

당질미(Sugary Rice)의 이화학적 특성

김세리* · 송유천*[†] · 신말식** · 이석영*** · 조준현* · 이지윤* · 하운구* · 김영두**** · 구연총* · 김호영*

*농촌진흥청 작물과학원 영남농업연구소, **전남대학교 식품영양학과
농촌진흥청 농업생명공학연구원, *농촌진흥청 작물과학원 호남농업연구소

Physicochemical Properties of Sugary Rice

Se-Ri Kim*, You-Cheon Song*[†], Mal-Shick Shin**, Seock-Young Lee***, Jun-Hyeon Cho*, Ji-Yoon Lee*
Woon-Goo Ha*, Young-Doo Kim****, Yeon-Chung Ku*, and Ho-Yeong Kim*

*Yeongnam Agricultural Research Institute, NICS, RDA, Miryang 627-803, Korea
**Department of Food nutrition, Cheonnam National University, Gwangju 500-757, Korea
***National Institute of Agricultural Biotechnology, RDA, Suwon 441-707, Korea
****Honam Agricultural Research Institute, NICS, RDA, Iksan 570-080, Korea

ABSTRACT This study was carried out to investigate the agronomical and physicochemical properties of five newly bred sugary lines in YARI (Yeongnam Agricultural Research Institute) that developed from the cross of sugary and Hwayeongbyeo, Hwasambyeo and Seomjinbyeo. Culm length of newly bred sugary lines were longer than that of Nampyeongbyeo as 84.2~99.3 cm. However the weight of 1,000 grains and yield were lower than that of Nampyeongbyeo by two to three times. According to physicochemical properties, most of the new bred sugary lines showed low contents of amylose and mineral compare to normal varieties. And all sugary lines showed much higher amount of the sucrose and glucose contents compare to Nampyeongbyeo. Especially the sucrose content of newly bred sugary line, 55413, was 5 times higher than that of Nampyeongbyeo nevertheless, fructooligosaccharide and isomaltoligosaccharide were not detected. The amylopectin constitution of sugary lines showed more chains of DP (Degree of Polymerization) < 12 but fewer chains of DP 13~24 compare to Nampyeongbyeo. Newly bred sugary lines were lower viscosity in RVA (Rapid Viscosity Analysis)

Keywords : sugary lines, yield, amylopectin, free sugar, RVA

우리나라의 벼 육종목표는 시대적으로 변천하여 '70년대까지는 식량자급을 중심으로 다수성이 최우선이었고 '80년대 이후는 경제가 발전하면서 고품질 쌀에 대한 기호도가

높아져 고품질 맛좋은 쌀 품종개발이 최우선으로 바뀌었다(이, 1995). 또한 국민소득의 향상, wellbeing 시대의 도래, 그리고 수출입의 자유화로 인해 국제 경쟁력을 높이기 위한 고급스럽고 다양한 벼 품종 개발연구가 절실히 요구되고 있다. 이러한 시대적 요구에 부응하고자 다이어트 쌀 고아미 2호, 신장병 환자를 위한 저 글루테린의 LGC-1, 저 알레르겐의 LA-1 그리고 당 함량이 높은 당질미 등이 개발되고 있다(Lee *et al.*, 2006; Sakai, 2006). 이러한 벼 품종들은 목적에 따라 교잡, MNU 및 방사선과 같은 화학적 처리, 유전자 변형을 통하여 전분의 구조를 변화시키거나 특수 물질을 더 많이 혹은 더 적게 생성하도록 육성되고 있는데 그 중 당질미는 특정효소의 작용을 억제시켜서 전분 합성을 저해함으로써 당의 합성을 유도한 품종이다.

