

우리나라 재래벼와 잡초벼의 식미 특성 평가 및 고식미 우수자원 탐색

김춘송¹ · 박현수² · 백만기² · 정종민² · 김석만³ · 박슬기² · 서정필¹ · 이건미² · 이창민² · 조영찬^{1,†}

Screening of High-Palatability Rice Resources and Assessment of Eating Quality Traits of Korean Landraces and Weedy Rice Germplasms

Choon-Song Kim¹, Hyun-Su Park², Man-Kee Baek², Jong-Min Jeong², Suk-Man Kim³, Seul-Gi Park², Jung-Pil Suh¹, Keon-Mi Lee², Chang-Min Lee², and Young-Chan Cho^{1,†}

ABSTRACT The eating quality of rice is one of the main concerns of rice breeding programs in many countries, especially in *japonica* rice cultivation areas. To select new resources with high eating quality from Korean native *japonica* rice, we evaluated a total of 76 varieties, including 47 native rice resources (26 landraces + 21 weedy rice) of Korea. In this study, all eating quality traits varied widely among the native resources, and some of the native resources revealed a high evaluation score in the palatability, expected eating quality, and physicochemical traits among the tested whole-plant materials. From the results, we selected two landraces (Sangdo and Waebyeo) and three weedy rice varieties (Hoengseongaengmi3, Namjejuaengmi6, and Wandoaengmi6) as promising resources for improvement of rice eating quality. Specifically, Wandoaengmi6 presented potential as a key breeding material for improving the eating quality of Korean rice cultivars, having the best evaluation results in palatability score (PS 0.83) from the sensory test and glossiness value (GV 81.8) from the Toyo taste meter of cooked rice. Given the urgent need to overcome the constraint of the narrow genetic background of Korean *japonica* rice, the results could be a practical solution for exploring new opportunities for improving rice eating quality through the expansion of genetic resources.

Keywords : eating quality, Korean landrace, palatability, rice, weedy rice

생물다양성 협약에 의한 나고야의정서의 발효(2014)와 함께 우리나라도 「유전자원의 접근·이용 및 이익 공유에 관한 법률」을 제정('17.1.17.)하여 시행('17.8.17.)하고 있다. 이에 따라 세계 각국은 자국의 생물자원에 대한 주권을 강화하려는 추세이므로 해외로부터 새로운 유전자원의 도입이 점점 어려워지고 있다. 따라서 밥쌀용 벼 품종의 유전적 배경이 협소한 우리나라의 현실에 비춰 볼 때 유전적 다양성을 넓히기 위해서는 우리나라 고유 유전자원을 활용한 우수한 밥맛 원천 소재를 확보하는 것이 시급하다. 밥맛은 국가별 문화와 소비자의 선호도에 따라 다르게 평가되고 있으나, 우선적으

로 밥의 외관, 식감 및 냄새로 평가되어진다(Fitzgerald *et al.*, 2009). 이들 중에서 밥의 식감은 전분특성에 의해 가장 크게 영향을 받는 것으로서 쌀을 소비하는 나라에서 밥맛을 평가하는데 가장 큰 관심사항이다. 전통적으로 전분특성과 강하게 연관되어 있는 아밀로스 함량, 호응집성, 호화개시 온도, 알칼리붕괴도와 단백질 함량 등 이화학적 특성들이 밥과 가공 품질을 평가하는데 사용되어 왔다(Cagampang *et al.*, 1973; Juliano, 1985; Little *et al.*, 1958; Unnevehr *et al.*, 1992). 아밀로스 함량은 전분에서 아밀로스가 차지하는 비율을 의미하며, 일반적으로 밥의 경도와 정의 상관을 보이

¹농촌진흥청 국립식량과학원 작물육종과 농업연구관 (Senior Agriculture Scientist, Crop Breeding Division, National Institute of Crop Science, RDA, Wanju 55365, Korea)

²농촌진흥청 국립식량과학원 작물육종과 농업연구사 (Agriculture Scientist, Crop Breeding Division, National Institute of Crop Science, RDA, Wanju 55365, Korea)

³농촌진흥청 국립식량과학원 작물육종과 박사후연구원 (Post-Doc Researcher, Crop Breeding Division, National Institute of Crop Science, RDA, Wanju 55365, Korea)

[†]Corresponding author: Young-Chan Cho; (Phone) +82-63-238-5211; (E-mail) yccho@korea.kr

<Received 3 October, 2019; Revised 22 October, 2019; Accepted 24 October, 2019>

나 밥의 찰기와는 부의 상관을 나타낸다(Han & Hamaker, 2001; Juliano & Villareal, 1993). 메벼의 경우 아밀로스 함량은 8~37% 정도의 범위를 보이며 대부분의 품종은 13~32% 사이에 분포하는 것으로 알려져 있고(Gomez, 1979), 아밀로스과 단백질 함량은 재배지역, 등숙온도, 일장, 출수기 등 환경에 의해 영향을 받는다고 보고되었다(Heu & Moon, 1974). 호응집성 또한 고아밀로스 쌀 품종들 중에서 밥의 경도를 나타내는 지표이다(Cagampang *et al.*, 1973). 알칼리붕괴도는 전분호화 온도, 즉 밥이 되기 위해 필요한 시간이나 에너지와 부의 상관을 보인다(Juliano, 1985). 밥맛이 좋은 쌀은 단백질 함량이 7% 미만이고 수분함량이 15.5~16.5% 범위인 것으로 보고되었고(Choi *et al.*, 1997), 단백질 함량이 높을수록 밥이 딱딱하게 느껴지고 탄력과 점성이 떨어지는 것으로 알려져 있다(Choi, 2002). 최근에는 밥의 윤기를 기계적으로 측정하여 밥맛을 간접적으로 평가하는 방법이 개발되어 한국과 일본 등에서 많이 활용되고 있다(Kim *et al.*, 2007; Lee, 2003; Suh *et al.*, 2004; Yoon *et al.*, 2007). 실제로 경북지역 브랜드 쌀의 취반 기호도와 윤기치와의 상관성을 분석한 결과 밥맛이 우수하다고 알려진 품종들이 높은 상관성을 보인다고 보고되었다(Kwak *et al.*, 2006). 쌀의 물리적인 특성을 알아보려고 RVA (Rapid Viscosity Analyzer)를 이용한 쌀가루의 호화특성을 분석하여 배유 전분 특성과 식미 특성 간의 연관성을 밝히는 연구들이 수행되었다(Bao *et al.*, 2000; Jennifer & Les, 2004; Juliano, 1996; Saitoh *et al.*, 2002; Shu *et al.*, 1998; Yoon *et al.*, 2009; Zhang *et al.*, 2002). 한편, 쌀의 외관 품질과 밥맛과의 관련성에 대한 연구도 수행되었는데, 완전미는 불완전미에 비해 기계적 식미치가 높고, 불완전미가 완전미에 혼합되면 식미가 저하된다고 알려져 있다(Chung *et al.*, 2005). 쌀의 식미는 여러 가지 요인들이 복합되어 발현되는 양적 형질로서 환경에 의해서도 영향을 받기 때문에 초기세대에서 식미 특성을 정확하게 평가하기 곤란하고 효율도 매우 낮다고 알려져 있다(Kim *et al.*, 2009). 최근에는 이를 극복하기 위해 분자마커를 이용한 식미 관련 형질의 양적형질 유전자좌(QTL) 분석이 활발하게 진행되고 있으며(Bao *et al.*, 2002; Cho *et al.*, 2013; Kwon *et al.*, 2011; Tian *et al.*, 2005), 식미 관련 형질의 DNA마커를 활용하여 계산한 회귀식값으로 밥맛을 간접적으로 추정하는 방법이 개발되기도 하였다(Lestari *et al.*, 2009). 재래벼와 잡초벼 등 우리나라 고유 유전자원의 유전적 다양성 분석(Heu *et al.*, 1990)과 미질 관련 특성 분석(Lee *et al.*, 2013) 연구는 일부 수행되었지만 우수한 유전자원을 밥쌀용 육종사업에 도입하여 품종 개발과 보급 등 실용적 성과로 이어진 경우는 드문 편

이다. 실제로 현재까지 재래벼와 잡초벼를 교배모본으로 활용하여 국가와 민간에서 개발한 품종수는 25개 내외이다. 그럼에도 불구하고 대부분 유색 메벼와 찰벼 및 가공용 품종(19품종)이고 밥쌀용 품종은 6품종(3품종, 3중간모본)에 불과하며, 그나마 재배되는 품종은 조정도 유래의 참드림('18, 4,729 ha)이 유일하다. 따라서 본 연구는 우리나라 밥쌀용 벼 품종의 협소한 유전적 다양성을 극복하기 위해 재래벼와 잡초벼 등 국내 고유 유전자원의 식미 특성을 평가하였고, 재래벼와 잡초벼 중에서 밥쌀용 벼 육종프로그램에 도입할 수 있는 우수한 유전자원을 선발하기 위해 실시하였다.

재료 및 방법

시험재료 및 재배방법

우리나라 고유 유전자원인 재래벼 26품종, 잡초벼 21품종, 국내 육성 벼 24품종과 일본 육성 5품종 등 76품종을 공시하였다(Table 1). 재래벼와 잡초벼는 농촌진흥청 국립식량과학원 벼 육종팀에서 증식한 생육과 미질 특성이 양호한 유전자원을 활용하였으며, 국내 품종은 연대별 밥쌀용 대표 품종을 선정하였고, 일본 품종은 우리나라 고유 유전자원과 비교를 위하여 식미 특성이 우수한 대표 품종을 선정하였다. 시험재료는 농촌진흥청 국립식량과학원 벼 시험포장(전북 완주)에서 2017년 5월 2일 파종하여 6월 3일에 30×15 cm로 주당 3본씩 5열(열당 26주)로 이앙하여 시험을 수행하였다. 비료는 N-P₂O₅-K₂O를 90-45-57 kg/ha으로 사용하였으며, 질소는 기비-분얼비-수비를 50-20-30%의 비율로 분시하였고, 인산은 전량 기비로, 칼륨은 기비-수비를 70-30%의 비율로 분시하였다. 시험재료에 대한 그 밖의 재배방법은 농촌진흥청 표준재배법에 준하여 실시하였다.

생육 특성 및 외관 품질

생육특성은 농업과학기술 연구조사 분석기준(RDA, 2012)에 따라 출수기, 간장, 수장, 수수, 수당립수 및 천립중을 조사하였다. 등숙율은 품종별 3주씩 3반복으로 수확한 다음 염수선으로 등숙립과 비등숙립을 선별하여 총립수에 대한 등숙립의 비율로 구하였다. 수량은 출수 후 50일경에 50주를 수확하여 수분함량 15% 이하로 건조 한 후 평량하여 10 a당 수량으로 환산하였다. 외관 품질은 공시품종을 출수 후 50일에 수확하여 로올러식 제현기로 탈곡한 후 현미를 시험용 정미기(VP-32T, Yamamoto Co., Ltd., Yamagata, Japan)를 이용하여 백미로 도정하였고, RN300 (Kett Co., Ltd.,

Table 1. Seventy-six Korean *japonica* rice accessions used in this study.

Origin group (No. of germplasm)	Variety
Korean landrace (26)	Anjeunbaengi, Chimabyeo, Dadajo, Damageng, Damageum, Dandura, GeochangJaerae1, Gudo, Guido, Hwangdo, Hwangjodo, Inbujinado, Jandadaki, Jjoljangbyeo, Jojeongdo, Joseondo, Kimcheonjaeraebyeo, Najo, Namjo, Namkangbakjo, Neujdalkbyeo, Obaegjo, Pungjo, Sangdo, Waebyeo, Yeongbokkyangdo
Korean weedy rice (21)	Boeunaengmi10, Dalseongaengmi10-2, Euiryeongaengmi1-3, Eumseongaengmi16, Gachangaengmi8-2, Geochangaengmi20-2, Gochangaengmi9, Gongjuaengmi11-2, Goseongaengmi3, Hayangaengmi3-2, Hoengseongaengmi3, Korea1933, Maejeonaengmi17-3, Najuaengmi15, Namjejuaengmi6, Palgeumdoaengmi19, Soonchangaengmi9, Soonchangaengmi13, Yeonggwangaengmi12, Yeonggwangaengmi14, Wandoaengmi6
Korean variety (24)	Daeon, Daebo, Dobong, Gangchan, Gopum, Haiami, Ilmi, Ilpum, Jinheung, Jungsaenggold, Milyang95, Nongbaeg, Odae, Palgong, Pungmi, Samjiyeon4, Samkwang, Samnam, Sindongjin, Sukwang, Suweon527, Suweon529, Suweon530, Unkwang
Japanese variety (5)	Akidagomachi, Chucheong, Hitomebore, Koshihikari, Nipponbare

Tokyo, Japan)을 이용하여 백미의 완전미율을 조사하였다.

식미 관련 이화학적 특성 및 식미관능검정

공시품종의 식미 관련 이화학적 특성으로 단백질 함량과 아밀로스 함량을 조사하였으며, 밥맛 관련 특성으로 취반미의 윤기치를 조사하였고, 실제 밥맛 평가를 위해 식미관능검정을 실시하였다. 단백질 함량은 AOAC (1995)방법에 의하여 Micro Kjeldahl법으로 자동 단백질 분석기(Kjeltec 2400 AUT, Foss Tecator, Mulgrave, Australia)로 측정하였다. 아밀로스 함량은 Juliano (1985)의 비색정량법에 따라 시료 100 mg에 95% 에탄올과 1 N sodium hydroxide를 가한 후 호화시킨 전분 호화액에 1 N acetic acid와 2% I₂-KI 용액을 첨가하여 요오드 정색 반응 후 분광광도계를 이용하여 620 nm의 파장에서 흡광도를 측정하였다. 취반미의 윤기치는 백미 33 g을 정량하여 식미검정기인 MA-90B (Toyo Co., Tokyo, Japan)를 이용하여 측정하였다. 식미 관능검정은 전기밥솥(CR-0313V, Cuckoo Electronics Co. Ltd., Yangsan, Korea)에 밥을 취반하여 ‘추청’의 밥맛을 기준으로 하여 6~8명의 숙련된 패널이 밥 모양(색깔 및 윤기), 냄새, 찰기, 질감, 밥맛 및 종합평가 등 6항목을 평가하였다. 평가는 기준 밥인 ‘추청’과 비교하여 비슷하면 보통(0), 기준보다 나쁜 쪽으로 3단계(-1, -2, -3), 좋은 쪽으로 3단계(+1, +2, +3)의 수준으로 평가하고 2회 검정의 밥맛 평균값을 식미치로 이용하였다.

쌀가루의 호화 특성

신속점도측정기 RVA4500 (Perten Instruments, Australia)을 이용하여 쌀가루의 호화점도 특성을 분석하였다. 용기에 시료 3 g과 25 mL의 증류수를 넣어 분산시키고 온도를 50-

95°C까지 상승 및 유지시킨 후 다시 50°C까지 냉각, 유지하면서 점도를 측정하였다. 호화점도 특성은 최고점도(peak viscosity), 최저점도(Hot-paste viscosity), 최종점도(cool-paste viscosity)를 구하고, 이것을 이용하여 강하점도(breakdown: 최고점도-최저점도)와 치반점도(setback: 최종점도-최고점도)를 계산하였다. 점도 단위는 RVU (rapid viscosity unit)로 표시하였다.

분자유종법에 의한 고식미 유전자원 선발

기존에 보고된 식미 관련 분자마커 분석(Table 2, Fig. 1)을 통한 회귀식 값을 이용하여 유전자원 선발에 활용하였다. 식미 회귀식 값은 식미를 증진시키는 DNA 마커(*E30*, *P5*, *B1*, *CBG*, *J6*, *WK9*)와 식미를 감소시키는 DNA 마커(*G4*, *M11*, *M2CG*, *A7*, *GPA*, *S3c1*, *Ams*) 분석을 통하여 다음과 같은 회귀식에 의해 값을 구하여 기대식미치로 표시하였다(Lestari *et al.*, 2009).

$$\begin{aligned} \text{기대식미치(EEQ)} &= 76.66 - (16.97 \times G4) - (1.94 \times M11) \\ &+ (26.55 \times E30) - (2.4 \times M2CG) - (21.14 \times GPA) - (1.62 \times S3c1) \\ &+ (19.01 \times P5) + (6.42 \times B1) + (13.45 \times CBG) + (3.87 \times J6) \\ &+ (2.62 \times WK9) - (12.33 \times A7) - (8.72 \times Ams) \end{aligned}$$

기대식미치가 높을수록 식미가 좋은 것으로 추정하여 유전자원을 선발하였다. 분자마커 분석을 위한 DNA추출은 Murray & Thompson (1980)의 방법을 기반으로 하여 CTAB (cetyltrimethylammonium bromide) 방법을 실험실 조건에 맞게 조금 변형하여 수행하였다. DNA추출을 위한 잎 샘플은 공시품종 각각의 종자를 파종한 후, 유묘기 때 잎을 채취하여 사용하였다. PCR반응조건은 Lestari *et al.* (2009)의

Table 2. Markers used in this study for the evaluation of rice eating quality.

Marker	Type	Chr ^b	Primer sequence	
			forward (5'-3')	reverse (5'-3')
<i>A7</i>	STS	12	TGCCTCGCACCAGAAATAG	TGCCTCGCACCATGAG
<i>B1</i>	STS	11	GTTTCGCTCCTACAGTAATTAAGGG	GTTTCGCTCCCATGCAATCT
<i>J6</i>	STS	11	GTCGGAGTGGTCAGACCG	GTCGGAGTGGATGGAGTAGC
<i>M2CG</i>	STS	8	ACAACGCCTCCGATGA	ACAACGCCTCCGACAACAAGAT
<i>M11</i>	STS	6	GTCCACTGTGACCACAACAT	GTCCACTGTGGGGATTGTTCT
<i>P5</i>	STS	10	ACAACGGTCCGTCCTTGCTT	ACAACGGTCCAACAGATACTTTTGA
<i>WK9</i>	STS	9	CCCGCAGTTAGATGCACCATT	CCGCAGTTAGATCAAGTGCC
<i>E30</i>	STS	1	TACCTGGTTGATGTATACAGATCTGGTT	ATCCCTCGATCCCTCTAGCATTAT
<i>G4</i>	STS	1	GAGACCGATATGCGATTC	GTGGTGTTTAGATCCAGAGACTTA
<i>S3cl</i>	Indel	7	CCACTCTCATGTCCTTGAAC	GCCATGACATTTGGACAT
<i>Ams</i>	SSR	2	CTTCCAAGGACCCCATCCT	CCCAACATCTCCGTCAGAAT
<i>GPA</i>	SSR	11	AATACGCGGCCTTCTCCTAT	TTGATCCGAATGGGTCAAAT
<i>CBG</i>	SSR	10	AGCTTCCCTAATGGCTTCGT	ATTGCCAACTTTTGATGG

^bChr: Chromosome number

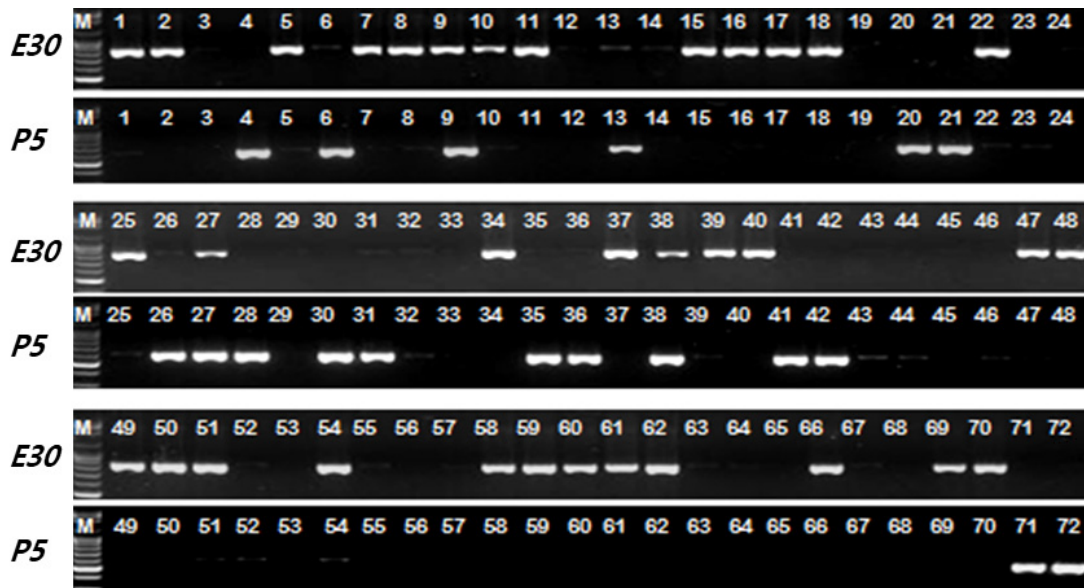


Fig. 1. PCR bands of the *E30* and *P5* DNA markers (known to increase eating quality) of Korean *japonica* rice accessions.

논문에서 제시한 방법에 따라 수행하였고, PCR 반응조건은 genomic DNA 40 ng, 25 mM MgCl₂ 2 µl, 2.5 mM dNTPs 1 µl, Taq polymerase 1 unit, 10 µM 프라이머 1 µl를 혼합한 후, 반응용액이 총 20 µl 되게 한 후 PCR 분석에 이용하였다. PTC-200 Peltier Thermal Cycler (MJ Research, Ins.)를 이용한 첫 변성은 95°C에 5분간, 그 후의 변성은 95°C에서 30~40초, annealing은 55~62°C에서 30~40초, 그리고 DNA 합성은 72°C에서 30~40초로 총 35 cycles를 실행하

였으며, 최종 DNA 합성은 72°C에서 10~15분간 실시하였다. 합성된 DNA는 2~3% agarose gel 상에서 분리하고, EtBr에 염색하여 UV 램프에서 band를 확인하였다.

통계 분석

통계분석은 SAS 프로그램(version 9.2, Enterprise Guide 4.2; SAS Institute Inc., Cary, NC, USA)을 이용하였다. 조사된 형질에 대한 평균을 기술통계법으로 구하였고, PROC

ANOVA로 분산분석 후 유의성이 있을 경우 Duncan의 다중검정방법으로 분석하였으며, 식미 특성에 대한 상관분석도 SAS 프로그램을 이용하였다.

결과 및 고찰

재래벼와 잡초벼의 생육 특성

우리나라 재래벼와 잡초벼의 주요 생육 특성을 살펴 본 결과는 Table 3과 같다. 재래벼와 잡초벼의 출수일수는 평균 110일로 대부분 중생~중만생종에 속하였고, 간장은 각각 109 cm와 105 cm로서 국내 품종과 일본 품종에 비하여 큰 편이어서 도복에 약하였다. 수장은 일본 품종보다 길었고, 수당립수는 일본 품종 보다 24개 이상 많은 편이었으나 국내 품종과는 차이가 없었고 수수는 11개로서 일본 품종 보다 1개가 적었다. 등숙률은 국내 품종과 일본 품종이 92% 이상이었으며 재래벼와 잡초벼는 각각 89%와 91%로 통계적 유의성이 없어 등숙 특성이 양호한 편에 속하였다. 현미 천립중은 재래벼, 잡초벼, 국내 품종, 일본 품종 등 공시 품종 전체가 21~23 g을 보여 차이가 적었다. 백미 완전미율은 일본 품종(97.8%)이 가장 높았고 재래벼(88.9%)가 가장 낮았으며 잡초벼(91.7%)와 국내 품종(92.9%)은 우수한 편에 속하였다. 반면에 쌀 수량은 국내 품종(596 kg/10a)이 가장 높았고 잡초벼(544 kg/10a), 재래벼(539 kg/10a), 일본 품종(522 kg/10a) 순이었으나 잡초벼와 재래벼, 일본 품종 간에는 통계적 차이가 없었다. 백미 완전미율은 시장에서 소비자가 쌀을 구매할 때 상품성과 관련된 특성으로서 완전미는 불완전미에 비해 단백질 함량이 낮고 밥맛이 우수한 것으로

알려져 있다(Chung *et al.*, 2005). 본 연구에서 백미 완전미율은 일본 품종이 높았는데 이는 공시품종(5품종)이 적었을 뿐만 아니라 식미 특성이 우수한 고유 유전자원의 선발을 위해 비교품종으로 식미와 품질이 우수한 일본 품종을 공시한 결과로 생각된다. 다른 한편으로 재래벼와 잡초벼의 백미 완전미율은 각각 65~97%와 70~98%의 범위를 보였기 때문에 95% 이상의 우수한 유전자원들은 고품질 품종 개발을 위한 육종소재로서 가치가 있을 것으로 판단된다.

재래벼와 잡초벼의 식미 특성

재래벼와 잡초벼의 식미 특성을 살펴보기 위해 밥의 윤기치와 기대식미치, 단백질 함량, 아밀로스 함량 및 쌀가루의 호화특성을 분석하였으며(Table 4), 숙련된 패널을 활용하여 식미관능검정을 실시하였다(Table 5). 밥의 윤기치는 일본 품종이 유의하게 높았으며 재래벼와 잡초벼, 국내 품종간에는 차이가 없었다. 반면에 단백질과 아밀로스 함량은 재래벼와 잡초벼에서 높은 경향이였다. 재래벼와 잡초벼의 윤기치는 각각 51.7에서 75.2의 범위와 51.9에서 81.8의 범위를 보여 국내 품종과 일본 품종의 최대 윤기치인 78.1과 76.4보다 높은 유전자원이 존재하였고, 단백질 함량 또한 최솟값이 국내 품종과 일본 품종 보다 낮은 유전자원이 존재하였다. 다만 아밀로스 함량의 최솟값은 재래벼와 잡초벼, 국내 품종 및 일본 품종 그룹 간에 유사한 결과를 보였다(Table 4). 밥의 윤기를 측정하여 자포니카 벼 품종의 밥맛을 평가하는 방법이 활발하게 이용되고 있는데 윤기치가 높을수록 밥맛이 좋은 것으로 알려져 있다(Lee, 2003; Suh *et al.*, 2004). 한편 식미와 가장 밀접한 관련이 있는 이

Table 3. Agronomic and yield potential traits in origin groups of 76 Korean *japonica* rice accessions.

Traits	Korean landrace		Korean weedy rice		Korean variety		Japanese variety	
	Mean	Range	Mean	Range	Mean	Range	Mean	Range
DSH (days) ¹	110 ^a	97~121	110 ^a	103~117	103 ^b	90~111	102 ^b	96~109
CL (cm)	108.9 ^a	74.7~139.5	105.0 ^a	81.4~134.6	78.2 ^b	69.4~99.5	86.2 ^b	80.9~94.8
PL (cm)	22.2 ^a	16.6~28.3	21.9 ^a	19.2~25.0	21.1 ^{ab}	18.6~23.0	19.8 ^b	18.6~20.4
NP (ea)	11 ^b	8~14	11 ^b	8~14	11 ^b	8~13	12 ^a	10~14
NSP (ea)	125 ^a	89~189	129 ^a	94~215	125 ^a	91~162	101 ^b	85~119
GFR (%)	89.3 ^a	63.6~97.3	90.5 ^a	66.4~97.8	92.2 ^a	81.9~97.8	93.6 ^a	90.8~95.6
GW (g)	22.5 ^{ab}	17.4~26.8	21.1 ^b	17.4~24.6	23.3 ^a	20.2~29.0	22.6 ^{ab}	21.6~23.2
HRR (%)	88.9 ^c	64.6~96.7	91.7 ^b	70.1~98.0	92.9 ^b	69.2~98.7	97.8 ^a	97.0~98.6
Milled rice Yield (kg/10a)	539 ^{ab}	429~715	544 ^{ab}	370~748	596 ^a	418~767	522 ^b	465~572

¹ DSH, Days from seeding to heading; CL, Culm length; PL, Panicle length; NP, No. of panicles per hill; NSP, No. of spikelets per panicle; GFR, Grain-filling ratio; GW, 1000 grain weight of brown rice; HRR, Head rice ratio.

Means with the same letter in a row are not significantly different at the 5% level ($p < 0.05$).

Table 4. Characteristics related to eating quality by origin groups of 76 Korean *japonica* rice accessions.

Traits	Korean landrace		Korean weedy rice		Korean variety		Japanese variety	
	Mean	Range	Mean	Range	Mean	Range	Mean	Range
GV ¹	64.1 ^b	51.7~75.2	64.7 ^b	51.9~81.8	66.3 ^b	51.9~78.1	71.8 ^a	66.5~76.4
EEQ	82.2 ^b	41.2~116.8	74.8 ^b	40.7~114.2	95.5 ^a	66.9~123.3	97.2 ^a	75.3~121.6
PC (%)	6.5 ^{ab}	5.3~7.9	6.7 ^a	5.6~8.0	6.4 ^{bc}	5.6~7.2	6.3 ^c	5.9~6.6
AC (%)	19.3 ^a	17.0~23.5	18.7 ^{ab}	16.9~20.2	18.3 ^b	16.9~20.8	18.3 ^b	17.1~19.0
PV (RVU)	212 ^c	168~245	220 ^{bc}	181~282	227 ^b	181~293	240 ^a	199~262
HPV (RVU)	118 ^a	92~154	117 ^a	85~193	119 ^a	89~164	120 ^a	88~140
CPV (RVU)	239 ^a	196~288	236 ^{ab}	192~364	225 ^b	182~280	227 ^b	201~246
BD (RVU)	94 ^c	74~115	103 ^b	72~146	109 ^b	67~164	120 ^a	96~137
SB (RVU)	28 ^a	-3~54	16 ^b	-41~83	-2 ^c	-85~42	-13 ^d	-35~16

¹GV, Glossiness value from the Toyo taste meter; EEQ, Expected eating quality; PC, Protein content; AC, Amylose content; PV, Peak viscosity; HPV, Hot-paste viscosity; CPV, Cool-paste viscosity; BD, Breakdown; SB, Setback. Means with the same letter in a row are not significantly different at the 5% level ($p < 0.05$).

Table 5. Palatability evaluation score from the sensory test by origin groups of 76 Korean *japonica* rice accessions.

Traits	Korean landrace		Korean weedy rice		Korean variety		Japanese variety	
	Mean	Range	Mean	Range	Mean	Range	Mean	Range
Glossiness	-0.08 ^a	-1.17~0.67	0.03 ^a	-1.20~0.67	-0.04 ^a	-1.00~0.80	-0.08 ^a	-0.67~0.50
Smell	-0.06 ^a	-0.67~0.33	-0.06 ^a	-1.17~0.33	-0.01 ^a	-0.80~0.60	0.00 ^a	0.00~0.00
Stickiness	-0.15 ^a	-1.00~0.57	-0.12 ^a	-1.40~0.60	-0.12 ^a	-0.83~0.60	-0.03 ^a	-0.33~0.17
Hardness	-0.02 ^a	-1.00~0.83	0.00 ^a	-1.33~0.60	0.03 ^a	-1.17~1.00	0.13 ^a	-0.17~0.33
Taste	0.04 ^b	-0.83~0.67	0.10 ^{ab}	-1.00~0.80	0.00 ^b	-0.80~0.80	0.24 ^a	0.00~0.57
Overall evaluation	-0.05 ^b	-1.00~0.67	-0.02 ^b	-1.50~1.00	-0.05 ^b	-1.00~0.80	0.22 ^a	-0.17~0.57

Means with the same letter in a row are not significantly different at the 5% level ($p < 0.05$).

화학적 특성은 단백질과 아밀로스 함량으로서 일반적으로 단백질과 아밀로스 함량이 낮을수록 밥맛이 좋은 것으로 알려져 있으며(Choi *et al.*, 1997), 단백질 함량이 높을수록 밥을 지었을 때 딱딱하게 느껴지고 기호도가 떨어지는 경향인 것으로 알려져 있다(Choi *et al.*, 2002). 이와 같이 기존에 보고된 윤기치와 단백질 및 아밀로스 함량과 식미와의 관련성과 본 연구 결과를 볼 때 우리 고유 유전자원인 재래벼와 잡초벼에서도 우수한 유전자원을 선발하여 육종 프로그램에 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

식미를 증진시키는 6개 마커와 감소시키는 7개 마커의 식미 회귀식 값으로 표현한 기대식미치는 국내 품종과 일본 품종 간에는 유사한 경향이었고 재래벼와 잡초벼보다는 유의하게 높은 결과를 보였다. 기대식미치의 최댓값도 국내 품종과 일본 품종이 다소 높은 결과를 보였으나 재래벼와 잡초벼 중에서도 100 이상의 높은 기대식미치를 보이는 유전자원이 탐색되었다(Table 4). 본 연구에 적용한 기대식

미치는 최근 육성한 국내 품종 및 계통과 일본 품종을 바탕으로 산정한 회귀식값(Lestari *et al.*, 2009)이기 때문에 재래벼와 잡초벼 보다 국내 품종과 일본 품종들에서 높은 값을 보인 것으로 판단된다. Suh *et al.* (2014)에 의하면 13개 DNA 마커에 의한 식미회귀값은 모든 교배조합 육종집단의 선발에 적용하기는 어렵다고 보고하였는데, 본 연구에서도 기대식미치만을 바탕으로 고식미 재래벼와 잡초벼 자원을 선발하기에는 무리가 있을 것으로 생각된다.

쌀가루의 소화특성을 살펴본 결과, 재래벼와 잡초벼는 최종점도(PV)가 낮았으나 최종점도(CPV)는 높은 경향이었고, 최저점도(HPV)는 4개 그룹 간에 차이가 없었다. 소화점도 특성을 바탕으로 계산한 강하점도(BD)와 치반점도(SB)는 반대의 경향을 보였는데, 재래벼는 강하점도가 94 RVU로 가장 낮았으나, 치반점도는 28 RVU로 가장 높은 결과를 보였다. 반면에 일본품종은 강하점도가 가장 높고 치반점도가 가장 낮았다(Table 4). 쌀의 물리적 특성을 나타내

는 호화특성은 강하점도가 높고 치반점도가 낮을수록 식미가 우수하다고 알려져 있는데(Jennifer & Les, 2004; Saitoh *et al.*, 2002) 본 연구에서도 일본 품종들이 평균적으로 우수한 결과를 보였으나 강하점도의 최댓값과 치반점도의 최솟값은 잡초벼와 국내 품종이 일본 품종보다 우수한 결과를 나타냈다.

식미관능검정 결과 밥 모양과 냄새, 찰기, 질감 등은 재래벼와 잡초벼, 국내 품종 및 일본 품종 간에 차이가 없었으나, 밥맛은 잡초벼와 일본 품종이 우수하였고 식미 종합평가는 일본 품종이 가장 좋았다. 그러나 밥맛과 종합평가의 최댓값은 재래벼와 잡초벼가 일본 품종 보다 높아서 식미관능검정에서도 우수한 우리나라 고유 유전자원이 존재하는 것으로 평가되었다(Table 5).

식미 관련 이화학적 특성을 종합하면 평균적으로는 일본 품종이 우수한 결과를 보였으나 이는 공시된 품종수(5품종)가 적었고 식미와 미질 특성이 우수하다고 알려진 품종만을 비교품종으로 공시한 결과로 생각되며, 재래벼와 잡초벼 중에서 각 식미 특성별로 일본 품종보다 우수한 유전자원이 다수 탐색된 점은 고무적인 결과라고 생각된다.

식미관능평가와 식미 관련 특성의 상관 분석

전문패널을 통한 식미관능검정은 직접적으로 밥맛을 평가하는 방법으로 밥쌀용 품종 육종 프로그램의 최종단계에서 실시하고 있다. 최근에는 품종 개발 시 우리 쌀의 품질 고급화와 소비자 선호도 등을 고려할 때 가장 중요한 평가 지표로 활용되고 있다. 이에 재래벼와 잡초벼 중 고식미 유

전자원 선발의 효율성을 높이기 위해 공시된 76품종의 식미 관능검정 종합평가 결과와 식미 관련 특성의 상관 분석을 실시하였다(Table 6). 식미관능검정 종합평가값과 윤기치(0.531), 아밀로스 함량(0.349), 백미 완전미률(0.300) 간에는 고도의 정의 유의 상관을 나타냈으며, 단백질 함량(-0.376), 최종점도(-0.194), 치반점도(-0.166) 간에는 부의 유의 상관을 보였다. 그러나 식미관능검정 종합평가값은 13개 DNA 마커에 의한 기대식미치와 최고점도, 최저점도, 강하점도와는 아무런 상관 관계를 보이지 않았다. 한편 기계적 윤기치는 기대식미치와 낮은 수준의 정의 유의 상관(0.136)과 완전미율과는 고도의 정의 유의 상관(0.287)을 보였고, 단백질 함량과는 고도의 부의 유의 상관(-0.388)을 나타냈다. 호화특성 중에서 치반점도는 기계적 윤기치와 기대식미치 간에 고도의 부의 유의 상관을 보였다.

일반적으로 밥맛이 좋은 품종은 윤기치가 높고 단백질 함량이 낮으며 호화특성 중 최고점도와 강하점도가 높고 치반점도가 낮은 것으로 알려져 있다(Cho *et al.*, 2013; Wada *et al.*, 2006, 2008; Wang *et al.*, 2007; Xu *et al.*, 2018). 본 연구에서도 기존의 보고와 유사한 경향을 보였으며, 특히 밥맛(식미관능검정 종합평가값)이 기계적 윤기치와 가장 상관이 높아 고식미 고유 유전자원 선발을 위한 지표로 활용 가능할 것으로 판단되었다. 반면에 기대식미치는 식미 관능검정 종합평가값과는 상관관계를 보이지 않았으나 기계적 윤기치와는 낮은 수준의 정의 상관을 보여 육종 효율성 향상을 위해 고식미 유전자원 선발에 적용해 볼 필요가 있다고 생각된다. 다른 한편으로 외관품질의 경우 완전미

Table 6. Correlation coefficients among the eating quality traits of 76 Korean *japonica* rice accessions.

Traits	PS ¹⁾	GV	EEQ	PC	AC	HRR	PV	HPV	CPV	BD
GV	0.531***	-								
EEQ	0.007 ^{ns}	0.136*	-							
PC	-0.376***	-0.388***	-0.152*	-						
AC	0.349***	0.245***	-0.167*	-0.163*	-					
HRR	0.300***	0.287***	-0.010 ^{ns}	-0.145*	0.411***	-				
PV	-0.034 ^{ns}	0.040 ^{ns}	0.090 ^{ns}	0.076 ^{ns}	-0.441***	0.107 ^{ns}	-			
HPV	0.011 ^{ns}	-0.022 ^{ns}	0.003 ^{ns}	0.134*	-0.056 ^{ns}	0.051 ^{ns}	0.664***	-		
CPV	-0.194**	-0.218***	-0.145*	0.159*	0.090 ^{ns}	-0.054 ^{ns}	0.446***	0.853***	-	
BD	-0.056 ^{ns}	0.075 ^{ns}	0.117 ^{ns}	-0.031 ^{ns}	-0.532***	0.127 ^{ns}	0.681***	-0.096 ^{ns}	-0.242***	-
SB	-0.166*	-0.255***	-0.226***	0.094 ^{ns}	0.478***	-0.149*	-0.430***	0.276***	0.616***	-0.843***

¹⁾PS, Palatability score from the sensory test; GV, Glossiness value from the Toyo taste meter; EEQ, Expected eating quality; PC, Protein content; AC, Amylose content; HRR, Head rice ratio; PV, Peak viscosity; HPV, Hot-paste viscosity; CPV, Cool-paste viscosity; BD, Breakdown; SB, Setback; ns, not significant at the 5% level; ***, **, and *, significant at the 0.1%, 1%, and 5% level, respectively.

는 불완전미에 비해 밥맛이 우수한 것으로 보고(Chung *et al.*, 2005)된 것과 유사하게 본 연구에서도 완전미율이 높으면 밥맛과 윤기치가 높고, 단백질 함량이 낮은 결과를 보였다.

분자유종법과 윤기치를 활용한 우수 유전자원의 선발

윤기치와 기대식미치의 상관 분석 결과(Table 6)를 바탕으로 76품종의 분포를 살펴본 결과는 Fig. 2와 같다. 76개 유전자원의 윤기치와 기대식미치는 각각 평균 65.5와 85.3이었으며 변이 범위는 각각 49.7~81.8과 40.7~123.3이었다. 윤기치가 70 이상인 유전자원은 국내 품종 6품종(일품, 삼광, 하이아미, 고품, 수광, 삼지연4), 일본 품종 3품종(히토메보레, 고시히카리, 아키다고마치), 재래벼 4품종(조정도, 다마금, 구도, 왜벼), 잡초벼 3품종(달성앵미10-2, 완도앵미6, 남제주앵미6) 등 16품종이었다. 반면에 기대식미치가 100 이상인 유전자원은 국내 품종 8품종(일품, 삼광, 수광, 운광, 오대, 대안, 팔공 수원529호), 일본 품종 1품종(히토메보레), 재래벼 3품종(단두라, 남강박조, 왜벼), 잡초벼 5품종(가창앵미8-2, 횡성앵미3, 보은앵미10, 순창앵미9, 남제주앵미6) 등 17품종이었다.

윤기치(70<)와 기대식미치(80<)가 모두 높은 재래벼는 구도와, 왜벼, 조정도였고 잡초벼는 달성앵미10-2와 남제주앵미6였다. 따라서 이들은 고식미 유전자원으로 활용 가치가 높을 것으로 기대되었다. 한편 재래벼인 남강박조, 단두라와 잡초벼인 순창앵미9, 보은앵미10은 기대식미치는 높으나 윤기치는 낮은 특성을 보였다. 반대로 재래벼인 다마금과 잡초벼인 완도앵미6는 윤기치는 높으나 기대식미치가

낮은 특성을 나타냈다. 특히 완도앵미6는 유전자원 중 윤기치는 81.8로 가장 높았으나 기대식미치는 40.7로 가장 낮았다. 기대식미치는 최근 육성한 국내 품종 및 계통과 일본 품종을 바탕으로 13개 DNA 마커에 의해 산정한 회귀식값(Lestari *et al.*, 2009)이기 때문에 윤기치가 높고 기대식미치가 낮다는 것은 오히려 우리나라의 기존 고품질 품종들과 완전히 다른 유전적 배경의 밥맛 유전자를 보유하고 있을 가능성이 매우 크다고 볼 수 있다.

식미관능평가와 윤기치를 활용한 우수 유전자원의 선발

식미관능검정 종합평가값과 윤기치는 Table 6에서 살펴본 것처럼 고도의 정의 유의상관($r=0.531^{***}$)을 보였기 때문에 고식미 고유 유전자원 선발을 위해 식미관능검정 결과와 윤기치를 기준으로 76품종의 분포를 살펴보았다(Fig. 3). 76개 유전자원의 식미관능검정 종합평가값은 평균 0.00이었으며 -1.35에서 0.83까지 변이 범위를 보였다. 식미관능검정 종합평가값이 농촌진흥청의 최고품질 품종 선정 기준인 0.3 이상인 유전자원은 국내 품종 5품종(일품, 대보, 강찬, 신동진, 일미), 일본 품종 1품종(히토메보레), 재래벼 5품종(구이도, 황조도, 상도, 왜벼, 영곡량도), 잡초벼 5품종(가창앵미8-2, 달성앵미10-2, 횡성앵미3, 영광앵미12, 완도앵미6) 등 16품종이었다. 식미관능검정 종합평가값은 재래벼 중에서 상도가 0.47로 가장 높았고, 잡초벼 중에서는 횡성앵미3과 완도앵미6이 각각 0.60과 0.83으로 가장 높았다.

분자유종법에 의한 기대식미치와 윤기치 및 식미관능검정 결과를 종합(Figs. 1, 2)하여 우리나라 고유 유전자원 중 재래벼인 상도, 왜벼와 잡초벼인 횡성앵미3, 남제주앵미6,

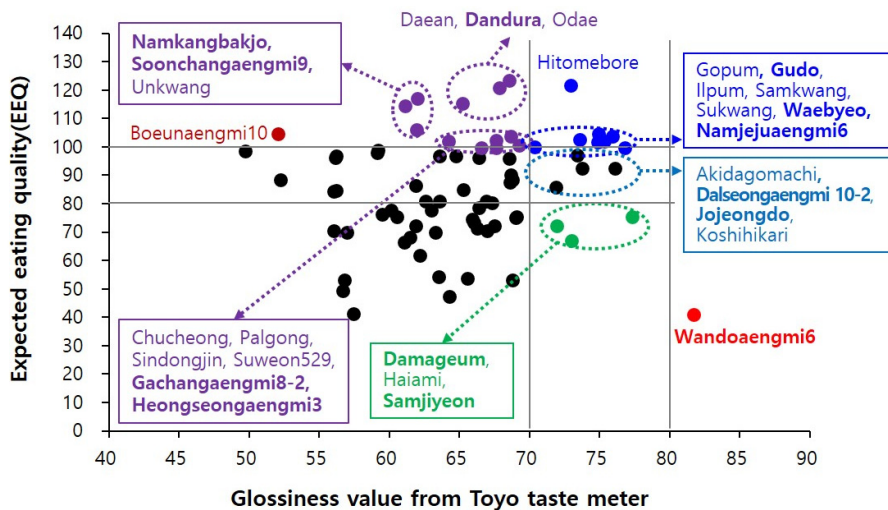


Fig. 2. Distribution of 76 japonica rice accessions by expected eating quality and glossiness value by the Toyo taste meter.

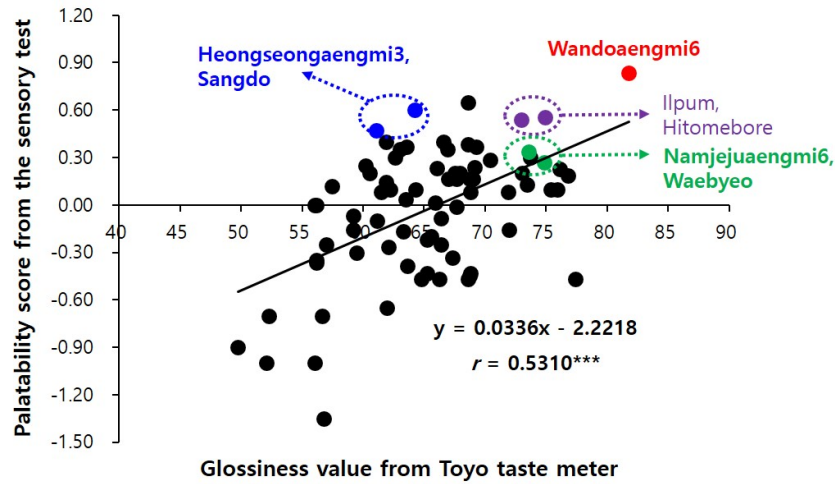


Fig. 3. Correlation between the palatability score from the sensory test and the glossiness value by the Toyo taste meter of 76 Korean *japonica* rice accessions.

Table 7. Selection of promising resources related to the eating quality of 76 Korean *japonica* rice accessions.

Varieties	PC [‡] (%)	AC (%)	RVA (RVU)					GV	EEQ	PS
			PV	HPV	CPV	BD	SB			
Ipum (check)	6.0	19.6	220.9	145.4	253.8	75.5	32.9	75.0	104.5	0.55
Hitomebore (check)	6.3	18.4	250.1	128.1	227.4	122.1	-22.7	73.0	121.6	0.54
Sangdo	6.3	18.9	223.0	119.3	254.4	103.8	31.4	61.1	66.5	0.47
Waebyeo	5.7	20.7	220.1	120.3	237.1	99.8	17.0	73.6	102.3	0.33
Heongseongaengmi3	6.1	18.3	233.0	119.3	224.2	113.7	-8.8	64.3	101.9	0.60
Namjejuaengmi6	5.8	19.4	201.9	104.8	214.1	97.2	12.2	74.9	101.6	0.27
Wandoaengmi6	5.6	19.0	254.1	139.9	263.9	114.2	9.9	81.8	40.7	0.83

[‡]PC, Protein content; AC, Amylose content; PV, Peak viscosity; HPV, Hot-paste viscosity; CPV, Cool-paste viscosity; BD, Breakdown; SB, Setback; GV, Glossiness value from the Toyo taste meter; EEQ, Expected eating quality; PS, Palatability score from the sensory test.

Table 8. Growth characteristics of promising resources related to the eating quality of 76 Korean *japonica* rice accessions.

Varieties	HSD [‡] (days)	CL (cm)	PL (cm)	NP (ea)	NSP (ea)	GFR (%)	GW (g)	HRR (%)	Milled rice yield (kg/10a)
Ipum (check)	111	70	23	10	152	95.4	23.0	93.0	562
Hitomebore (check)	97	87	20	14	85	92.5	22.8	98.3	523
Sangdo	104	112	22	8	128	94.5	25.6	89.1	513
Waebyeo	115	97	20	11	109	96.8	23.2	90.7	528
Heongseongaengmi3	107	84	22	12	138	95.2	22.2	96.0	615
Namjejuaengmi6	111	84	19	12	100	87.8	21.4	96.3	535
Wandoaengmi6	103	111	20	10	215	93.0	18.8	97.8	567

[‡]HSD, Days from seeding to heading; CL, Culm length; PL, Panicle length; NP, No. of panicles per hill; NSP, No. of spikelets per panicle; GFR, Grain-filling ratio; GW, 1000 grain weight of brown rice; HRR, Head rice ratio.

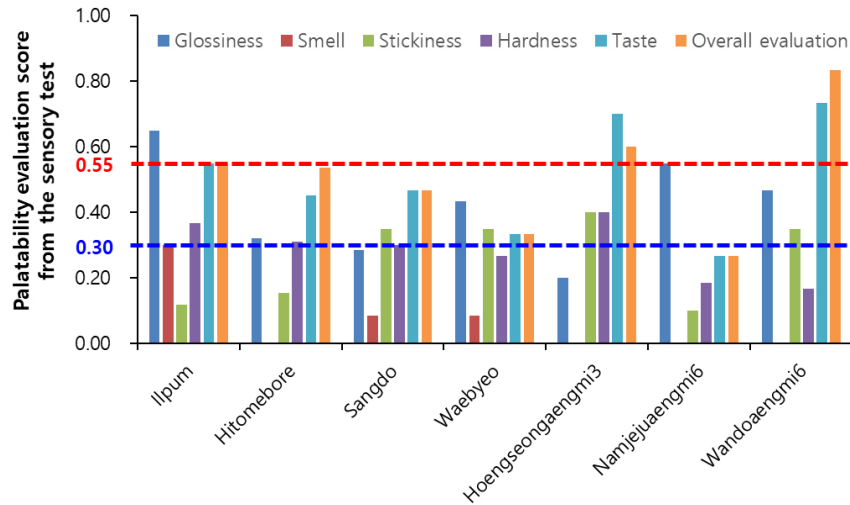


Fig. 4. Palatability evaluation scores from the sensory tests of promising genetic resources related to the eating quality of 76 Korean *japonica* rice accessions.

완도앵미6 등 5품종을 고식미 우수 유전자원으로 선발하였다. Lee *et al.* (2013)은 재래종 벼 유전자원 394품종을 대상으로 밥의 윤기치를 분석한 결과 우리나라의 대표적 고식미 품종인 일품과 유사한 수준의 재래종이 16품종 탐색되었다고 보고하였는데 본 연구에서는 일품벼 수준의 재래벼는 탐색되지 않았으나 잡초벼인 완도앵미6와 남제주앵미6가 일품벼 이상의 윤기치를 보였다. 특히 완도앵미6은 기대식미치가 가장 낮았음(Fig. 2)에도 Fig. 3에서 보는 것처럼 식미관능검정 종합평가값(0.83)과 윤기치(81.8)가 가장 높아서 국내 고유 유전자원 중 밥맛 관련 새로운 육종소재의 핵심자원으로 기대되며, KASP 마커 셋트를 이용한 genotyping으로 완도앵미6의 고식미 관련 QTLs를 분석 중에 있다(Cheon *et al.*, 2018).

고식미 우수 고유 유전자원으로 선발된 5품종의 식미와 생육특성을 국내 품종인 일품과 일본 품종인 히토메보레와 비교하여 살펴 보았다(Tables 7, 8, Fig. 4). 선발된 유전자원들은 단백질 함량이 5.1~6.3%의 범위를 보여 비교품종에 비하여 낮은 편이었고, 소화특성 중 강하점도와 치반점도는 각각 97.2~114.2 RVU, -8.8~31.4 RVU의 범위로서 비교품종과 유사한 특성을 보였다(Table 7). 전문패널에 의한 식미관능검정에서 남제주앵미6을 제외한 모든 유전자원의 맛과 종합평가값 0.30 이상으로 높은 값을 나타냈으며, 특히 황성앵미3과 완도앵미6은 0.55이상으로 비교품종인 일품과 히토메보레에 비하여 우수한 결과를 보였다. 반면에 남제주앵미6은 맛 관련 특성은 다소 낮았으나 밥 모양과 윤기가 우수하였다(Fig. 4). 선발된 유전자원들의 생육특성 중 출수일수는 103일에서 115일의 범위로서 왜벼와 남제

주앵미6이 중만생종에 속하였고 나머지 상도, 황성앵미3, 완도앵미6은 중생종이었다. 수장과 수수, 천립중은 대조품종과 유사하였으며, 등숙률과 완전미율도 대부분 90% 이상으로 양호하였고, 쌀수량도 513~615 kg/10a 범위로서 대조품종과 유사하거나 높았다(Table 8). 다만 간장이 대조품종 보다 큰 편이었고 수당립수도 대조품종보다 많은 편에 속하여서 개량이 필요한 특성으로 파악되었다. 특히 완도앵미6은 간장이 111 cm이고 수당립수가 215개, 천립중이 18.8 g으로서 육종 프로그램을 통한 밥맛 관련 우수 특성의 도입과 함께 열악 형질의 개량이 수반되어야 할 것으로 생각된다.

적 요

우리나라 밥쌀용 벼 품종의 협소한 유전적 다양성을 극복하기 위해 재래벼 26품종, 잡초벼 21품종, 국내 육성 24 품종과 일본 육성 5품종 등 76품종을 공시하여 국내 고유 유전자원의 식미 특성을 평가하고 재래벼와 잡초벼 중 식미 특성이 우수한 유전자원을 선발하였다.

1. 재래벼와 잡초벼의 간장은 국내 품종 및 일본 품종 보다 큰 편이어서 도복에 약하였으나, 쌀 수량은 일본 품종보다 높았다.
2. 식미 특성은 유전자원군별로 유의적인 차이를 보였는데, 윤기치, 기대식미치, 물리·화학적 특성 및 식미관능평가에서 일본품종보다 식미 특성이 우수한 재래벼와 잡초벼 유전자원이 다수 탐색되었다.

3. 분자육종법과 식미관능검정 및 밥의 윤기치를 종합적으로 평가하여 재래벼인 상도, 왜벼와 잡초벼인 횡성앵미3, 남제주앵미6, 완도앵미6 등 5개의 우수한 고유 유전자원을 선발하였다.
4. 완도앵미6은 전체 유전자원 중에서 기대식미치는 가장 낮았으나 밥맛과 윤기치가 가장 좋은 결과를 보여 새로운 핵심 육종소재로 기대되었다.
5. 밥맛과 윤기치 등 식미 특성을 전체적으로 고려할 때 재래벼와 잡초벼는 종자주권이 강조되는 현실에서 유전적 배경이 다양한 밥쌀용 품종 개발을 위한 고유 육종소재로서 가치가 매우 크다고 판단된다.

사 사

본 논문은 농촌진흥청 연구사업(세부과제명: 국내 유전자원 활용 고양식미 계통 육성, 세부과제번호: PJ01133101)의 지원에 의해 수행된 결과입니다.

인용문헌(REFERENCES)

- Association of Official Analytical Chemists. 1995. AOAC. Method 990.03. In: Official methods of analysis. 16th ed. AOAC., Washington D.C., USA.
- Bao, J. S., X. W. Zheng, Y. W. Xia, P. He, Q. Y. Shu, X. Lu, Y. Chen, and L. H. Zhu. 2000. QTL mapping for the paste viscosity characteristics in rice (*Oryza sativa* L.). *Theor. Appl. Genet.* 100 : 280-284.
- Bao, J. S., Y. R. Wu, B. Hu, P. Wu, H. R. Cui, and Q. Y. Shu. 2002. QTL for rice grain quality based on a DH population derived from parents with similar apparent amylose content. *Euphytica.* 128 : 317-324.
- Cagampang, G. B., C. M. Perez, and B. O. Juliano. 1973. A gel consistency test for eating quality in rice. *J. Sci. Food Agric.* 24 : 1589-1594.
- Cheon, K. S., J. Baek, Y. I. Cho, Y. M. Jeong, Y. Y. Lee, J. Oh, Y. J. Won, D. Y. Kang, H. Oh, S. Lim, I. Choi, I. S. Yoon, K.-H. Kim, J.-H. Han, and H. Ji. 2018. Single nucleotide polymorphism (SNP) discovery and kompetitive allele-specific PCR (KASP) marker development with Korean japonica rice varieties. *Plant Breed. Biotech.* 6(4) : 391-403.
- Cho, Y. C., J. P. Suh, M. R. Yoon, M. K. Baek, Y. J. Won, J. H. Lee, H. S. Park, S. H. Baek, and J. H. Lee. 2013. QTL mapping for paste viscosity characteristics related to eating quality and QTL-NIL development in japonica rice (*Oryza sativa* L.). *Plant Breed. Biotech.* 1(4) : 333-346.
- Choi, H. C. 2002. Current status and perspectives in varietal improvement of rice cultivars for high-quality and value-added products. *Korean J. Crop Sci.* 47(S) : 15-32.
- Choi, H. C., H. C. Hong, and B. H. Nahm. 1997. Physicochemical and structural characteristics of grain associated with palatability in japonica rice. *Korean J. Breeding.* 29(1) : 15-27.
- Chung, N. J., J. H. Park, K. J. Kim, and J. K. Kim. 2005. Effect of head rice ratio on rice palatability. *Korean J. Crop Sci.* 50(S) : 29-32.
- Fitzgerald, M. A., S. R. McCouch, and R. D. Hall. 2009. Not just a grain of rice: the quest for quality. *Trends Plant Sci.* 14 : 133-139.
- Gomez, K. A. 1979. Effect of environment on protein and amylose content of rice. *Proceeding of the workshop on chemical aspects of rice grain quality.* International Rice Research Institute. pp. 59-68.
- Han, X. and B. R. Hamaker. 2001. Amylopectin fine structure and rice starch paste breakdown. *J. of Cereal Sci.* 34 : 279-284.
- Heu, M. H. and H. P. Moon. 1974. Basic studies for the breeding of high protein rice IV. Effect of short-day and high temperature treatment on the amylose and crude protein content of rice. *J. Korean Soc. Crop. Sci.* 14 : 129-133.
- Heu, M. H., Y. C. Cho, and H. S. Suh. 1990. Cross affinity of Korean weedy rice to the cultivars. *Korean J. Crop Sci.* 35(3) : 233-238.
- Jennifer, M. C. and C. Les. 2004. Genotype and environmental influences on pasting properties of rice flour. *Cereal Chem.* 81(4) : 486-489.
- Juliano, B. O. 1985. Criteria and test for rice grain quality. In: Juliano B.O. (ed) Rice chemistry and technology. American Association of Cereal Chemists Inc., St. Paul, pp. 443-513.
- Juliano, B. O. 1996. Rice quality screening with the Rapid Visco Analyzer. In: Walker CE, Hazelton JL (eds) Applications of the Rapid Visco Analyzer. Newport Scientific, Sydney, pp. 19-24.
- Juliano, B. O. and C. P. Villareal. 1993. Grain quality evaluation of world rice. International Rice Research Institute, Manila.
- Kim, C. E., J. K. Sohn, and M. Y. Kang. 2007. Relationship between palatability and physicochemical properties of carbohydrate components in rice endosperm. *Korean J. Crop Sci.* 52(4) : 421-428.
- Kim, T. H., J. K. Sohn, and K. M. Kim. 2009. Analysis of quantitative trait loci (QTL) associated with the gel consistency in rice. *Korean J. Breed. Sci.* 41(4) : 474-481.
- Kwak, Y. M., C. E. Kim, J. K. Sohn, and M. Y. Kang. 2006. Grain quality of commercial brand rice produced in kyungpook province. *Korean J. Crop Sci.* 51(7) : 645-651.
- Kwon, S., Y. C. Cho, J. H. Lee, J. P. Suh, J. J. Kim, M. K. Kim, I. S. Choi, H. G. Hwang, H. J. Koh, and Y. G. Kim. 2011. Identification of quantitative trait loci associated with rice eating quality traits using a population of recombinant inbred lines derived from a cross between two temperate japonica cultivars. *Mol. Cell* 31 : 437-445.

- Lee, J. R., K. H. Ma, G. A. Lee, J. G. Gwang, J. S. Lee, H. K. Kang, Y. K. Kim, J. W. Cho, and S. Y. Lee. 2013. Analysis of grain quality related properties in Korean Land-race germplasm. *Korean J. Crop Sci.* 58(4) : 468-473.
- Lee, M. H. 2003. Evaluation of rice grain and eating quality. National Crop Experiment Station, RDA, Korea. pp. 3-23.
- Lestari, P., T. H. Ham, M. O. Woo, W. Jiang, S. H. Chu, S. W. Kwon, K. Ma, J. H. Lee, Y. C. Cho, and H. J. Koh. 2009. PCR marker-based evaluation of the eating quality of *japonica* rice (*Oryza sativa* L.). *J. Agric. Food Chem.* 57 : 2754-2762.
- Little, R. R., G. B. Hilder, and E. H. Dawson. 1958. Differential effect of dilute alkali on 25 varieties of milled white rice. *Cereal Chem.* 35 : 111-126.
- Murray, M. G. and W. F. Thompson. 1980. Rapid isolation of high molecular-weight plant DNA. *Nucleic Acids Res.* 8 : 4321-4325.
- Rural Development Administration(RDA). 2012. Standard of analysis and survey for agricultural research. Suwon. Korea. pp. 315-338.
- Saitoh, K., T. Ishibe, Y. Matsue, T. Ogata, and T. Kuroda. 2002. Effect of organic fertilization and pesticide application on palatability and physicochemical properties of cooked rice. *Jpn. J. Crop Sci.* 71(2) : 169-173.
- Shu, Q. Y., D. X. Wu, Y. W. Xia, M. W. Gao, and A. McClung. 1998. Relationship between RVA profile character and eating quality in *Oryza sativa* L. *Sci. Agric. Sinica* 31 : 25-29.
- Suh, J. P., Y. C. Cho, Y. J. Won, J. H. Lee, E. K. Ahn, J. B. Chun, J. S. Lee, M. K. Kim, E. G. Jeong, and B. K. Kim. 2014. Comparison of marker-assisted selection and conventional breeding methods for selection of high palatability rice. *Korean J. Breed. Sci.* 46(3) : 250-259.
- Suh, J. P., Y. H. Choi, K. J. Kim, Y. C. Cho, S. J. Kwon, Y. P. Jeong, J. U. Jeung, I. S. Choi, Y. G. Kim, H. C. Choi, and H. G. Hwang. 2004. Genetic diversity and QTLs for grain quality in *japonica* rice. *Korean J. Breed. Sci.* 36 : 31-37.
- Tian, R., G. H. Jiang, L. H. Shen, L. Q. Wang, and Y. Q. He. 2005. Mapping quantitative trait loci underlying the cooking and eating quality of rice using a DH population. *Mol. Breed.* 15 : 117-124.
- Unnevehr, L. J., B. Duff, and B. O. Juliano. 1992. Consumer demand for rice grain quality. International Development Research Centre, Ottawa, Canada. 22. Webb BD. 1980. Rice quality and grades. In Luh BS (ed.) *Rice: production and utilization*. Avi Publication Company, Incorporated, Westport, Connecticut, USA. pp. 543-565.
- Wada, T., Y. Uchimura, T. Ogata, M. Tsubone, and Y. Matsue. 2006. Mapping of QTLs for physico-chemical properties in *japonica* rice. *Breed. Sci.* 56 : 253-260.
- Wada, T., T. Ogata, M. Tsubone, Y. Uchimura, and Y. Matsue. 2008. Mapping of QTLs for eating quality and physico-chemical properties of the *japonica* rice 'Koshihikari'. *Breed. Sci.* 58 : 427-435.
- Wang, L. Q., W. J. Liu, Y. Xu, Y. Q. He, L. J. Luo, Y. Z. Xing, C. G. Xu, and Q. F. Zhang. 2007. Genetic basis of 17 traits and viscosity parameters characterizing the eating and cooking quality of rice grain. *Theor. Appl. Genet.* 115 : 463-476.
- Xu, Y., Y. Ying, S. Ouyang, X. Duan, H. Sun, S. Jiang, S. Sun, and J. S. Bao. 2018. Factors affecting sensory quality of cooked *japonica* rice. *Rice Sci.* 25(6) : 330-339.
- Yoon, M. R., C. E. Kim, H. J. Koh, and M. Y. Kang. 2007. Physicochemical properties of rice kernels affected on palatability. *Korean J. