	0.36 ^c
	Hangangchal 1	18,740 ^{cd}	-9,483 ^{ab}	0.78 ^{bcd}	0.53 ^{bcd}	24,588 ^{ef}	-13,082 ^a	0.81 ^{ab}	0.50 ^{bcd}	30,706 ^f	-18,523 ^{ab}	0.71 ^{bc}	0.39 ^{cd}
	Haepyeongchal	20,410 ^b	-11,225 ^d	0.79 ^{abcd}	0.52 ^{bcd}	27,922 ^{bc}	-16,319 ^{bcd}	0.81 ^{ab}	0.50 ^{bcd}	37,610 ^{bc}	-20,186 ^{ab}	0.66 ^e	0.37 ^{de}
	Hwaseonchal	17,991 ^{cdef}	-9,861 ^{bc}	0.78 ^{bcd}	0.53 ^{abc}	28,724 ^b	-15,653 ^{abcd}	0.81 ^{ab}	0.51 ^{bc}	35,386 ^d	-18,475 ^{ab}	0.67 ^e	0.37 ^{de}
	Seolhyangchal	20,796 ^{ab}	-11,089 ^d	0.78 ^{bcd}	0.52 ^{bcd}	27,448 ^{bcd}	-16,122 ^{bcd}	0.81 ^{ab}	0.50 ^{bcd}	37,800 ^{bc}	-19,574 ^{ab}	0.68 ^{de}	0.38 ^{de}
Mid-late	Sinseonchal	19,066 ^c	-9,654 ^{bc}	0.79 ^{abcd}	0.53 ^{bcd}	26,865 ^{bcd}	-14,586 ^{abc}	0.80 ^{bc}	0.51 ^{bc}	36,669 ^{cd}	-18,320 ^a	0.66 ^e	0.36 ^{de}
	Nunbora	18,619 ^{cde}	-9,859 ^{bc}	0.79 ^{abcd}	0.52 ^{bcd}	20,528 ^g	-13,948 ^{abc}	0.79 ^{cd}	0.50 ^{bcd}	32,687 ^e	-21,443 ^{ab}	0.63 ^f	0.41 ^c
	Baegseolchal	17,042 ^f	-10,218 ^{bcd}	0.77 ^{cde}	0.55 ^a	24,866 ^{ef}	-12,963 ^a	0.78 ^d	0.52 ^a	29,692 ^{fg}	-23,014 ^b	0.73 ^b	0.50 ^a
	Dongjinchal	17,468 ^{def}	-10,747 ^{cd}	0.80 ^{abc}	0.51 ^d	22,996 ^f	-13,452 ^{ab}	0.80 ^{bc}	0.49 ^e	26,111 ^h	-22,690 ^{ab}	0.76 ^a	0.47 ^b
	Baekogchal	18,850 ^{cd}	-10,358 ^{bcd}	0.78 ^{bcd}	0.55 ^a	25,789 ^{de}	-16,775 ^{cd}	0.80 ^{bc}	0.50 ^{bcd}	28,250 ^g	-22,146 ^{ab}	0.77 ^a	0.46 ^b

Different lower case letters within the column indicate significant difference at $p < 0.05$

결과를 통하여 찰벼의 중만생종 품종은 조생종이나 중생종에 비해 찰떡의 초기 경도(hardness)가 낮았을 뿐만 아니라 노화에 따른 경도 변화도 적고 완만하여 상대적으로 부드러운 질감을 유지할 수 있을 것으로 예상된다.

저장기간이 길어짐에 따라 찰떡의 부착성(adhesiveness)은 감소하는 경향을 나타냈는데, 제조 후 1일 사이에는 대부분의 품종에서 부착성이 크게 감소하였다. 1일과 2일 사이의 부착성 변화는 다소 완만한 감소 경향을 보였으나, 경도(단단함)의 증가가 적었던 중만생종이 크게 감소하였다. 또한, 저장기간이 길수록 품종별 찰떡의 탄력성(springiness)과 응집성(cohesiveness)은 감소하였으며 저장 후 1일까지는 감소 폭이 완만하였으나, 1일과 2일 사이에는 감소 폭이 컸다. 특히, 2일 후 중만생종 품종 찰떡의 응집성은 조생종이나 중생종에 비하여 높은 경향을 나타냈다(Fig. 2).