일반적으로 쌀 전분은 amylose와 amylopectin으로 구성되고 amylopectin은 4개의 효소군의 작용에 의해 합성된다. ADP- glucose pyrophosphorylase와 soluble starch synthase가 α-1,4결합을 하고, starch branching enzyme에 의해 α-1,6결합이 형성되어 큰 골격을 이루고 starch debranching enzyme에 의해 부적절한 위치에 결합된 체인을 끊어 내어 amylopectin의 형태를 갖추는 것으로 알려져 있다(Nakamura *et al.*, 1997; Wong *et al.*, 2003; Fujita *et al.*, 2003). 하지만 당질미는 다른 벼 품종들과는 달리 debranching enzyme의 활성이 감소하여 amylopectin의 가지치기 빈도가 높고 물에 용해성이 높은 phytoglycogen으로 치환되는 것으로 보고되고 있다. 당질미는 배유 외부의 전분부위와 내부의 phytoglycogen 영역으로 나누어지며 내부로 갈수록 phytoglycogen

[†]Corresponding author: (Phone) +82-55-350-1165
(E-mail) songyc@rda.go.kr

의 함량이 높다고 하였다(Nakamura *et al.*, 1997). 한편 phyto-glycogen의 기능성에 대해서는 일본등지에서 연구가 진행되고 있으나 아직 당질미의 활용방안에 대한 정보가 부족한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 당질미(v-8)을 모본으로하고 수량성과 병충해저항성이 높은 화영벼, 직파에 적절한 화삼벼 및 밥맛이 좋은 심진벼 등을 교배하여 육성된 계통들의 활용도를 높이기 위한 기초 연구로서 그들의 작물학적 특성 및 이화학적 특성을 조사하였다.

재료 및 방법

당질미의 육성 및 작물학적 특성조사

영남농업연구소에서 육성된 당질미 계통인 55412(YR19930-2-1-2 : Sugary/Hwayeongbye0Acp33), 55413(YR19930-2-1-1-5 : Sugary/Hwayeongbye0Acp33), 55415(YR16478-4-2-2-3-1-1 : Sugary/Hwasambye0), 55416(YR16541-14-3-12-1-3 : Sugary/Seomjinbye0) 및 55417(YR16932-16-1-3-1-2 : Hwayeongbye0//Sugary/Hwayeongbye0) 등 5계통을 육성하였다. 선발된 5계통에 대한 생산력검정시험은 3년간(2003년~2005년) 영남농업연구소 시험포장에서 실시하였다. 매년 5월 5일에 파종하여 6월 5일에 본답 재식밀도는 30×15 cm로 하여 주당 3본으로 이앙하였다. 시비량은 10a당 9.0-4.5-5.7 kg (N-P₂O₅-K₂O)을 인산과 칼리는 전량 기비로, 질소질 비료는 기비 70%, 분얼비 30%의 비율로 분시 하였다. 기타 재배법 및 작물학적 특성조사는 영남농업연구소 표준재배법 및 농촌진흥청 조사기준에 준하였다.

또한 쌀의 외관형태는 Kan Scope 3.0 image acquisition와 광학현미경(Camscope video microscope IT system, Somemtech, Korea)을 이용하여 관찰하였다. 쌀 입자의 크기는 10개의 입자를 취하여 버어니아 캘리퍼스(Caliper CD-15CP, Mitutoyo Corp., Japan)를 이용하여 길이, 너비 및 두께를 측정하였다.

이화학적 분석을 위한 시료 전처리

당질미의 이화학적 분석을 위하여 당질미 5계통과 대조 품종으로 자포니카 품종인 남평벼를 사용하였다. 당질미의 경우 표면이 주름져있고 두께가 얇은 등 도정하기에 어려운 점이 있어 현미상태로 실험에 사용하였으며 모든 시료는 분쇄하여 100 mesh 체에 통과시킨 후 실험에 사용하였다.

일반성분 및 무기성분 분석

쌀 시료의 일반성분인 수분, 단백질, 지질, 회분은 쌀가루를 이용하여 AOAC방법(1995)에 따라 분석하였고, 쌀의 총 아밀로스 함량은 Juliano방법(1971)으로 분석하였다. 또한 무기성분의 경우 습식분해법으로 시료를 전처리하여 P는 Vanadate 법으로, Na, Ca, K 및 Mg는 유도결합 플라즈마 장치(Inductively Coupled Plasma, Model OPTIMA 3300DV, Perkin Elmer, MA, USA)로 분석하였다(농업과학기술원, 2000).

아밀로펙틴 구조분석

아밀로펙틴 구조를 분석하기 위하여 HPAEC-PAD(High performance anion exchange chromatography-pulsed amperometric detector, Spectra System AS 3500, Dionex, CA, USA)를 이용하여 α-1,4 glucan chain fraction의 길이와 분포를 Nishi 등(2001)의 방법을 변형하여 측정하였다. 호화된 전분 1 ml을 2 ml tube에 넣고 0.6M sodium acetate buffer (pH4.4) 50 μl를 넣은 다음 2% NaN₃ 10 μl를 첨가하였다. 전분의 사슬을 끊어 주기 위하여 isoamylase(5.9 u/μl) 10 μl를 첨가한 후 37°C에서 150 rpm으로 24시간 동안 반응시켜 주었다. 반응이 끝난 시료는 상온에서 15,000 rpm 속도로 5분 동안 원심분리시킨 후 0.2 μm 주사기 필터로 여과하였다. 이렇게 전처리된 시료는 4°C에서 보관하면서 분석에 사용하였다. 분석 기기는 BioLC(Model DX300, Dionex, CA, USA)에 칼럼은 CarboPac PA1(4 × 250 mm, P/N35391, Dionex, CA, USA)을 사용하였다. 이동상 용매는 150 mM NaOH, 500 mM sodium acetate를 이용하여 1 ml/min의 속도로 시료 20 μl를 주입한 후 분석하였다.

당 함량분석

쌀가루 4 g을 증류수 16 ml에 넣어 분산시킨 다음 4°C에서 24시간 진탕하였다. 그 후 12,000 rpm에서 15분간 원심분리하고 상등액을 0.45 μm에서 여과한 후 다시 한번 15,000 rpm에서 5분 동안 원심분리하여 상등액을 취한 후 증류수로 5배 희석하여 분석에 사용하였다. 분석 기기는 RI detector가 부착된 HPLC(Waters 410, MA, USA)에, 칼럼은 YMC-Pack polymine II(250×4.5 mm, 5 μm, Waters, MA, USA)을 사용하였다. 또한 이동상 용매는 acetonitrile : water(60 : 40)을 사용하여 1.0 ml/min의 속도로 시료를 20 μl를 주입한 후 분석하였다(강, 2004).

호화 특성조사

쌀의 호화 양상은 신속 점도 측정계(RVA, Rapid Visco Analyzer, Model 3D, Newport Scientific Pty., Ltd., Narrabeen, Australia)를 이용하여 측정하였다. 쌀가루를 3 g 평량하여 sample 용기에 넣고 증류수 25 ml에 잘 분산 시킨 다음 1분동안 50°C에서 유지하고 1~4.7분간은 95°C까지 상승시키고, 4.7~7.2 분간은 95°C에서 유지시킨 후 7.2분~11분간은 50°C로 냉각하여 11~13분간은 50°C로 유지하면서 호화개시온도, 최고점도, 최저점도, 최종점도로부터 측정하고 이들 측정값들을 이용하여 setback(최종점도 - 최고점도), breakdown(최고점도 - 최저점도)을 계산하였다(A.A.C.C., 2000).

