

Rice Cultivar Breeding for Rice Flour with Low Amylose by Tissue Culture

Jae-Ryoung Park^{1,2*}, Eun-Gyeong Kim^{3†}, Yoon-Hee Jang^{3†} and Kyung-Min Kim^{2,3*}

¹Crop Breeding Division, National Institute of Crop Science, Rural Development Administration, Wanju 55365, Korea

²Coastal Agriculture Research Institute, Kyungpook National University, Daegu 41566, Korea

³Department of Applied Biosciences, Kyungpook National University, Daegu 41566, Korea

Received September 11, 2022 /Revised September 17, 2022 /Accepted September 17, 2022

Rice consumption in Korea is continuously decreasing; therefore, methods for reducing rice stocks are now being proposed. Increasing the consumption of rice and reduce these stocks will require that the rice processing industry be developed beyond simply using cooked rice as food. The Korean people's eating habits have also diversified recently, and the consumption of bread is increasing. Therefore, breeding a cultivar for rice flour is now necessary. Here, a line suitable for processing into rice flour was cultivated by deriving a mutant line by tissue culture of Ilpum. Mutant populations were investigated for major agricultural traits in the field, and grain characteristics and endosperm characteristics were investigated after harvest. Among the lines, line 29111 had similar agricultural characteristics to the background Ilpum, and excellent grain quality, and was selected for further analysis. The physicochemical properties that determine taste were similar or improved. However, unlike Ilpum, 29111 had a non-uniform starch structure and a characteristic powdery endosperm because large and male starch grains are evenly distributed. Therefore, 29111 was viewed as a breeding line suitable for processing and for excellent agricultural characteristics and taste. The added value can be increased by diversifying the uses of rice. The taste was improved and a method for breeding cultivars with grain characteristics for glutinous rice that would satisfy both producers and consumers was presented.

Key words : Agricultural trait, breeding, grain quality, opaque, rice

서 론

벼는 현재 세계에서 가장 많은 인류의 주식을 책임지고 있는 식량작물이다[8]. 다양한 인종과 문화권에서 벼를 육성하고 보급하고 있기 때문에 각각의 사회 수준에 맞게 육종 목표는 다양하게 설정 할 수 있다[3, 13]. 우리나라에서는 주로 다수성 위주로 품종을 육성 하였지만 시대가 변화하면서 양질성과 안정성도 중요한 육종 지표로 설정 되었다[4]. 우리나라는 빠르게 산업화가 진행되고 경제발전이 되면서 국민들의 소득수준이 향상되었고, 이에 따라 수량의 향상 보다는 품질과 기능성에 대한 소비자들의 요구가 많아지고 있다[16]. 또한 식생활의 변화로 인해 국내 쌀 생산량은 증가하고 있지만, 1인당 쌀 소비량이 급격

하게 감소하고 있어 최근에는 쌀 생산량이 쌀 소비량을 초과하는 현상이 지속되고 있다[19]. 따라서 벼의 품질향상과 함께 이용적 가치를 다양화 할 필요성은 끊임없이 요구되고 있다[7]. 벼의 품질을 결정하는 요소에는 이화학적 특성, 외관특성, 기능성, 안전성, 식미, 영양가, 상품성 등이 있다[12]. 이들 중 고품질에 가장 많은 영향을 미치는 것은 식미이다[17]. 식미는 품종 고유의 유전적 배경도 중요하지만 이와 함께 기상 및 토양, 시비량, 작기, 수확 시기와 같은 환경적인 요소와 재배기술적인 방법도 대단히 중요하지만 유전적 배경의 특성이 식미에 가장 큰 영향을 미친다[15, 30].

우리나라의 2020년 밀 자급률은 0.8%이며 계속해서 감소하고 있다[18]. 우리나라는 대부분의 밀을 수입에 의존하고 있고, 현재 밀 수입 가격은 급등하고 있다[14]. 밀 수입단가는 우리나라의 식료품 시장의 경제 환경에 큰 영향을 미친다[14]. 또한 이는 식량 안보와도 직결되는 문제이기도 하다[2]. 또한 밀을 구성하고 있는 단백질 중 글루텐은 다양한 알러지 반응을 유발하여 현재 밀가루 대체를 위한 연구가 활발히 진행중이다[1, 22]. 현재 우리나라에서는 밀가루를 대체하기 위한 쌀가루 품종으로 한가루[28], 신길[20], 미시루[29]와 같은 품종이 육성되어 있지

† **Authors contributed equally.**

* **Corresponding author**

Tel : +82-53-950-5711, Fax : +82-53-958-6880

E-mail : kkm@knu.ac.kr

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

만 현재까지 쌀가루로 이용 가능한 유전자원의 수가 매우 한정적이어서 유전자원의 수를 다양화 할 필요가 있다.

농가의 소득 안정과 소비자들의 요구 충족을 통한 지속 가능한 벼 품종을 육성하기 위해 벼 품질 고급화와 용도의 다양성을 확보하는 것은 대단히 중요하다. 본 연구에서는 벼 용도 다양화와 함께 부가가치를 향상시키고 생산자 및 소비자들의 요구를 충족시키기 위해 일품(*Oryza sativa* L. spp. *Japonica* cv. Ilpum)를 조직배양을 통한 체세포 번이체중 아밀로스함량이 낮은 미분미(29111계통)를 육성 하였으며, 분상질 가공성에 적합도가 있는 계통을 선발하였다. 선발된 계통은 고품질 품종인 일품보다 아밀로스 함량이 낮으며 분상 질 배유의 특징을 가지고 미립의 경도가 낮아서 분상질 가공성 적합도와 미질이 매우 우수하여 소비자의 기호에 충족할 수 있는 고품질의 벼 신품종 육종사업에 효과적으로 활용될 수 있다.