찰벼 품종별 찰기 관련 전분 및 호화 특성과의 상관

찰떡의 찰기 지속성을 확인하기 위하여 찰떡의 경도 변화와 찰쌀의 전분 및 호화 특성과의 상관관계를 분석한 결과(Table 5), 1, 2일 저장에 따라 찰떡의 경도(hardness)는 아밀로스 함량, 쌀가루 및 전분의 피크 시간(peak time)과는 정의 상관관계를 나타냈다. 아밀로펙틴의 측쇄사슬에서 짧은 사슬인 DP 6-12 분포 비율이 높을수록, 찰쌀가루의 강하(breakdown) 점도가 클수록 저장기간이 길어짐에 따른 찰떡의 경도(단단함) 변화는 유의적으로 낮아져 찰기의 지속성과 상관관계가 있음을 확인하였다. 결론적으로, 찰벼 품종별 찰떡의 찰기 관련하여 아밀로스 함량이 낮을수록, 아밀로펙틴 단쇄사슬인 DP 6-12의 분포 비율이 높을수록, 피크시간(peak time)이 짧을수록 찰떡의 경도변화는 낮은 고도의 유의한 상관관계를 보였고, 찰떡의 찰기는 지속되는 특성을 나타냈다. 따라서 이

Fig. 2. Hardness (A), adhesiveness (B), springiness (C), and cohesiveness (D) of rice cake from early, medium and mid-late maturing glutinous rice varieties during storage at 20°C.

Table 5. Correlations between hardness of rice cake and starch and pasting properties for fourteen glutinous rice cultivars.

		Relevant characters		Correlation coefficient	
Hardness	Storage time	0 day	RVA properties (Flours)	Peak time	0.645 [*]
			RVA properties (Starches)	Peak time	0.592 [*]
				Final viscosity	0.590 [*]
		1 day	Amylose		0.593 [*]
			RVA properties (Starches)	Peak time	0.608 [*]
	2 day	Amylose		0.824 ^{***}	
		Amylopectin chain length	DP≤12	-0.775 ^{**}	
		RVA properties (Flours)	Peak time	0.859 ^{***}	
			Breakdown viscosity	-0.543 [*]	
		RVA properties (Starches)	Peak time	0.835 ^{***}	
			Trough viscosity	0.593 [*]	
			Final viscosity	0.642 [*]	

^{**}, ^{*}, and ^{***} indicate significance at $p<0.05$, $p<0.01$, and $p<0.001$, respectively.

러한 전분 및 호화 특성을 통하여 찰벼 품종별 찰떡의 찰기 정도를 간접 평가하는 품질 지표로 활용할 수 있을 것이다.

적 요

본 연구에서는 국내에서 육성되고 있는 품종과 숙기가 다른 14종 찰벼의 찰기 관련 전분 및 호화 특성을 구명하여 찰벼의 이용 확대 및 품종개발의 기초 자료를 얻고자 수행하였다. 찰벼 품종별 숙기에 따라 조생종 < 중생종 < 중만생종 순으로 유백색의 정도는 차이가 있었다. 조단백질 함량은 조생종 품종이 다소 높은 경향을 나타냈다. 전분 아밀로펙틴의 구조적인 차이를 나타내는 중합도 분석 결과, 중만생종 품종이 짧은 사슬의 DP 6-12분포 비율은 높은 경향을 나타낸 반면, 중간 사슬인 DP 13-24 비율은 상대적으로 낮았다. 신속점도계를 통한 쌀가루와 전분의 호화 점도 분석 결과, 찰벼 품종별 유의적인 차이 변이를 나타냈으며, 찰벼 호화 시 최고점에 이르는 피크시간은 아밀로펙틴의 짧은 사슬인 DP 6-12분포와는 고도의 부의 상관관계를, 아밀로펙틴의 중쇄사슬인 DP 13-24분포 비율이 높을수록 피크시간과 최저, 최종점도는 유의적으로 증가하는 정의 상관관계를 나타냈다. 찰벼 품종별 찰떡의 단단한 정도를 나타내는 초기 경도 비교 결과, 중만생종 품종들이 낮은 경향을 나타내어 조생종 > 중생종 > 중만생종 순으로 유의적인 차이를 나타냈다. 찰떡을 1, 2일 저장함에 따라 중만생종 품종이 저장에 따른 찰떡의 경도가 낮았고, 경도 변화가 완만함을 확인할 수 있었다. 찰벼 품종별 찰

떡의 경도 변화와 전분 이화학 특성과의 상관성 분석 결과, 아밀로스 함량이 낮을수록, 아밀로펙틴 단쇄사슬인 DP 6-12의 분포 비율이 높을수록, 피크시간(peak time)이 짧을수록 찰떡의 경도 변화는 낮은 고도의 유의한 상관관계를 보였고 찰기는 지속되는 특성을 나타냈다.

사 사

본 연구는 농촌진흥청 연구사업(과제번호: PJ01013201)의 지원에 의해 이루어진 것임.

REFERENCES

1. AACC. 2000. Approved Method of the AACC. 10th ed. Method 61-02. American Association of Cereal Chemists. St. Paul, MN, USA.
2. AOAC. 2000. Official Methods of Analysis. 17th ed. Association of Official Analytical Chemists. Washington, DC, USA.
3. Chae JC, Jun DK. 2002. Effect of harvest time on yield and quality of rice. Korean J. Crop Sci. 47: 254-258.
4. Choi HC. 2002. Current status and perspectives in varietal improvement of rice cultivars for high-quality and value-added products. Korean J. Crop Sci. 47: 15-32.
5. Chun A, Kim DJ, Yoon MR, Oh SK, Hong HC, Choi IS, Woo KS, Kim KJ, Ju SC. 2010. Variation in quality and

- preference of Sogokju (Korean Traditional Rice Wine) from waxy rice varieties. Korean J. Crop Sci. 55: 177-186.
6. Chung HJ, Lim HS, Lim ST. 2006. Effect of partial gelatinization and retrogradation on the enzymatic digestion of waxy rice starch. J. Cereal Sci. 43: 353-359.
 7. Fitzgerald MA, Martin M, Ward RM, Park WD, Shead HJ. 2003. Viscosity of rice flour: A rheological and biological study. J. Agric. Food Chem. 51: 2295-2299.
 8. Hanashiro L, Abe JI, Hizukuri S. 1996. A periodic distribution of the chain length of amylopectin as revealed by high-performance anion-exchange chromatography. Carbohydrate Res. 283: 151-159.
 9. Juliano BO. 1985. Polysaccharide, proteins, and lipids of rice. In Rice chemistry and technology. The American Association of Cereal Chemists, Inc., St. Paul, MN, USA. 59-174.
 10. Kang MY, Sung YM. 2000. Varietal differences in quality characteristics of Yukwa (fried rice cookie) made from fourteen glutinous rice cultivars. Korean J. Food Sci. Technol. 32: 69-74.
 11. Kang MY, Koh HJ, Sung YM. 2000. Varietal difference in quality characteristics of Korean rice cake in glutinous rice. Korean J. Breed. Sci. 32: 26-32.
 12. Karim AA, Norziah MH, Seow CC. 2000. Methods for the study of starch retrogradation. Food Chem. 71: 9-36.
 13. Kim JO, Kim WS, Shin MS. 1997. A comparative study on retrogradation of rice starch gels by DSC, X-ray and α -amylase methods. Starch 49: 71-75.
 14. Kim K, Choi GC, Kang KJ, Lee YH, Kim SK. 1992. Molecular structural properties of waxy rice starch. Korean J. Food Sci. Technol. 24: 568-573.
 15. Kim WS, Sin M. 2007. The properties of rice flours prepared by dry- and wet-milling of soaked glutinous and normal grains. Korean J. Food Cookery Sci. 23: 908-918.
 16. Miles MJ, Morris VJ, Oxford PD, Ring SG. 1985. The roles of amylose and amylopectin in the gelation and retrogradation of starch. Carbohydr. Res. 135: 271-281.
 17. Patindol J, Wang YJ. 2003. Fine structures and physicochemical properties of starches from chalky and translucent rice kernels. J. Agric. Food Chem. 51: 2777-2784.
 18. Vandeputtea GE, Vermeylena R, Geeromsb J, Delcour JA. 2003. Rice starches. III. Structural aspects provide insight in amylopectin retrogradation properties and gel texture. J. Cereal Sci. 38: 61-68.
 19. Yamamoto K, Sawada S, Onkai T. 1973. Properties of rice starch prepared by alkali method with various conditions. J. Japan Soc. Starch Sci. 20: 99-104.
 20. Wang YJ, Wang L. 2002. Structures of four waxy rice starches in relation to thermal, pasting, and textural properties. Cereal Chem. 79: 252-256.
 21. Zhong LJ, Cheng FM, Wen X, Sun ZX, Zhang GP. 2005. The deterioration of eating and cooking quality caused by high temperature during grain filling in early-season *indica* rice cultivars. J. Agronomy Crop Sci. 191: 218-225.
 22. Zhou Z, Robards K, Helliwell S, Blanchard C. 2002. Composition and functional properties of rice. Int. J. Food Sci. Technol. 37: 849-868.