일품벼 돌연변이 유래 고아밀로스 벼품종의 저항전분 특성

윤미라* · 이점식 · 이정희 · 박지은 · 천아름 · 김보경

농촌진흥청 국립식량과학원

Content and Characteristics of Resistant Starch in High Amylose Mutant Rice Varieties Derived from *Ilpum*

Mi-Ra Yoon*, Jeom-Sig Lee, Jeong-Heui Lee, Jieun Kwak, Areum Chun, and Bo-Kyeong Kim

National Institute of Crop Science, RDA, Suwon 441-857, Korea

Abstract : This study was conducted to analyze the starch characteristics of three rice cultivars, *Goami 2*, *Goami 3* and *Goami 4* with high amylose content and resistant starch. These rice varieties were developed by mutation breeding based on *N*-methyl-*N*-nitrosourea (MNU) treatment in a japonica variety, *Ilpum*. Resistant starch contents of three high amylose mutant rice varieties and *Ilpum* were 11.87~13.69% and 0.36%, respectively. The X-ray diffraction patterns of starches of three varieties, *Goami 2*, *Goami 3* and *Goami 4* displayed B-type pattern. The proportion of amylopectin short chains of 6 to 12 in DP of the high amylose mutant rice varieties was significantly lower than that of *Ilpum*. Resistant starch contents had positive correlation with the amylose content, total dietary fiber content, medium length chains of 13 to 24, long chains of ≥ 25 in DP of amylopectin, pasting temperature and setback viscosity.

Keywords : Mutant rice variety, High amylose, Resistant starch, Starch characteristics

서 언

쌀은 우리나라의 주식임에도 불구하고 최근 식생활의 고급화, 다양화 추세가 증대됨에 따라 국내 쌀 소비량은 매년 감소하고 있다. 반면, 기능성 식품에 대한 소비자의 관심은 높아지고 있으며 쌀에 있어서도 색깔이 있는 기능성 쌀이나 술과 떡, 과자 등 가공용 원료로 이용되거나 쌀전분을 이용한 다양한 소재 활용을 위한 연구가 진행되고 있다(Choi 2002, Hong et al. 2012, Kim et al. 2007, Shi and Gao 2011, Yoon et al. 2011).

쌀에서 전분은 수분을 제외하면 약 90%를 차지하는 주요 구성 성분이다. 쌀 전분은 아밀로스(amylose)와 아밀로펙틴(amylopectin)으로 구성되어 있으며 이들 성분 비율에 따라 전분의 호·노화 및 물리적 특성에 상당한 차이를 나타내기 때

문에 이러한 특성을 고려하여 밥쌀용이나 가공 용도에 맞는 적절한 쌀을 선택하는 것은 무엇보다도 중요하다(Choi 2002, Choi 2010, Choi et al. 2006, Kang et al. 2004). 더욱이 원료 쌀의 기능성 및 가공성은 물리·화학적 처리나 미생물을 이용한 초미세 전분 제조, 다양한 발효 처리 등(Haralampu 2000, Kwak 2010)으로 높일 수 있으나, 활용성을 더 높이기 위하여 전분 구조 및 형태, 이화학적 특성이 다양한 품종을 개발하는 것도 중요하다. 이러한 맥락에서 쌀 소비 확대 및 전분 용도 다양화를 위하여 벼의 수정된 어린 배에 화학적 돌연변이 *N*-methyl-*N*-nitrosourea (MNU) 처리를 통하여 당 함량이 높은 당질미, 쌀이 밀과 같은 가루 성질을 나타내는 분질미, 찰쌀과 멥쌀의 중간 성질을 나타내는 중간찰, 씨눈이 보통 쌀의 2~4배가 되는 거대배아미 등 다양한 전분 특성을 가진 품종들이 개발되고 있다(Choi 2002, Hong et al. 2011, Hong et al. 2012). 고아미2호는 일품벼에 MNU를 처리하여 육성된 품종으로 아밀로오스 함량 및 식이섬유 함량이 높은 것으로 알려져 있으며, 고아미2호의 발아 및 초기 생육의 단점을 개선하여, 고아미2호를 모본으로 대안벼와 인공 교배하여 육

*Corresponding author (E-mail: mryoon12@korea.kr, Tel: +82-31-290-6723, Fax: +82-31-290-6730)

(Received on August 16, 2013. Revised on October 23, 2013.
Accepted on October 29, 2013.)

성한 고아미3호와 고아미4호 품종이 육성되었다(Kang et al. 2003, Lee et al. 2011).

한편, 난소화성 탄수화물인 저항전분(Resistant starch, RS)은식이섬유와 유사한 생리활성 기능이 있으며 특히, 식후 혈당과 인슐린 분비 상승을 억제하고 지질대사 개선, 대장암 예방 효과가 있다고 보고되고 있다(Lee and Shin 2005). EURESTAR (European Flair Concerted Action on Resistant Starch)에서는 저항전분을 “건강한 사람의 소장에서 소화되지 않는 전분 및 전분 분해물의 총체”라고 정의하고 있으며(Delcours and Eerlingen 1996), Englyst et al. (1982)은 저항전분을 4가지 유형(RS1, 부분적으로 도정된 낱알이나 종자와 같이 물리적으로 소화효소의 접근이 어려운 것; RS2, 바나나, 감자, 고아밀로오스 옥수수 전분과 같이 B형의 결정성을 가지고 소화효소에 의해 분해되기 어려운 전분; RS3, 가공의 결과로 호화된 전분이 노화되어 형성; RS4, 화학적으로 변성된 전분)으로 더 세분화하여 이에 관한 활발한 연구가 진행되고 있다(Eerlingen et al. 1993, Englyst et al. 1982, Gough and Pybus 1971, Kruger et al. 1987)

따라서 본 연구에서는 최근 건강기능성 전분 소재로 관심이 높고 그 활용도가 기대되는 일품벼 유래 돌연변이 고아밀로스 품종인 고아미2호, 고아미3호, 고아미4호의 저항전분 함량과 전분 특성을 분석하고 일반 메벼인 일품과 특성을 비교하였으며, 향후 전분 원료 선별이나 육종 연구의 기초자료로 활용하고자 한다.

재료 및 방법

실험재료

본 실험에 사용된 재료는 자포니카 타입의 밥쌀용인 일품벼, 일품벼에 메칠니트로조우레아(N-methyl-N-nitrosourea) 처리에 의해 돌연변이를 유발하여 육성된 고아미2호와 고아미3호를 모본으로 하여 대안벼와 인공 교배하여 육성한 고아미3호, 고아미4호이다. 2011년도에 농촌진흥청 국립식량과학원에서 표준재배법에 의하여 재배 생산하여 수확하였으며 제현기(SY88-TH, 쌍용, 한국)를 통하여 왕겨를 제거한 현미 시료를 시험용 도정기(MC-90A, Toyo, Japan)를 이용하여 정백을 91%로 도정하였다. 백미로 만든 후 진공포장하여 4℃ 냉장실에서 보관하며 분석에 사용하였다. 품종별 이화학 분석을 위하여 분쇄기(Cyclotec™ 1093, FOSS Co., Denmark)를 이용하여 분쇄한 후 100 mesh 체에 내려서 쌀가루를 제조하

였다. 또한 백미로부터 배유 전분 분획은 알칼리침지법(Yamamoto et al. 1973)의 방법에 따라 제조하였다.

외관특성, 일반 성분 및 아밀로스 분석

품종별 백미의 외관특성인 형태와 크기를 조사하기 위해 Caliper (Model CD-15CP, Mitutoyo Corp., Japan)를 이용하여 길이, 폭, 두께를 측정하였고 완전립 무게를 측정하여 천립중을 비교하였다.

쌀의 일반성분은 AOAC 방법에 따라 수분함량은 105℃ 상압가열건조법, 조단백질은 Micro Kjeldahl법, 조회분은 550℃ 회화법으로 측정하였다. 또한 품종별 분쇄한 쌀가루의 색도는 색차계(CR-300, Minolta Co., Japan)를 이용하였고 아밀로오스 함량은 Juliano (1985)의 비색정량법에 따라 전분 호화액을 요오드 정색반응 후 620 nm의 파장에서 흡광도를 측정하여 계산하였다.

저항전분 및 총식이섬유 분석

쌀의 저항전분 함량 분석은 Megazyme kit를 이용하여 AOAC 방법으로 측정하였다(McCleary et al. 2002). 즉, 시료 100 mg에 pancreatin α -amylase로 37℃에서 16시간 반응시킨 후 침전물에 2M KOH 용액을 첨가하여 분산 및 용해시킨다. 1.2 M sodium acetate buffer (pH 3.8)와 amyloglucosidase를 첨가하여 50℃에서 30분 반응시킨 후 가수분해된 glucose 양에 따라 저항전분 함량을 계산하였다.

총식이섬유 함량은 AOAC 방법에 의한 Megazyme kit를 이용하여 분석하였는데, 쌀가루 시료 1 g에 50 mM MES/TRIS 용액(pH 8.2) 40 mL 첨가한 후 α -amylase, protease, amyloglucosidase 효소 용액으로 차례로 가수분해 한 다음, 4배 정도의 95% 에탄올을 가하여 효소활동을 정지시킨다. 효소에 의해 분해되지 않은 침전된 부분을 여과 건조하여 식이섬유 함량을 측정하였다.

전분 X선 회절도 측정

쌀 전분 입자의 결정성과 결정강도는 X선 회절기(Philips, X' pert PW3710, Netherland)를 이용하여 Target: Cu- $\text{K}\alpha$, scanning speed; 0.04° 2 θ /s, voltage; 40 kV, current; 30 mA의 조건으로 회절각도(2 θ)를 5°부터 35°까지 회절시켜 나타나는 피크의 위치와 높이로써 결정성과 결정강도를 비교하였다.

아밀로펙틴 측쇄사슬 길이 분포 분석

아밀로펙틴 측쇄 사슬길이 분포는 HPAEC-PAD (high performance anion exchange chromatography-pulsed amperometric detection)을 이용하여 분석하였다(Hanashiro et al. 1996). 시료를 90% methanol 처리 후 증탕 가열한 호화액에 sodium azide 용액, 600 mM sodium acetate buffer (pH 4.4), isoamylase를 첨가하여 교반한 후 37℃에서 24시간 반응 시켰다. 0.2 µm syringe filter 이용하여 여과한 다음 100 µL주입하였다. 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.

신속점도계를 이용한 호화점도 특성

품종별 쌀가루 및 전분의 가열에 의한 호화점도 특성은 AACC 방법(2000)에 의하여 신속점도측정기(RVA-4, Newport scientific, Australia)를 이용하여 분석하였다. 쌀가루 3 g (수분 14% 기준)에 25 ml 증류수로 현탁액을 만들어 50℃부터 호화를 시작하여 95℃까지 상승시킨 후 50℃로 다시 냉각시키면서 점도를 측정하였다. RVA viscogram으로부터 호화개시온도, 최고(peak)점도, 최저(trough)점도, 최종(final)점도, 강하점도(breakdown, 최고-최저) 및 치반점도(setback, 최종-최고) 등의 RVA 특성을 조사하였다.

통계분석

본 실험결과는 SPSS package를 이용하여 one-way ANOVA 및 다 범위 검정(Duncan's multiple range test)을 통하여 $p < 0.05$ 수준에서 유의성 있는 그룹간의 차이를 검정하였으며, 상관관계는 Pearson의 상관관계수로 나타내었다.

결과 및 고찰

외관 특성 및 이화학 특성

일품벼와 고아밀로스 품종인 고아미2호, 고아미3호, 고아미4호 백미의 외관 특성을 비교해 본 결과(Table 1), 길이, 폭, 두께 차이에서 일품벼는 고아미2호와 고아미3호에 비해 상대적으로 높았고 고아미4호와는 비슷한 외관 특성을 보였다. 백미의 천립에 해당하는 낱알의 무게 차이는 일품벼가 19.4 g으로 고아밀로스 품종들에 비해 높았으며, 고아밀로스 품종 간에는 고아미2호와 고아미3호는 유사하였고, 고아미4호가 길이, 폭, 두께, 천립중의 무게에서 각각 5.01 mm, 2.91 mm, 1.88 mm, 15.57 g로 고아미2호와 고아미3호에 비해 높아 유의적인 차이를 보였다.

수분, 단백질, 회분, 아밀로스 함량 분석 결과(Table 1), 조 단백질 함량은 5.4~8.2%로 일품벼와 고아밀로스 품종인 고아미2호, 고아미3호, 고아미4호간 유의적인 함량 차이를 나타냈고 고아미4호가 가장 높았다. 조회분 함량은 고아밀로스 품종(0.51~0.64%)이 일품벼(0.43%)에 비해 높았다. 고아미2호, 고아미3호 및 고아미4호의 아밀로스 함량은 각각 33.5%, 34.7%, 37.1%로 일반 메벼인 일품벼(20.9%)에 비해 높게 나타내어 유의적인 차이를 보였다. 쌀가루의 색도 측정결과 명도는 일품벼, 고아미2호, 고아미3호, 고아미4호에서 각각 94.58, 91.31, 91.65, 92.47로 고아미2호, 고아미3호가 유의적으로 낮게 나타났고 일품벼가 가장 높았다. 적색도(+a, redness)는 일품벼가 가장 높았고 황색도(+b, yellowness)는 고아밀로스 품종이 7.29, 7.10, 5.66로 일품(4.72)에 비해 높은 값을 나타냈다.

저항전분 및 총식이섬유 함량

보통 쌀에서 난소화성인 저항전분의 함량은 미미한 것으로

Table 1. Agronomical properties and proximate composition of Ilpum and high amylose mutants.

Variety	Ecological properties					Moisture (%)	Protein (%)	Ash (%)	Amylose (%)	Color values		
	Length (mm)	Width (mm)	Thickness (mm)	Length /Width	Thousand grains weight (g)					L	a	b
Ilpum	5.00 ^a	2.84 ^b	1.91 ^a	1.76 ^a	19.41 ^a	12.5 ^b	6.4 ^d	0.43 ^b	20.9 ^d	94.58 ^a	-0.27 ^b	4.72 ^c
Goami2	4.60 ^c	2.63 ^d	1.66 ^c	1.75 ^a	12.47 ^d	12.6 ^b	7.4 ^c	0.51 ^b	33.5 ^c	91.31 ^c	-0.10 ^{ab}	7.29 ^a
Goami3	4.67 ^b	2.66 ^c	1.67 ^c	1.76 ^a	13.05 ^c	14.4 ^{ab}	7.9 ^b	0.64 ^a	34.7 ^b	91.65 ^c	-0.16 ^{ab}	7.10 ^a
Goami4	5.01 ^a	2.91 ^a	1.88 ^b	1.72 ^b	15.57 ^b	15.0 ^a	8.2 ^a	0.62 ^a	37.1 ^a	92.47 ^b	-0.02 ^a	5.66 ^b

Mean with same letter are not significantly different ($p < 0.05$)

Table 2. Contents of total dietary fiber (TDF) and resistant starch of Ilpum and high amylose mutants.

Variety	TDF (% g/100 g)	Resistant starch (%)			Total starch (%)
		Milled rice (A)	Rice starch (B)	B-A	
Ilpum	2.52 ^d	0.34 ^d	0.36 ^d	0.02	82.7 ^a
Goami2	5.88 ^b	6.57 ^b	11.87 ^c	5.30	84.3 ^a
Goami3	8.54 ^a	8.21 ^a	12.98 ^b	4.77	84.0 ^a
Goami4	4.48 ^c	5.64 ^c	13.69 ^a	8.05	82.7 ^a

Mean with same letter are not significantly different ($p < 0.05$)

알려져 있다(Lee and Shin 2005). 일품벼 및 일품벼 유래 돌연변이 고아밀로스 품종들의 저항전분 함량을 분석한 결과 (Table 2), 일품벼의 백미에서는 0.34%, 고아밀로스 품종인 고아미2호, 고아미3호 및 고아미4호의 백미에서는 5.64~8.21%로 일품벼 대비 15배 이상 높은 함량이었다. 품종별 백미 배유로부터 전분 분획의 저항전분 함량에서 고아미2호, 고아미3호 및 고아미4호는 각각 11.87%, 12.98% 및 13.69%로 일품벼(0.36%) 대비 30배 이상의 높은 함량을 나타냄을 확인하였다. 고아밀로스 품종 간에는 고아미4호의 저항전분 함량이 13.69%로 가장 높은 함량을 나타냈고, 쌀전분 및 백미로부터의 저항전분 함량 차이가 가장 컸다. 아밀로스 함량이 높을수록 저항전분의 함량이 높음을 확인할 수 있었는데, 이 같은 결과는 저항전분과 식이섬유 함량은 아밀로스 함량과 정의 상관성을 가진다는 보고(Zhu et al. 2011)와 유사하며 쌀의 아밀로오스 함량과 저항전분은 밀접한 관련성이 있을 것으로 생각된다.

품종별 식이섬유 함량은 일품벼는 2.52%, 돌연변이 고아밀로스 품종은 5.88~8.54%로 고아미3호가 가장 높았다. 식이섬유 함량 역시 저항전분 함량과 유사하게 돌연변이 고아밀로스 품종이 높은 함량을 나타냈으며 일품벼 대비 2~4배 정도로 높은 함량 차이를 보였다. 이 같은 결과를 통하여 고아미2호, 고아미3호, 고아미4호는 일반쌀인 일품벼에 비해 저항전분과 식이섬유 함량이 유의적으로 높음을 확인할 수 있었다. 식이섬유 및 저항전분을 많이 함유한 식품 섭취 시 혈당 상승을 억제하는 효과가 높음이 보고된 바(Lee and Shin 2002, Nishimune et al. 1991, Wolever 1990), 이러한 기능성 탄수화물을 함유하고 있는 고아밀로스 쌀을 이용하여 당뇨병환자의 식이요법이나 다이어트용 소재 개발을 통한 그 활용도를 확대할 수 있을 것이다.

전분의 결정구조 및 아밀로펙틴 중합도 차이

일품벼 유래 돌연변이 고아밀로스 품종들의 아밀로펙틴 분자의 cluster 구조 결정성을 확인하고자 품종 간 X-선 회절도를 비교하였다. 전분입자의 결정성은 짧은 사슬들이 평행하게 집합체를 이루고 있는 아밀로펙틴의 결정화도에 기인하며 X-선 회절도에 나타난 피크 위치나 높이는 결정강도를 나타내므로 전분입자의 결정형을 검토하는데 널리 활용되고 있다. 일품의 회절각도(2θ)는 15.0, 17~18, 22~23에서 강한 피크를 보여 구조가 치밀하고 수분이 적은 구조로 알려져 있는 전형적인 A형 양상을 나타내었으며(Imberty and Pérez 1989, Kang et al. 2003), 저항전분 함량이 많았던 고아미2호, 고아미3호, 고아미4호는 감자 등 괴경식물 전분에서 확인할 수 있는 B형의 형태를 나타내어 일품 대비 아밀로펙틴 결정형의 차이를 확인할 수 있었다(Fig. 1).

쌀 전분의 아밀로펙틴 미세구조는 품종이나 등숙 환경에 따라 상당한 차이를 나타내는 것으로 알려져 있다(Hizukuri

Fig. 1. X-Ray diffractograms of Ilpum and high amylose mutant rice starches.

Table 3. Amylopectin chain length distributions in Ilpum and high amylose mutants.

Variety	DP ≤ 12 (A, %)	12 < DP ≤ 24 (B ₁ , %)	24 < DP ≤ 36 (B ₂ , %)	36 < DP (B ₃ , %)
Ilpum	40.3 ^a	46.0 ^b	9.7 ^d	4.0 ^c
Goami2	25.7 ^b	55.9 ^a	13.0 ^b	5.4 ^b
Goami3	24.5 ^c	54.9 ^a	14.0 ^a	6.5 ^a
Goami4	26.2 ^b	56.0 ^a	11.9 ^c	5.8 ^{ab}

Mean with same letter are not significantly different ($p < 0.05$)

Fig. 2. Comparison of amylopectin chain length distribution between Ilpum and high amylose mutants.

et al. 1983). HPAEC-PAD (high performance anion exchange chromatography-pulsed amperometric detection)을 이용한 품종간 아밀로펙틴 측쇄 사슬 길이 분포 결과(Table 3, Fig. 2), 저항전분 함량이 많았던 돌연변이 고아밀로스 품종인 고아미2호, 고아미3호, 고아미4호는 짧은 사슬(A)인 DP 6-12 비율이 각각 25.7%, 24.5%, 26.2%로 일품벼(40.3%)에 비해 유의적으로 낮은 분포 비율을 나타냈다. 반면, 고아밀로스 품종

은 중간사슬인 DP 13-24, DP 25-36 분포에서는 54.9~55.9%, 11.9~14.0%로 높은 비율을 나타냈다. 아밀로오스 함량이 높고 저항전분이 많았던 고아미2호, 고아미3호, 고아미4호는 일품벼에 비해 사슬길이가 긴 B 사슬이 많았는데, 이같은 결과는 아밀로오스 함량이 높은 벼 품종들은 아밀로오스 함량이 낮은 품종보다 사슬길이가 긴 B 사슬이 많이 분포한다고 보고한 결과(Takeda et al. 1989)와 유사한 결과라고 할 수 있겠다. 더불어 돌연변이 고아밀로스 품종 간에도 저항전분 함량이 가장 높았던 고아미3호는 DP 6-12 사슬 분포 비율이 24.5%로 고아미2호(25.7%)와 고아미4호(26.2%)에 비해 낮은 분포 비율을 보였는데, 향후 아밀로펙틴 미세구조와 저항전분 함량과의 연관성 구명이 필요한 것으로 고찰된다.

호화점도 특성

신속점도계(Rapid Visco Analyzer)를 이용하여 쌀가루와 전분의 가열에 따른 호화특성을 비교하였다(Table 4). 모든 품종에서 쌀가루의 호화점도 특성이 전분에 비해 낮은 결과를 보였는데, 이는 쌀가루 내부에 존재하는 전분 외의 다른 성분인 단백질, 지방 등이 쌀가루의 팽윤과 호화 특성을 억제하기 때문인 것으로 보인다(Fitzgerald et al. 2003). 저항전분

Table 4. Pasting properties of the four rice flours and starches between Ilpum and high amylose mutants by rapid visco-analyzer.

Variety		Pasting Temp. (°C)	Viscosity (RVU)				
			Peak	Trough	Final	Breakdown	Setback
Flours	Ilpum	68.1 ^c	206.7 ^a	137.6 ^b	228.3 ^b	69.1 ^a	21.6 ^d
	Goami2	75.7 ^b	131.1 ^b	110.2 ^c	234.1 ^b	20.9 ^c	103.1 ^a
	Goami3	76.7 ^a	105.4 ^c	92.9 ^d	177.9 ^c	12.5 ^d	72.4 ^c
	Goami4	75.9 ^b	207.5 ^a	177.5 ^a	292.3 ^a	30.1 ^b	84.8 ^b
Starches	Ilpum	68.0 ^b	248.5 ^a	166.9 ^b	272.0 ^b	81.6 ^a	23.5 ^b
	Goami2	75.9 ^a	171.0 ^b	161.6 ^b	216.7 ^b	9.5 ^b	45.6 ^{ab}
	Goami3	76.7 ^a	137.3 ^c	129.3 ^c	193.8 ^b	7.9 ^b	56.6 ^{ab}
	Goami4	75.6 ^a	253.4 ^a	237.2 ^a	348.9 ^a	16.2 ^b	95.5 ^a

Mean with same letter are not significantly different ($p < 0.05$)

Table 5. Correlation coefficients between resistant starch contents of rice varieties and physicochemical properties of Ilpum and high amylose mutants.

Relevant characters		Correlation coefficient	
Resistant starch	Amylose content	0.99**	
	Total dietary fiber	0.71**	
	Pasting temperature	0.99**	
	RVA viscosity	Breakdown	-0.93**
		Setback	0.89**
	Amyloectin chain length	DP≤12	-0.95**
		12<DP≤24	0.95**
		24<DP≤36	0.83**
		36<DP	0.84**

*, **: Significant at 5% and 1% level, respectively

함량이 많았던 고아미2호, 고아미3호 및 고아미4호의 호화개시온도가 75.9~76.7℃로 유의하게 높았는데, 이는 저항전분 함량이 높은 품종은 전분을 호화시키는데 더 높은 온도가 요구됨을 알 수 있었다. 아밀로펙틴 클러스터 내에 보다 긴 체인이나 큰 결정구조간의 상호작용에 의하여 가열 시 호화온도가 높게 반영된다고 하였는데(Matveev et al. 2001), 일품벼 유래 돌연변이 고아밀로스 품종은 Table 3에서 제시된 바와 같이 일품에 비해 긴 사슬 분포 비율이 높았던 결과와도 일치하고 있다. 품종별 호화점도 특성 중 최고점도(peak)의 경우 일품에 비해 고아미2호와 고아미3호가 낮았으나, 고아미4호는 일품벼와 비슷하였다. 최고점도는 아밀로오스 용출 속도에 영향을 받는 것으로, 아밀로스 함량과는 부의 상관성이 있는 것으로 알려져 있다(Fitzgerald et al. 2003). 고아밀로스 품종 간에도 고아미4호는 고아미2호나 고아미3호에 비해 최고, 최저 및 최종점도가 높게 나타났다. 아밀로스 함량과 아밀로펙틴 사슬 길이 차이 외에도 저항전분의 함량이 가장 높았던 고아미3호는 최고, 최저 및 최종점도가 가장 낮았다. 향후 이들 저항전분의 특성을 가진 고아밀로스 품종의 전분 호화 및 점도 특성에 대하여 심도 있는 연구가 필요하리라 생각된다. 최고점도와 최저점도의 차이인 강하점도는 고아밀로스 품종이 일품에 비해 낮았고, 노화도 경향을 나타내는 치반점도(setback)는 저항전분이 많은 고아밀로스 품종이 일품벼에 비해 유의적으로 높은 특성을 보였는데, 이는 전분의 노화가 저항전분의 함량과도 연관성이 있을 것으로 추정되는 결과로 생각된다.

저항전분함량과 쌀의 이화학적 특성과의 상관

저항전분과 쌀의 이화학적 성분 특성과의 상관관계를 비교해 본 결과(Table 5), 쌀의 저항전분 함량은 쌀의 아밀로스 함량과 식이섬유 함량이 많을수록, 호화개시온도가 높을수록, 아밀로펙틴의 장쇄사슬이 많을수록 유의하게 높아졌다. 반면, 호화점도 특성에서 강하점도와 아밀로펙틴의 측쇄사슬에서 짧은 사슬인 DP6-12 분포와는 부의 상관관계가 있음을 알 수 있었다.

적 요

일품벼 유래 돌연변이 고아밀로스 품종인 고아미2호, 고아미3호, 고아미4호의 저항전분 함량과 전분 특성을 분석한 결과, 저항전분 함량은 11.87~13.69%로 일품(0.36%)에 비해 상당히 높은 유의적인 함량 차이를 나타냈다. 총식이섬유 함량 역시 고아밀로스 품종이 일품벼 대비 2~4배 정도로 높았다. X-선 회절도에 의한 아밀로펙틴 결정 구조 차이에서 일품의 회절각도(2θ)는 15.0, 17~18, 22~23에서 강한 피크를 보여 전형적인 A형 양상을 보인 반면, 고아미2호, 고아미3호, 고아미4호는 B형의 형태를 나타냈다. 고아밀로스 품종은 아밀로펙틴 짧은 사슬(A, DP 6-12) 비율이 24.5~26.2%로 일품(40.3%)에 비해 유의적으로 낮은 분포 비율을 나타냈다. 저항전분 함량이 많은 고아미2호, 고아미3호, 고아미4호는 신속점도계에 의한 호화 점도 특성에서 호화개시온도가 높고 강하점도는 유의적으로 낮은 특성을 보였다. 저항전분과 쌀의 이화학적 성분 특성과의 상관성 분석 결과, 쌀의 아밀로스 함량과 식이섬유 함량이 많을수록, 호화개시온도가 높을수록, 아

밀로펙틴의 장쇄사슬이 많을수록 저항전분의 함량이 높아지는 정의 상관성을 나타냈다.

사 사

본 연구는 농촌진흥청 공동연구사업(과제번호: PJ906950)의 지원에 의해 이루어진 것임.

References

1. AACC. 2000. Approved Method of the AACC. 10th ed. Method 61-02. America 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. 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.
4. Choi ID. 2010. Physicochemical properties of rice cultivars with different amylose contents. J. Korean Soc. Food Sci. Nutr. 39: 1313-1319.
5. Choi YH, Kim KH, Choi HC, Hwang HG. 2006. Analysis of grain quality properties in Korea-bred japonica rice cultivars. Korean J. Crop Sci. 51: 624-631.
6. Delcour JA, Eerlingen RC. 1996. Analytical implications of the classification of resistant starch as dietary fiber. J Am. Assoc. Cereal Chem. 41: 85-86.
7. Eerlingen RC, Deceuninck M, Delcour JA. 1993. Enzyme-resistant starch II. Influence of amylose chain length on resistant starch formation. Cereal Chem. 70: 345-350.
8. Englyst HN, Wiggins HS, Cummings JH. 1982. Determination of the non-starch polysaccharide in plant foods by gas-liquid chromatography of constituent sugars as alditol acetates. Analyst 107: 307-319.
9. 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.
10. Gough BM, Pybus JN. 1971. Effect on the gelatinization temperature of wheat starch granules of prolonged treatment with water at 50°C. Starch 23: 210-212.
11. Haralampu SG. 2000. Resistant starch-a review of the physical properties and biological impact of RS3. Carbohydrate Polymers 41: 285-292.
12. Hong HC, Choi HC, Hwang HG, Kim YG, Moon HP, Kim HY, Yea JD, Shin YS, Choi YH, Cho YC, Baek MK, Lee JH, Yang CI, Jeong KH, Ahn SN, Yang SJ. 2012. A lodging-tolerance and dull rice cultivar 'Baegjinju'. Korean J. Breed. Sci. 44: 51-56.
13. Hong HC, Kim YG, Choi YH, Yang SJ, Lee KS, Lee JH, Jung OY, Yang CI, Cho YC, Choi IS, Baek MK, Kim MK, Yea JD, Hwang HG, Roh JH, Kim SL, Choi HC, Lee YT, Lee SH. 2012. A medium-maturing, giant-embryo, and germination brown rice cultivar 'Keunnun'. Korean J. Breed. Sci. 44: 160-164.
14. Hong HC, Moon HP, Choi HC, Hwang HG, Kim YG, Kim HY, Yea JD, Shin YS, Kang KH, Choi YH, Cho YC. 2011. New cultivar developed: A lodging tolerant, opaque rice cultivar "Seolgaeng". Korean J. Breed. Sci. 43: 532-537.
15. 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.
16. Hizukuri S, Kaneko T, Yakeda Y. 1983. Measurement of the chain length of amylopectins and its relevance to the origin or crystalline polymorphism of starch granules. Biochimica et Biophysica Acta 760: 188-191.
17. Imberty A, Pérez S. 1989. Conformational analysis and molecular modelling of the branching point of amylopectin. Macromolecules 11: 177-185.
18. 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. 59-120.
19. Kang HJ, Hwang IK, Kim KS, Choi HC. 2003. Comparative structure and physicochemical properties of Ilpumbyeo, a high-quality japonica rice, and its mutant, Suweon 464. J Agric. Food Chem. 51: 6598-6603.
20. Kang HJ, Seo HS, Hwang IK. 2004. Comparison of gelatinization and retrogradation characteristics among endosperm mutant rices derived from Ilpumbyeo. Korean J. Food Sci. Technol. 36: 879-884.
21. Kim JH, Nam SH, Kim MH, Sohn JK, Kang MY. 2007. Cooking properties of rice with pigmented rice bran extract. Korean J. Crop Sci. 52: 60-68.
22. Kruger BR, Knutson CA, Inglett GE, Walker CE. 1987. A differential scanning calorimetry study on the effect of

- annealing on gelatinization behavior of corn starch. J. Food Sci. 52: 715-718.
23. Kwak EJ. 2010. Development of brown colored rice tea with high GABA content. J. Korean Soc. Food Sci. Nutr. 39: 1201-1205.
24. Lee C, Shin JS. 2002. Effects of different fiber content of rice on blood glucose and triglyceride levels in normal subject. J. Korean Soc. Food Sci. Nutr. 31: 1048-1051.
25. Lee C, Shin JS. 2005. Effects of resistant starch of rice on blood glucose response in normal subjects. J. Korean Soc. Food Sci. Nutr. 37: 301-303.
26. Lee SB, Lee JH, Shin YS, Lee KS, Hwang HG, Jeong OY, Yang CI, Choi YH, Yan SJ, Jeon YH, Hong HC, Kim HY, Cho YC, Lee JH, Yea JD, Oh MK, Kim MK, Kim YG, Jeong KH, Lee YT. 2011. A medium-maturing, high non-dietary starch, specialty rice cultivar 'Goami 3'. Korean J. Breed. Sci. 43: 595-599.
27. Matveev YI, Van Soest JJ, Nieman C, Wasserman LA, Protserov VA, Ezernitskaja M, Yuryev VP. 2001. The relationship between thermodynamic and structural properties of low and high amylose maize starches. Carbohydr. Polym. 44: 151-160.
28. McCleary BV, McNally M, Rossiter P. 2002. Measurement of resistant starch by enzymatic digestion in starch and selected plant materials: collaborative study. J. AOAC International 85: 1103-1111.
29. Nishimune T, Yakushiji T, Sumimoto T, Taguchi S, Konishi Y, Nakahara S, Ichikawa T, Kunita N. 1991. Glycemic response and fiber content of some foods. Am. J. Clin. Nutr. 54: 414-419.
30. Shi MM, Gao QY. 2011. Physicochemical properties, structure and in vitro digestion of resistant starch from waxy rice starch. Carbohydrate Res. 84: 1151-1157.
31. Takeda Y, Hizukuri S, Juliano BO. 1989. Structures and amount of branched molecules in rice amylose. Carbohydrate Res 186: 163-168.
32. Wolever TM. 1990. Relationship between dietary fiber content and composition in foods and the glycemic index. Am. J. Clin. Nutr. 51: 72-75.
33. Yamamoto K, Sawada S, Onkai T. 1973. Properties of rice starch prepared by alkali method with various conditions. J Jpn Soc Starch Sci 20: 99-104.
34. Yoon MR, Chun AR, Oh SK, Ko SH, Kim DJ, Hong HC, Choi IS, Lee JH. 2011. Physicochemical properties of endosperm starch and breadmaking quality of rice cultivars. Korean J. Crop Sci. 56: 219-225.
35. Zhu LJ, Liua QQ, Wilson JD, Gu MH, Shi YC. 2011. Digestibility and physicochemical properties of rice (*Oryza sativa* L.) flours and starches differing in amylose content. Carbohydrate Polymers 86: 1751-1759.