재료 및 방법

시험 재료 및 재배 방법

돌연변이 집단을 육성하기 위해 ‘일품’의 종자를 조직배양 하였다. 정조 상태인 ‘일품’의 외영과 내영을 제거 하였으며, 현미 상태인 종자를 70% 에탄올에 30초간 표면 살균 하였으며, 1% 차아염소산나트륨에 1분간 소독 후 멸균수로 5회 수세하였다. 그리고 멸균시킨 여과지 (ADVANTEC, cat. K11603784, Tokyo, Japan)에 올려 현미에 묻은 물기를 건조 하였다. 건조된 현미상태의 ‘일품’종자는 2 mg/l 2,4-D, 2 g/l Casein hydrolysate, 30 g/l Sucrose, 5 g/l Gelrite가 첨가된 MS 배지에 치상 하였다. 치상된 종자는 항온항습실에서 26±1℃로 온도를 유지시키면서 암상태로 21일간 캘러스를 유도 하였다. 캘러스는 1 mg/l NAA, 5 mg/l Kinetin, 30 g/l Sucrose, 5 g/l Gelrite가 첨가된 MS 배지로 계대배양 하여 재분화 시켰다. 형성된 캘러스 중 크기가 2 mm인 캘러스를 이용 하였으며, 26±1℃의 항온항습실에서 16시간 동안 2,500 lux의 명상태, 8시간 동안의 암상태를 유지하여 캘러스를 재분화 시켰다.

경북대학교 농업생명과학대학 부속실험실습장에서 재분화 및 순화처리 된 식물체를 계통육종법을 적용하여 세대진전 및 선발 과정을 거쳐 돌연변이 집단을 육성 하였다. 계통육종을 하면서 식미가 우수하면서 저아밀로스 계통을 선발 하여 ‘미분미’로 명명 하였다. 모든 시험 재료는 포장에 전개하기 전 종자소독액 스포탁(spotak, Hankook Samgong, Seoul, Republic of Korea)을 이용하여 종자 소독 하였고, 종자처리제 미래빛듀오(miraebicdyuo, Syngenta, Seoul, Korea)를 이용하여 키다리병을 사전에 방제하였다. 33.3℃의 암상태에서 3일간 종자 소독 및 최아 시켰으며, 종자 소독 이후에는 경북대학교 농업생명과학대학 부속실험실습장에서 파종하였다. 종자 파종은 50구 육묘

트레이에 수도용 상토를 채운 후 물로 상토를 충분히 적셔 주었으며, 종자를 파종 후 종자 위로 수도용 상토로 덮어 주었다. 그리고 종자 파종 후 30일이 되었을 때 포장으로 이양하였다. 포장에서 계통간의 재식거리는 30×15 cm로 하였고, 주당 1본씩 이양 하였다. 시험 재료들의 생육기간 동안의 재배방법은 농촌진흥청의 표준 재배를 따랐고[25], 시비량은 농촌진흥청에서 제시하고 있는 농업과학기술 연구조사표를 기준으로 하여 시비하였고, 질소-인산-가리를 9-4.5-5.7 kg/10a로 시비하였다. 질소질 비료는 분시로 기비-분얼비-수비를 각각 50-20-30%로 하였고, 인산은 전량 기비, 칼륨은 기비-수비를 70-30%로 분시 하였다. 농업 형질과 생육 특성, 수량과 관련되어 있는 모든 조사방법은 농촌진흥청의 농업과학기술 연구조사 분석을 따라 조사하였다[26].

주요 농업형질 및 수량 관련 형질 조사

공시재료들의 수량과 관련되어 있는 농업형질들인 출수기, 간장, 수장, 수수, 등숙률, 수량 및 동지수를 조사 하였다. 출수기는 포장에서 각 계통에서 약 50%가 출수한 시점을 출수기로 기록하였으며, 출수기와 함께 파종 후 출수까지 걸린 일수를 조사하였다. 간장, 수장, 수수는 출수 후 약 40일이 지났을 때 포장에서 각 계통에서 10개체를 무작위로 선정하여 조사 하였다. 간장은 지면으로부터 이삭목까지의 길이를 측정 하였고, 수장은 이삭목에서부터 이삭 끝까지의 길이를 측정 하였으며, 수수는 벼 포기의 분얼수로 조사하였다. 또한 등숙률, 정조수량, 동지수는 출수 후 약 45일이 지난 황숙기 일 때 포장에서 각 계통에서 5주씩 무작위로 예취하여 조사하였다. 낱알 특성인 현미의 낱알 길이, 낱알 너비, 낱알 두께를 버니어캘리퍼스(Caliper CD-15CP, Mitutoyo Corp, Japan)를 이용하여 조사하였으며, 현미 장폭비는 조사된 낱알의 길이를 낱알의 너비 비율로 계산하였다. 또한 천립중 조사를 위해 수확된 종자를 무작위로 선별하여 전자저울(PAG4102, cat. B569804886, Seoul, Republic of Korea)을 이용하여 조사하였으며, 달관조사를 통해 현미의 심복백 정도를 조사 하였다.

미질 특성의 이화학적 특성 검정

공시재료의 미질을 결정하는 화학적 성분인 아밀로스 와 단백질 함량을 조사하였다. 아밀로스의 함량은 Juliano et al. 가 제시한 비색 정량방법에 의해 조사되었다[10]. 현미가루 100 mg에 1 N NaOH 9 ml와 95% 에탄올 1 ml을 첨가한 후 20℃의 항온수조에서 10분간 호화 시킨 후 증류수 100 ml을 첨가하여 잘 섞어 주었다. 잘 섞어진 용액의 5 ml를 새로운 삼각플라스크로 옮긴 후 1 N acetic acid 1 ml과 2% I2-KI 용액 2 ml을 첨가 한 후 부피가 100 ml이 될 때까지 증류수로 채워주었다. 이후 30℃의 항온항습기

에서 20분동안 발색시켰으며, UV/Vis분광광도계(UV-2450, Shimadzu, Tokyo, Japan)에서 620 nm 파장으로 아밀로스 함량을 측정 하였다. 단백질 함량의 분석은 Micro Kjeldahl의 질소정량법을 적용하여 정량화 하였다[27]. 500 mg의 현미가루에 Kjeldahl용액 500 ml, 진한황산(H₂SO₄) 20 ml, Kjeltabs 1 g을 첨가한 후 400°C에서 2시간동안 반응 시켰다. 이후 실온(25°C)에서 가스를 방출 시켰으며, 300 ml의 증류수를 첨가한 후 45% NaOH 5 ml로 용액을 알칼리화 시켰으며, Kjeldahl 증류장치를 이용하여 용액을 75 ml까지 증류시켰다. 그리고 2%의 붕산용액(H₃BO₄) 10 ml을 이용하여 자동분석장치로 질소함량[1]을 분석하였다. 표준용액으로는 0.1 N H₂SO₄를 이용하였으며, 질소보정계수인 5.95(%)를 곱하여 최종 단백질함량으로 환산 하였다.

주사전자현미경을 통한 녹말 구조의 형태적 특성 관찰

공시재료들의 배유의 전분립 구조를 분석하기 위해서 수확한 종자를 무작위로 선별 한 위 현미를 절단 하였다. 그리고 절단된 단면은 이온 빔 스퍼터링 장치(JFC-1100E, JEOL, Tokyo, Japan)를 이용하여 진공상태에서 금으로 코팅 하였다. 이후 가속 전압 1.0 KV로 주사전자현미경(Scanning electron microscope; SEM, Hitachi S-3000N, Tokyo, Japan)을 통해 녹말 구조를 관찰하였다.

미분미 및 분상질(Opaque) 배유 계통의 물리적 분석

미립의 물리적인 특성을 조사하였다. 미립의 경도 조사는 강구 압자(steel ball)를 사용하였으며, 시험편의 구상에

압입 자국이 만들어 졌을 때의 하중을 압입 자국의 직경 으로부터 구한 압입 자국의 표면적으로 나눈 값으로 계산 하였으며, 경도공물경도계(KHT-40N, Fujiwara Industrial Co.,Ltd., Tokyo, Japan)를 이용하여 분석 하였다. 또한 각각의 시험 재료들의 색도는 색차계(TES-135A, TES Co., Ltd., Taipei, Taiwan)를 사용하여 lightness, red/green, yellow/blue 값을 측정하여 조사 하였다. 또한 육안으로 구별 가능한 시료들간의 색 차이는 표준 백색판의 L, a, b 값을 이용하여 측정하였다.

통계 분석

조사된 모든 농업형질들의 형질 값들은 통계 분석은 SPSS software (IBM SPSS Statistics, version 22, Redmond, WC, USA)를 활용하였으며, t-test와 one-way ANOVA 분석법을 통해 형질 값들을 비교 및 분석 하였다. 통계분석을 위한 시험재료는 모두 포장에서 무작위로 선별 하였으며, 실험과정을 3회 반복하여 얻은 조사 결과를 이용하여 통계 처리 하였다.

결과 및 고찰

미분미 및 분상질 배유 계통의 농업적 형질 조사

미립변이체들의 각종 형질들을 Table 1에 나타내었다. 미립변이체들의 출수기는 모품종인 일품과 1-2일 정도 차이가 있는 것으로 나타났지만 통계적으로는 모두 유사하였다. 미립변이체들의 간장은 평균 49 cm (범위 41-71 cm)이며, 29111, 29113, 29114, 29115의 계통들이 일품(65 cm)

Table 1. Investigation of agronomic traits in field of ‘Opaque’ lines

Lines	Heading date (DAS ^z)	Culm length (cm)	Panicle length (cm)	Number of tiller	Percent of fertile grains (%)	Yield (kg/10a)	Yield index (%)
29101	95	44±1.1 ^y d ^x	20±0.8c	8±4.3h	53.8±1.8d	428	72
29102	95	42±1.8e	20±0.9c	13±6.1c	12.7±2.5h	184	31
29103	95	43±2.4de	20±0.8c	15±1.9bc	6.5±2.7i	148	25
29104	96	41±1.8e	21±1.6bc	15±2.7bc	14.5±1.6h	195	33
29105	95	43±4.3d	20±0.8c	16±2.4ab	30.2±3.5f	288	49
29106	95	41±4.0e	18±2.3e	16±4.6a	12.6±2.8h	184	31
29107	95	43±2.6de	19±1.3d	15±2.9bc	25.4±2.4g	260	44
29108	95	41±2.2e	20±0.8c	11±2.8ef	5.1±2.1i	139	24
29109	95	42±1.6e	19±1.6d	9±2.0g	6.7±3.4i	149	25
29111	95	71±5.1a	20±5.2c	13±1.8c	78.1±1.9ab	572	97
29112	95	44±2.8d	21±0.9b	11±3.0ef	40.6±2.6e	350	59
29113	95	67±3.1b	22±1.8b	14±4.9bc	57.9±1.5d	452	76
29114	95	64±1.0c	22±1.5b	13±3.4c	70.5±3.6c	527	89
29115	95	65±1.6c	23±1.5a	14±2.2bc	41.8±2.9e	357	60
Ilpum	94	65±1.7c	20±0.5c	12±2.0de	81.6±3.3a	593	100
Backjinju	109	64±2.3c	21±0.3bc	11±1.7ef	71.4±3.8c	533	90

^zDAS: days after sowing. ^yData are presented as mean ± standard deviation. ^xMeans denoted by the same letter are not significantly different (*p*>0.05) as evaluated by Duncan’s multiple range test (DMRT).



Fig. 1. The phenotype of ‘29111’ line and ‘Ilpum’ in the mature stage in the field. When 30 days have passed since heading, the picture was taken in the field. ‘29111’ has a longer culm length compared to ‘Ilpum’. And other agricultural traits ‘29111’ and ‘Ilpum’ are very similar. Also, ‘29111’ and ‘Ilpum’ was not lodging in field.

과 백진주(64 cm)보다 간장이 크거나 같은 장간종이였으며, 나머지는 모두 단간이였다(Fig. 1). 변이체들의 수장은 평균 20 cm (범위 18-23 cm)로 29106(18 cm), 29107(19 cm), 29109(19 cm)는 모품종인 일품과 유사하였으며, 이를 제외한 11개의 계통의 수장이 일품(20 cm)과 백진주(21 cm)보다 크거나 같았다. 그리고 주요 수량 구소 요소인 수수의 평균 개수는 13개(범위 8-16개)로 29101(8개), 29109(9개)는 일품과 유사 하였지만, 이를 제외한 모든 계통은 일품(12개), 백진주(11개)보다 같거나 많았으며, 등숙률은 평균 32%(범위 5.1-78.1%)로 계통간 편차가 심했으며, 29111(78.1%)를 제외한 모든 계통이 일품(81.6%)과 백진주(71.4%)보다 낮았다. 정조 수량은 평균 302 kg/10a

(범위 139-572 kg/10a)로 29111(572 kg/10a)를 제외한 모든 계통에서 일품(593 kg/10a)과 백진주(533 kg/10a)보다 적었다. 일품의 수량을 100%으로 환산 하였을 때 백진주는 90%이였으며, 29111은 97%로 백진주보다는 동지수가 높았으며, 일품과 비슷한 수준이였다. 29111계통은 모품종인 일품에 비해서 수량이 약 3% 감소 하였지만, 기능성 품종인 백진주보다는 높은 수준이였으며, 백진주도 일품보다 약 10% 감소한 추세를 보였다. 육종적으로보면 쌀의 품질과 식미를 개량하고 이용적 가치를 다양화 하기 위해서는 이미 우리나라의 소비자들이 선호하는 식미 관련 특성을 보유하고 있는 품종을 활용하여야 한다[6]. 그리고 조직배양은 다양한 변이집단을 창성할 수 있기 때문에 일품을 변이집단의 모품종으로 선정 하였다.

미립미 및 분상질(Opaque) 배유 계통 간의 미립 특성 비교

미립변이체들의 입형과 관련된 형태적 특성을 조사하여 Table 2에 나타내었다. 미립변이체들은 현미 길이 5.16 mm (범위 5.1-5.3 mm), 현미 너비 2.6 mm (범위 2.4-2.9 mm), 현미 두께(범위 1.6-1.9 mm)로 모품종인 일품(현미 길이 5.1 mm, 현미 너비 2.7 mm, 현미 두께 1.9 mm)보다 현미 길이는 같거나 길었으며, 너비는 다양 했으며, 현미 두께는 같거나 얇았다. 또한 기능성 품종인 백진주(현미 길이 4.7 mm, 현미 너비 2.9 mm, 현미 두께 1.8 mm)보다 현미 길이는 길었고, 현미 너비는 같거나 좁았으며, 현미 두께는 다양 했다. 미립변이체의 장폭비는 평균 2.0(범위 1.8-2.2)로 29111(1.8)을 제외한 모든 계통에서 일품(1.9)의 장폭비보다 컸으며, 모든 계통에서 백진주(1.6)의 장폭비

Table 2. Analysis of grain quality and characteristics of ‘Opaque’ lines

Lines	Brown rice			Ratio of grain length/width	1,000-grain weight (g)	Characterized
	Length (mm)	Width (mm)	Thickness (mm)			
29101	5.3±0.14 ^y a ^x	2.6±0.15ab	1.8±0.14b	2.0a	19.8a	Chalkiness grain (S ^z)
29102	5.3±0.19a	2.6±0.19ab	1.8±0.14b	2.0a	19.3a	Chalkiness grain (S)
29103	5.3±0.21a	2.7±0.19ab	1.6±0.16d	2.0a	18.2a	Chalkiness grain
29104	5.3±0.20a	2.5±0.21ab	1.8±0.07b	2.1a	18.8a	Chalkiness grain (S)
29105	5.2±0.34b	2.4±0.18b	1.8±0.22b	2.2a	19.3a	Chalkiness grain (S)
29106	5.2±0.17b	2.5±0.21ab	1.7±0.17c	2.1a	18.6a	Chalkiness grain
29107	5.1±0.33c	2.5±0.27ab	1.8±0.84b	2.0a	18.5a	Chalkiness grain
29108	5.2±0.32b	2.6±0.19ab	1.8±0.71b	2.0a	18.2a	Chalkiness grain (S)
29109	5.1±0.28c	2.6±0.32ab	1.8±0.04b	2.0a	19.1a	Opaque grain (S)
29111	5.1±0.21c	2.9±0.20a	1.8±0.23b	1.8a	20.7a	Opaque grain
29112	5.0±0.22d	2.7±0.23ab	1.8±0.34b	1.9a	18.2a	Opaque grain (S)
29113	5.2±0.27b	2.6±0.24ab	1.7±0.28c	2.0a	18.0a	Chalkiness grain (S)
29114	5.0±0.31d	2.7±0.31ab	1.9±0.12a	1.9a	18.7a	Opaque grain (S)
29115	4.9±0.24e	2.5±0.34ab	1.7±0.21c	2.0a	18.1a	Opaque grain
Ilpum	5.1±0.18	2.7±0.18ab	1.9±0.18a	1.9a	20.0a	Chalkiness grain (S)
Backjinju	4.7±0.14f	2.9±0.25a	1.8±0.27b	1.6a	18.3a	Opaque grain

^zS: Separate line. ^yData are presented as mean ± standard deviation. ^xMeans denoted by the same letter are not significantly different ($p>0.05$) as evaluated by Duncan’s multiple range test (DMRT).

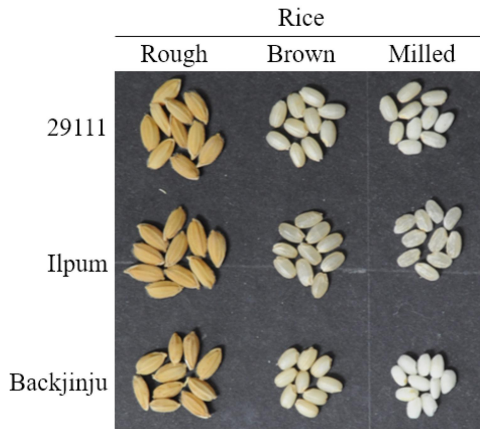


Fig. 2. The grain morphological characteristics of each line. The appearance characteristics of '29111' are very similar to 'Backjinju'. And '29111' is chalkiness grain. However, when the physicochemical properties were analyzed, '29111' is similar to 'Ilpum' with excellent grain quality. Therefore, '29111' was selected as lines with chalkiness grain and excellent grain quality.

보다 컸다. 변이체 계통들의 미립의 장폭비중에서 29111 (1.8), 백진주(1.6)를 제외한 모든 계통들(1.9-2.2)은 모품종인 일품(2.0)과 같이 중립중(medium)으로 분류되었다. 미립변이체들의 천립중의 평균은 18.8 g (범위 18.0-20.7 g)으로 29111(20.7 g)을 제외한 모든 계통이 일품(20.0 g)보다 가벼웠으며, 29103(18.2 g), 29108(18.2 g), 29112(18.2 g), 29115(18.1 g)를 제외한 모든 계통이 백진주(18.3 g)보다 무거웠다. 미립변이체 계통들의 천립중은 모품종인 일품과 유사한 경향이었으며, 미립의 외형이 백진주와 비슷한 29111의 천립중은 백진주에 비해 약 12% 증가하였으며, 모품종인 일품에 비해서는 약 3.5% 증가하였다. 또한, Fig. 2에 나타난 바와 같이 29111과 29115는 균일한 분상질 배유로 백진주와 같은 뽀얀 특성을 가지고 있으며, 29103, 29106, 29107 계통은 심복배 이었으며, 29101, 29102, 29104, 29105, 29108, 29113 계통은 심복배 분리, 29109, 29112, 29114 계통은 분상질 분리 양상을 나타내었다.

미분미 및 분상질(Opaque) 배유 계통의 화학적 성분 분석

미립변이체들 중 균일한 분상질 배유 특성을 가지는 29111과 29115에 대한 미질 화학적 구성요소들의 특성을 Table 3에 제시하였다. 29111의 아밀로스 함량(10.6%)은 모품종인 일품(17.7%)에 비해 아밀로스 함량이 약 7.1% 낮았다. 또한 29111의 단백질 함량은 7.2%이며, 이는 모품종인 일품(7.6%)보다 약 0.4% 낮았지만 통계적으로 거의 유사한 수준이었다. 또한 29111(10.6%)의 아밀로스 함량은 저아밀로시면서 반찰형 형태의 품종인 백진주(11.4%)보다 아밀로스 함량이 약 0.8% 낮고, 단백질 함량(7.2%)은 백진주(6.3%)보다 약 1.4% 높다. 따라서 29111은

Table 3. Chemical properties related to grain quality of 'Opaque' lines

Lines	Brown rice		
	Amylose (%)	Protein (%)	Moisture (%)
29111	10.6±1.2 ^d ^y	7.2±0.2 ^b	12.3±1.1 ^a
29115	16.4±0.8 ^b	9.2±0.3 ^a	11.9±1.4 ^a
Ilpum	17.7±0.9 ^a	7.6±0.3 ^b	12.1±0.8 ^a
Backjinju	11.4±1.3 ^c	6.3±0.1 ^c	11.0±1.3 ^a

²Data are presented as mean ± standard deviation. ^yMeans denoted by the same letter are not significantly different (*p*>0.05) as evaluated by Duncan's multiple range test (DMRT).

비교적 메벼와 찰벼의 중간 특성을 가지며, 밥이 차지고 부드러운 밥맛이 좋을 것으로 판단된다[21]. 29115의 아밀로스 함량(16.4%)은 모품종인 일품(17.7%)에 비해 적었지만, 백진주의 아밀로스 함량(11.4%)에 비해 높은 편이었다. 또한 29115의 단백질 함량(9.2%)은 모품종인 일품(7.6%)과 백진주(6.3%)보다 높은 수준 이었다. 29115의 아밀로스 함량은 모품종인 일품에 비해 약 1.3% 적은 수준 이었지만 백진주의 단백질 함량에 비해 약 2.9% 높았으며, 이에 따라 분상질 배유의 가공성에 적합한 수준으로 조사 되었다[5]. 일반적으로 우리나라 국민들이 선호하는 식미를 가진 품종들의 특성은 단백질의 함량이 낮고 아밀로스 함량이 낮은 특성을 가진다. 우리나라에 도입된 품종중에서 고시히카리와 밀키퀸 품종은 아밀로스 함량이 낮으면서 고품질 벼로 인기가 많다. 하지만 이들 품종들은 장간형으로 도복에 약하고 재배관리가 어렵다. 또한 아밀로스 함량은 전분의 노화와 정 의 상관관계이며, 이에 따라 고아밀로스 품종과 저아밀로스 품종이 동일한 환경에 노출되었을 때 고아밀로스 벼 품종이 노화도가 높은 것으로 보고되어 있다[11]. 그리고 아밀로스 함량은 밥을 하였을 때 물성을 결정하며, 아밀로스 함량이 낮을수록 밥의 경도가 낮아지고 찰기가 높은 것으로 알려져 있다[24].

미분미 및 분상질(Opaque) 배유 계통의 물리적 분석

시험재료들의 경도를 측정 하였을 때 29111과 29115의 경도는 각각 약 1.65 kgf/mm²과 1.58 kgf/mm²이다(Table 4). 그리고 일품의 경도는 1.97 kgf/mm²이며, 백진주의 경도는 2.97 kgf/mm²이다. 29111의 경도는 일품에 비해 약 84.7% 감소 하였고, 백진주에 비해 약 56.2% 감소 하였다. 또한 29115의 경도는 일품보다 약 80.0% 감소 하였고, 백진주에 비해 약 53.2% 감소 하였다. 따라서 29111과 29115는 모두 일품과 백진주에 비해 경도가 낮아 가공용 쌀가루로 효과적으로 사용 될 수 있을 것으로 사료된다. 일반적으로 경도는 아밀로스 함량과 정 의 상관이므로 본 연구에서 선발된 29115는 경도도 낮아 졌을 뿐 아니라 아밀로스 함량도 낮아져 가공에 적합할 뿐만 아니라 식미도 우

Table 4. Physical properties related to grain quality of ‘Opaque’ lines

Lines	Hardness (kgf/mm ²) ^z	chromaticity		
		L (lightness)	±a (red/green)	±b (yellow/blue)
29111	1.67±0.25 ^z b ^y	88.05±0.23b	-7.455±0.39b	29.27±0.62b
29115	1.58±0.63b	78.69±0.18d	-5.830±0.48a	31.52±0.26a
Ilpum	1.97±0.10c	89.10±0.31a	-8.290±0.52c	27.57±0.29c
Backjinju	2.97±0.46a	83.78±0.25c	-7.690±0.47b	26.31±0.21d

^zData are presented as mean ± standard deviation. ^yMeans denoted by the same letter are not significantly different ($p>0.05$) as evaluated by Duncan’s multiple range test (DMRT).

수할 것으로 사료된다[9]. 또한 조사된 시료들의 색을 색차계로 분석한 값을 Table 4에 나타냈다. 각각의 시료의 색은 L 값이 크거나 a값, b값이 낮을수록 시료의 색은 더 밝게 보이는 경향을 보인다. 또한 조사된 모든 시료들의 색도값에서 색감이 밝은 것으로 나타내주는 L값은 모품종인 Ilpum, 가장 낮은 a값은 ‘Ilpum’, 그리고 가장 낮은 b값은 ‘백진주’로 조사 되었다. 또한 Fig. 3과 같이 모품종인 ‘Ilpum’의 전분립 구조가 균일하다. 하지만 29111과 백진주는 전분립이 원형 구조를 하고 있다. 원형 전분립 구조를 하고 있으며, 소형의 전분립이 대형 전분립의 공극 사이에 골고루 분포되어 있으면서 이들 공간을 채워줌으로써 빛이 덜 흡수 됨으로써 찹쌀과 같은 불투명한 배유 특성을 가진다[23]. 일반 쌀알은 전분 구조가 밀착되어 있어서 단단하기 때문에 물에 불려 쌀가루 형태로 만드는 습식제분을 해야 했지만, ‘29111’은 밀처럼 전분구조가 둥근 형태이기 때문에 건식제분이 가능하다. 그리고 ‘29111’은 아밀로스와 단백질 함량이 낮으며, 분상질 배유의 특징을 가지고 있기 때문에 소비자들의 기호에 부응하는 고 품질 벼로 육성 될 수 있다. 또한 지금까지는 쌀 가공식품이

주류, 떡류, 즉석제품류 등에만 국한되었지만, ‘29111’를 이용한다면 쌀 가공식품의 범위를 넓힐 수 있으며 특히 수입에 의존하고 있는 밀가루의 수요를 일정 부분은 쌀로 대체 할 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 연구사업 차세대 농작물 신육종 기술 개발 사업(과제번호: PJ016531012022)의 지원에 의하여 수행되었습니다.

The Conflict of Interest Statement

The authors declare that they have no conflicts of interest with the contents of this article.

References

- Allen, P. J. 2015. Primary Care Approaches. Gluten-Related disorders: Celiac disease, gluten allergy, non-Celiac gluten sensitivity. *J. Pediatr. Nurs.* **41**, 146-150.
- Beckford, C. and Campbell, D. 2013. Domestic food production and food security in the Caribbean: Building capacity and strengthening local food production systems: Springer.
- Chen, L. Y., Xiao, Y. H., Tang, W. B. and Lei, D. Y. 2007. Practices and prospects of super hybrid rice breeding. *Rice Sci.* **14**, 71-77.
- Cho, Y. C., Baek, M. K., Park, H. S., Cho, J. H., Ahn, E. K., Suh, J. P., Jeung, J. U., Lee, J. H., Won, Y. J. and Song, Y. C. 2020. History and results of rice breeding in Korea. *Kor. J. Breed. Sci.* **52**, 58-72.
- Choi, I. D. 2010. Physicochemical properties of rice cultivars with different amylose contents. *J. Kor. Soc. Food Sci. Nutr.* **39**, 1313-1319.
- Choi, Y. H., Kim, K. H., Choi, H. C., Hwang, H. G., Kim, Y. G., Kim, K. J. and Lee, Y. T. 2006. Analysis of grain quality properties in Korea-bred japonica rice cultivars. *Kor. J. Crop Sci.* **51**, 624-631.
- Chung, J. and Park, Y. 2009. Genetic diversity and population structure of Korean rice core collection. *J. Kor.*

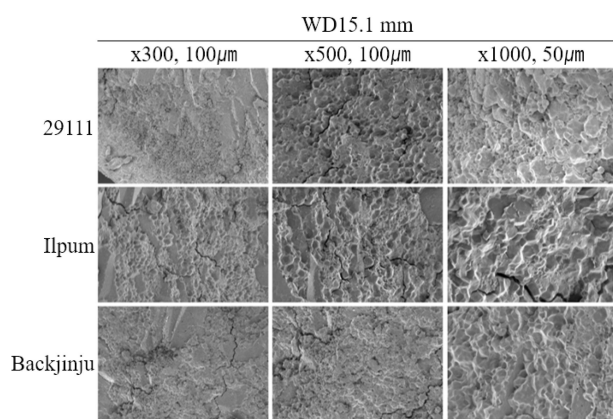


Fig. 3. Starch granule analysis of rice grains by scanning electron microscopy (SEM). The starch granules of ‘Ilpum’ are very uniform in size and shape. However, most of the starch granules of ‘29111’ and ‘Backjinju’ have large and small round shapes. Due to the characteristics of these starch granules, the appearance of brown rice looks opaque.

- Soc. Int. Agric.* **63**, 1-7.
8. Gnanamanickam, S. S. 2009. Rice and its importance to human life. In: Biological control of rice diseases. Springer. 1-11.
 9. Han, X. and Hamaker, B. R. 2001. Amylopectin fine structure and rice starch paste breakdown. *J. Cereal Sci.* **34**, 279-284.
 10. Juliano, B. O. 1979. Amylose analysis in rice. -A review. Proceedings of the workshop on chemical aspects of rice grain quality. International Rice Research Institute, Los Banos, Philippines. 251-260.
 11. Kang, H. J., Seo, H. S. and Hwang, I. K. 2004. Comparison of gelatinization and retrogradation characteristics among endosperm mutant rices derived from Ilpumbyeo. *Kor. J. Food Sci. Technol.* **36**, 879-884.
 12. Kang, J. R., Kim, J. T., Ben, I. Y. and Kim, J. I. 2005. Effect of transplanting times on rice quality in mid-mountainous area. *J. Crop Sci.* **50**, 33-36.
 13. Khan, M. H., Dar, Z. A. and Dar, S. A. 2015. Breeding strategies for improving rice yield—a review. *Agri. Sci.* **6**, 467-478.
 14. Kim, B. R., Jun, I. S. and Yoon, J. Y. 2010. Food security and establishment of distribution system of overseas agriculture. *Kor. Rural Eco. Ins.* 133 (in Korean).
 15. Kim, C., Park, H., Baek, M., Jeong, J., Park, S., Suh, J., Lee, K., Lee, C., Cho, Y. and Kim, S. 2020. Yearly variation of eating quality and starch RVA profiles of Korean native rice accessions. *J. Kor. Soc. Int. Agric.* **32**, 7-17.
 16. Kim, M., Lee, S., Lee, J., Jeong, O., Jeong, J., Shin, Y., Yang, C., Kim, Y., Lee, K. and Choi, Y. 2014. Low glutelins rice, mid-late maturing variety 'Geonyangmi'. *Kor. J. Breed. Sci.* **46**, 160-165.
 17. Kim, M. H., Kim, C. E. and Kang, M. Y. 2012. Comparison of properties affecting the palatability of 33 commercial brands of rice. *Kor. J. Crop Sci.* **57**, 301-309.
 18. Korean Flour Millers Industrial Association. 2021. Flour yield classification. Available from: http://www.kofmi-a.org/data/stat_idx03.jsp. Accessed June 3, 2022.
 19. Korean Statistical Information Service. 2020. Statistics Korea. (Online) https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=DT_1ED0001&conn_path=I2.
 20. Lee, J. Y., Song, Y. C., Lee, J. H., Jo, M. S., Kwon, Y. H., Park, D. S. and Cho, J. H. 2020. 'Shingil (Milyang 317)', Tongil-type variety specialized for rice flour. *Kor. J. Breed. Sci.* **52**, 502-510.
 21. Oh, S., Choi, Y. M., Lee, M. C., Lee, S., Yoon, H., Rauf, M. and Chae, B. 2019. Construction of database system on amylose and protein contents distribution in rice germplasm based on NIRS data. *Kor. J. Plant Res.* **32**, 124-143.
 22. O'Shea, N., Arendt, E. and Gallagher, E. 2014. State of the art in gluten-free research. *J. Food Sci.* **79**, 1067-1076.
 23. Park, H. M., Choi, M. S., Chun, A., Lee, J. H., Kim, M. K., Kim, Y. G., Shin, D. B., Lee, J. Y. and Kim, Y. H. 2010. Variation of amylose content using dsRNAi vector by targeting 3'-UTR region of GBSSI gene in rice. *Kor. J. Breed. Sci.* **42**, 515-524.
 24. Reddy, K. R., Ali, S. Z. and Bhattacharya, K. R. 1993. The fine structure of rice-starch amylopectin and its relation to the texture of cooked rice. *Carbohydr. Polym.* **22**, 267-275.
 25. Rural Development Administration (RDA). 2017. Manual for rice standard cultivation. RDA, Jeonju, Korea
 26. Rural Development Administration (RDA). 2018. 2017 Report of new cultivars development and research in summer crop. pp. 3-162.
 27. Stone, A. K., Tanaka, T. and Nickerson, M. T. 2019. Protein quality and physicochemical properties of commercial cricket and mealworm powders. *J. Food Sci. Technol.* **56**, 3355-3363.
 28. Won, Y. J., Ahn, E. K., Jeong, E. G., Chang, J. K., Lee, J. H., Jung, K. H., Hyun, U. J., Cho, Y. C., Oh, S. K. and Yoon, M. R. 2019. An Opaque endosperm rice cultivar, 'Hangaru', suitable for exclusive dry-milling rice flour production. *Kor. J. Breed. Sci.* **51**, 134-139.
 29. Won, Y. J., Ahn, E. K., Jung, K. H., Hong, H. C., Hyun, U. J., Park, H. M., Yoon, M. R., Lee, J. H., Seo, J. P. and Jeong, E. G. 2020. Agricultural characteristics of 'Misiru' with improved dry-milling rice flour trait. *Kor. J. Breed. Sci.* **52**, 151-157.
 30. Xu, Y., Ying, Y., Ouyang, S., Duan, X., Sun, H., Jiang, S. and Bao, S. 2018. Factors affecting sensory quality of cooked japonica rice. *Rice Sci.* **25**, 330-339.

초록 : 저아밀로스 특성 및 쌀가루 적합 벼 품종 육성

박재령^{1,2*} · 김은경^{3*} · 장윤희^{3*} · 김경민^{2,3*}

(¹농촌진흥청 국립식량과학원 작물육종과, ²경북대학교 해안농업연구소, ³경북대학교 대학원 응용생명과학과)

우리나라의 쌀 소비량은 지속적으로 감소하고 있으며, 쌀 재고량을 감소시키는 방안이 끊임없이 제안되고 있다. 쌀 소비량을 늘려 재고되는 양을 감소시키기 위해서는 단순히 밥으로 이용되는 것 이외에 새로운 쌀 가공 산업이 발전되어야 한다. 또한 최근 우리나라 국민들의 식생활이 다양해지고 있으며, 빵과 면의 소비가 증가하고 있다. 따라서 쌀의 용도를 다양화하기 위해 쌀가루 전용 품종을 육성하였다. 쌀 가루 가공에 적합한 계통을 육성하기 위해 일품을 조직배양 하여 돌연변이 집단을 구축하였다. 돌연변이 집단은 포장에서 주요 농업 형질에 대해서 조사 되었고, 수확 후에는 낱알 특성과 배유의 특성이 조사 되었다. 이들 계통 중 모품종인 일품과 농업형질이 비슷하고 품질이 우수한 29111 계통이 선발 되었다. 또한 식미를 결정하는 이화학적 특성이 일품과 유사하거나 향상 되었다. 하지만 29111는 일품과 달리 전분구조는 균일하지 않고 대형 전분립과 수형전분립이 골고루 분포되어 있어 분상질 배유의 특성을 가진다. 따라서 29111은 가공에 적합하면서 농업형질과 식미가 우수한 계통으로 육성되었다. 쌀 용도를 다양화하여 부가가치를 향상 시킬 수 있다. 또한 식미를 향상 시켰으며 생산자와 소비자 모두가 만족 할 수 있는 반찰쌀용과 분상질 미립 특성을 가진 품종 육성 방법을 제시하였다.