결과 및 고찰

당질미의 작물학적 특성

당질미 계통들의 작물학적 특성을 조사한 결과는 Table 1과 같다. 당질미 계통들의 평균 출수기는 8월 15일로 남평벼에 비하여 1일정도 늦었지만, 당질미 계통들간의 출수기는 8월 11일~8월 20일로 변이가 컸다. 간장은 평균 90 cm로 남평벼에 비하여 6 cm정도 컸으나 도복은 중강정도의

저항성을 보였다. 수장은 19 cm, 주당수수는 평균 14개로 남평벼와 비슷하였으며 수당 립수는 평균 77개로 남평벼의 101개보다 24개정도 적었다. 현미천립중은 10.2~22.2 g로 남평벼의 19.7 g보다 가벼운 편이었지만 55417(YR16932-16-1-3-1-2 : Hwayeongbyeo//Sugary/Hwayeongbyeo)은 22.2 g으로 오히려 남평벼보다 무거웠다. 등숙율은 9.7~56.7%의 범위로서 평균 33.8%로 남평벼의 76.7%에 비하여 매우 낮았다. 당질미 계통들의 현미 수량은 159~473 kg/10a로서 비교적 낮은 수량성을 보였으나 55417의 경우 현미 수량이 남평벼와 비슷한 수준을 보였다. 이는 상대적으로 다른 계통들에 비해 sucrose 및 glucose로의 전환이 적고 전분의 축적이 많기 때문인 것으로 보인다.

당질미계통과 남평벼의 종실 특성을 조사한 결과는 Fig. 1과 Table 3이다. 종실 길이는 대조품종인 남평벼보다 모두 길었고 종실의 폭은 남평벼와 큰 차이를 보이지 않았다. 두께에 있어서는 55417을 제외한 4계통에서 남평벼의 1.67 mm와 비교하여 현저한 차이를 보였으며 이는 낮은 현미 수량의 큰 요인으로 보였다. 또한 당질미 계통들은 대조군인 남평벼에 비하여 표면이 주름지고 등숙율이 낮은 것처럼 보였는데(Fig. 1), 이는 당질미의 경우 전분 합성과정 중에

Table 1. Agronomical characteristics of five newly bred sugary lines in YARI.

Lines	Heading date	Culm length (cm)	Panicle length (cm)	No.of panicle/hill	No.of spikelets/panicle	Brown rice 1000 grain wt.(g)	Ratio of ripened garin(%)	Rice yield (kg/10a)
55412	8.11	87	19	13	80	15.7	9.7	253
55413	8.13	84	19	13	80	12.9	33.4	192
55415	8.20	92	19	15	67	16.1	35.3	277
55416	8.17	99	21	14	75	10.2	33.9	159
55417	8.12	87	19	13	85	22.2	56.7	473
Average	8.15	90.50	19.50	11.00	60.40	210.98	28.07	270.8
Nampyeongbyeo	8.14	84	19	13	101	19.7	76.7	541

Table 2. Grain shape of five newly bred sugary lines in YARI.

Lines	Length (mm)	Width (mm)	Thickness (mm)	Length/width
55412	5.03±0.16	2.83±0.10	1.53±0.13	1.78±0.09
55413	4.95±0.12	2.73±0.06	1.32±0.10	1.81±0.06
55415	5.19±0.18	2.70±0.11	1.57±0.28	1.93±0.11
55416	5.05±0.10	2.68±0.11	1.34±0.14	1.89±0.08
55417	5.29±0.19	2.94±0.12	1.92±0.05	1.80±0.10
Nampyeongbyeo	4.71±0.16	2.77±0.11	1.87±0.07	1.70±0.07

필요한 debranching enzyme이 부족하여 수용성 저장성분인 phytoglycogen과 sucrose의 합성이 전분의 합성보다 우세하여 쌀알을 채우지 못한 것이라고 Nakamura *et al.*(1997)이 보고한 결과와 유사하였다.

일반성분 및 무기성분

당질미 계통들의 일반성분을 측정된 결과 작물학적 특성이 남평벼와 유사한 55417을 제외한 당질미 계통들은 남평벼에 비하여 단백질, 지질, 회분, 아밀로스 함량이 높은 것으로

나타났다(Table 3). 이는 천립중이 낮아 같은 무게 대비 호분층의 비율이 높기 때문이라 사료된다. 또한 아밀로스의 경우 천립중이 가벼운 55413(YR19930-2-1-1-5; Sugary/HwayeongbyeoAcp33)과 55416(YR16541-14-3-12-1-3 : Sugary/Seomjinbyeo)에서 남평벼의 18.9%에 비해 상당히 낮은 아밀로스 함량을 보였으며 이는 전분의 합성이 적고 sucrose 및 glucose 등 당 함량이 상대적으로 높은데서 비롯된 것이라 생각된다.

한편 무기성분의 경우 Table 4에서처럼 55417을 제외한 대부분의 당질미 계통단백질을 비롯한 여러 가지 일반성분과 무기성분은 주로 호분층에 존재한다고 알려져 있는데 무기성분이 대조품종인 남평벼에 비하여 높은 원인은 무게 당 호분층이 차지하는 비율이 높은데서 비롯된다고 할 수 있다.

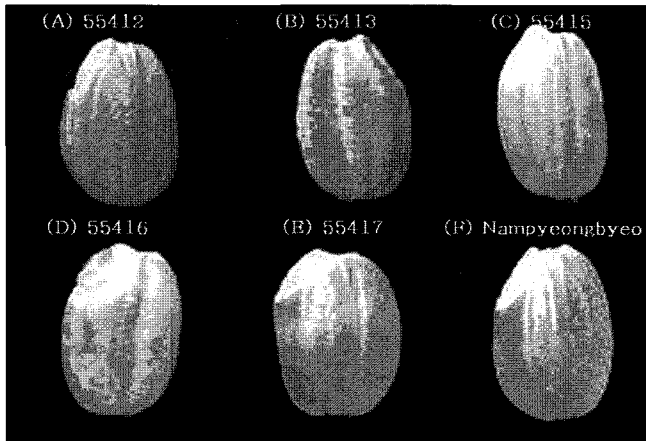


Fig. 1. The photographs of brown rice of five newly bred sugary lines in YARI and Nampyeongbyeo.

당의 종류 및 함량

당질미 계통들의 당 종류 및 함량은 Table 5와 같다. 당질미 5 계통들의 당함량은 남평벼의 3.2%에 비하여 2.4~6.1 배 가량 높은 당함량을 보였으며, 당의 종류별 함량을 비교해보면 sucrose 함량이 상대적으로 다른 당들에 비하여 많이 함유되어 있었다. 특히 55416은 20.1%로 가장 높은 당 함량을 보였으며 상대적으로 작물학적 특성이 남평벼와 비슷한 55417은 8.2%의 낮은 당함량을 보였다. 한편 특정당과 총 당함량과의 관계는 분명하게 나타나지 않았고 fructooligosaccharide와 isomaltoligosaccharide는 함유되어 있지 않

Table 3. The contents of protein, fat, ash and amylose in five newly bred sugary lines in YARI.

(Unit : %)

Lines	Moisture	Protein	Fat	Ash	Amylose
55412	10.9±0.14	9.9±0.05	2.4±0.02	1.7±0.01	13.5±0.14
55413	11.7±0.07	10.3±0.02	2.8±0.12	2.6±0.05	12.5±0.04
55415	11.1±0.07	9.2±0.13	2.3±0.11	2.2±0.07	16.2±0.128
55416	11.6±0.28	9.9±0.18	3.3±0.05	1.9±0.13	13.3±0.23
55417	11.4±0.14	7.7±0.11	1.4±0.08	1.0±0.07	19.5±0.05
Nampyeongbyeo	12.1±0.14	6.8±0.01	1.6±0.13	1.6±0.03	18.9±0.04

Table 4. The contents of minerals in seed of five newly bred sugary lines in YARI.

(Unit : ppm)

Lines	K	Ca	Mg	Na	P
55412	4118	384	1964	1886	4640
55413	4260	356	2040	1509	5218
55415	3928	448	1845	1515	4906
55416	4564	366	2148	1805	5018
55417	3420	305	1415	1247	3906
Nampyeongbyeo	3806	353	1835	1980	3796

Table 5. Composition and content of free sugars in five newly bred sugary lines in YARI.

(Unit : %)

Lines	Free sugar					Total
	Fru ¹⁾	Glu ²⁾	Suc ³⁾	Mal ⁴⁾	Raf ⁵⁾	
55412	1.3	3.9	6.5	2.9	2.0	16.6
55413	0.5	4.5	10.4	0.4	1.7	17.5
55415	1.5	3.9	6.5	3.5	0.5	15.9
55416	2.6	4.7	4.9	6.4	1.5	20.1
55417	0.9	1.9	2.4	2.4	0.6	8.2
Nampyeongbyeo	0.2	0.9	1.9	0.00	0.2	3.2

¹⁾Fru : Fructose, ²⁾Glu : Glucose, ³⁾Suc : Sucrose, ⁴⁾Mal : Maltose, ⁵⁾Raf : Raffinose

Table 6. The chain-length distribution of five newly bred sugary lines in YARI.

(Unit : %)

Lines	DP ≤ 12	12 < DP ≤ 24	24 < DP ≤ 36	36 < DP
55412	39.7	49.5	10.1	0.7
55413	41.6	48.2	9.6	0.6
55415	39.8	49.4	10.1	0.7
55416	41.5	48.3	9.5	0.6
55417	34.3	54.7	9.7	1.2
Nampyeongbyeo	33.3	55.9	9.4	1.3

은 것으로 나타났다(결과 미제시). 이러한 결과는 Kubo *et al.*(1999)의 연구결과와 같은 양상을 보였다. 즉 일반미인 Kinmaze 경우 당함량이 적고 주로 전분으로 이루어져 있었던 것에 반해 Kinmaze에 MNU를 처리하여 얻은 당질미는 전분보다는 phytoglycogen과 유리당 함량이 많았으며 추출된 유리당의 대부분은 sucrose와 glucose였다. 또한 이들의 연구에 따르면 phytoglycogen과 유리당과 같이 저분자 물질일수록 쌀알의 중심부에 함유되어 있으며 전분은 현미층에 가까운 바깥부분에 함유되어 있다고 보고된 것에 미루어 55417은 남평벼와 유사하게 쌀알의 바깥층에만 분포하고 55416은 쌀알의 중심부까지 당이 분포할 것으로 사료되었다.

아밀로펙틴 사슬분포

Isoamylase를 처리하여 당질미 계통들의 아밀로펙틴 결가지 분포를 분석한 결과 Table 6에서와 같이 당질미 계통들은 남평벼에 비하여 DP(degree of polymerization) ≤ 12의 비율이 높고 12 < DP ≤ 24의 비율이 낮은 것으로 나타났다. 이러한 경향은 일본의 Kinmaze와 Taizhong-65에 MNU(N-methyl-N-nitrosourea)를 처리하여 얻은 당질미의 아밀로펙틴 사슬 분포와 유사하였다. 전분 대신 생성된 phytoglycogen이 아밀로펙틴에 비하여 짧은 결가지들로 구성되어 있기 때

문이라고 Wong *et al.*(2003)이 보고하였다. 또한 Kubo *et al.*(1999)은 sugary의 amylopectin 부위와 phytoglycogen 부위로 나누어 amylopectin 사슬 구조분석을 하였는데 그 결과 amylopectin 부위는 일반적인 벼의 amylopectin의 구조와 유사하지만 DP 18 부근에서 일반적인 벼의 amylopectin보다 그 값이 다소 떨어진다고 보고하였다. 이러한 연구결과들로 미루어 볼 때 새로이 육성된 당질미 계통들도 phytoglycogen의 함성이 상당히 이루어진 것으로 추정되어 이들 phytoglycogen의 이용에 관한 더 많은 연구가 필요한 것으로 보였다.

호화 특성

Fig. 2는 당질미의 호화 특성을 RVA로 측정한 결과로서 남평벼에 비해 당질미들의 점도가 현저한 차이를 보였다. 비교적 전분 축적이 많은 55417은 남평벼에 비하여 최고 점도는 낮지만 유사한 점도패턴을 보인 반면 다른 4계통들은 매우 낮은 점도 특성을 보였다. 또한 이들 당질미 계통들은 가열과 냉각 중 호화양상에도 큰 변화가 없었으며 이는 낮은 전분 함성 및 기타 당 등의 복합적인 결과로 보였다. 당질미나 당옥수수를 이용한 호화특성을 분석한 연구들에서도 같은 양상을 보인 것으로 보고되어 아밀로펙틴의 구조

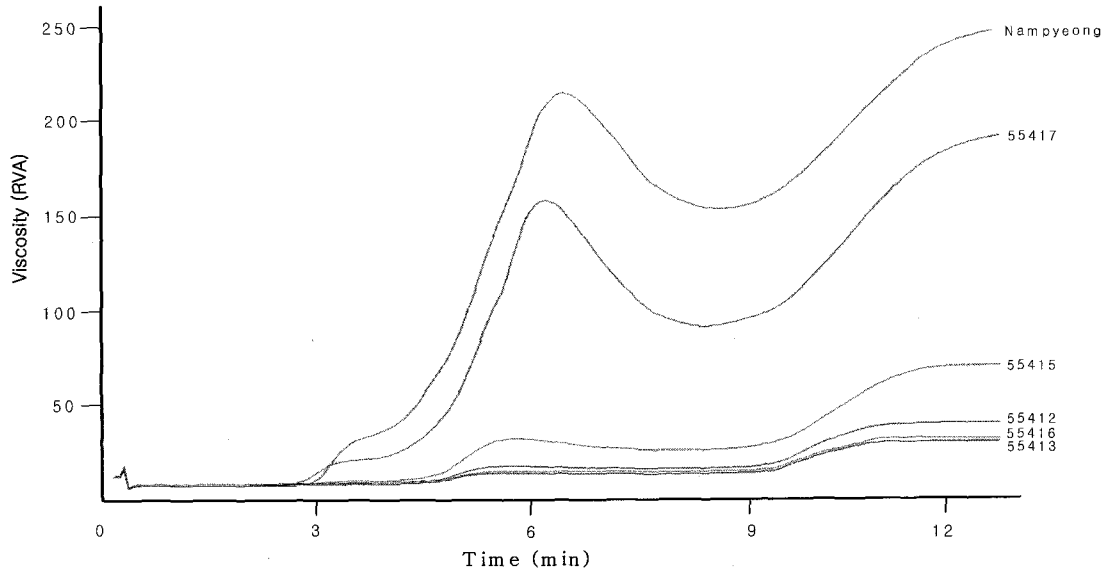


Fig. 2. Pasting properties of five newly bred sugary lines in YARI analysed by RVA.

변화는 전분입자의 구조와 성질을 극적으로 변화시키는 것으로 사료되었다(Nakamura *et al.*, 1997; Li *et al.*, 1999). 따라서 당질미는 일반적인 쌀에서 일어나는 호화 즉 전분입자가 수분을 흡수하여 전분입자가 부풀어져서 점도가 증가하는 현상이 일어나지 않아 전분작물로 이용하는 것보다는 당을 이용한 가공식품이나 phyloglycogen의 기능성 등을 이용하는 더 많은 연구가 필요한 것으로 보인다.

적 요

본 연구는 쌀의 다양한 용도개발을 위하여 당질미 계통들의 작물학적 및 이화학적 특성을 조사한 그 결과는 다음과 같다.

1. 당질미 계통들의 간장은 평균 90 cm로 남평벼에 비하여 6 cm정도 컸으며 현미 친립중은 10.2~22.2 g으로 남평벼보다 가벼웠다. 또한 현미 평균 수량은 159~473 kg/10a로서 큰 변이를 보였다.

2. 당질미들의 아밀로스를 제외한 일반성분 및 무기성분의 함량은 대부분의 경우 남평벼보다 많았으며 당함량은 남평벼에 비하여 최저 2.4에서 최고 6.1배 가량의 높은 당함량을 보였다. 특히 다른 당에 비하여 sucrose 함량이 높았다.

3. 아밀로펙틴사슬분포에서 당질미 계통들은 $DP \leq 12$ 의 비율이 높고 $12 < DP \leq 24$ 의 비율이 낮은 것으로 나타나 phyloglycogen 합성이 많아진 것으로 사료되며 또한 호화특성은 대부분의 당질미 계통들은 매우 낮은 점도 특성을 보였다.

인용문헌

- 이은용. 1995. 품종론, 수도작. 향문사 p. 121-137.
- Lee, K. S., J. H. Lee, Y. H. Choi, C. I. Yang, S. B. Lee, and Y. T. Lee. 2006. Breeding for special-purpose rice varieties in Korea, International symposium on rice biofortification (Suwon). NICS, RDA. p. 151-173.
- Sakai, M. 2006. Development of new-functional-rice varieties in Japan, International symposium on rice biofortification (Suwon). NICS, RDA. p. 177-194.
- Nakamura, Y., A. Kubo, T. Shimamura, T. Matsuda, K. Harada, and H. Satoh. 1997. Correlation between activities of starch debranching enzyme and α -polyglucan structure in endosperms of *sugary-1* mutants of rice. The plant Journal 12(1) : 143-153.
- Wong, K. S., A. Kubo, J. L. Jane, K. Harada, H. Satoh, and Y. Nakamura. 2003. Journal of Cereal Science. 37 : 139-149.
- Fujita, N., A. Kubo, D. S. Suh, K. S. Wong, J. L. Jane, K. Ozawa, F. Takaiwa, Y. Inaba, and Y. Nakamura. 2003. Antisense inhibition of isoamylase alters the structure of amylopectin and the physicochemical properties of starch in rice endosperm. Plant Cell Physiol. 44(6) : 607-618.
- A.O.A.C. 1995. Official Methods of analysis of A.O.A.C. Intl. 16th ed., Association of Official Analytical Communities, Washington DC, USA. Vol. II 32. 1. 13.
- Juliano, B.O. 1971. A simplified assay for milled rice amylose. Cereal Sci. Today, 16 : 334-340.
- 농업과학기술원. 2000. 식물체 분석, 토양 및 식물체 분석법. 농촌진흥청 농업과학기술원. p. 135-147.

- Nishi, A., Y. Nakamura, N. Tanaka, and H. Satoh. 2001. Biochemical and genetic analysis of the effects of Amylose-Extender mutation in rice endosperm. *Plant Physiol.* 127 : 459-472.
- 강희진. 2004. 쌀 품종간 성분 및 미세구조 차이와 호화·노화 특성과의 관계. 서울대학교 박사학위 논문. p. 20.
- A.A.C.C. 2000. In *Approved Method of the AACC*, 10th ed., American Association of Cereal Chemists, St. Paul. MN. USA. Method 61-02.
- Kubo, A., N. Fujita, K. Harada, T. Matsuda, H. Satoh, and Y. Nakamura. 1999. The Starch-debranching enzymes isoamylase and pullulanase are both involved in amylopectin biosynthesis in rice endosperm. *Plant Physiol.* 121 : 399-409.
- Li, J. and H. Corke. 1999. Physicochemical properties of maize starches expressing dull and sugary-2 mutants in different genetic backgrounds. *J. Agric. Food Chem.* 47 : 4939-4943.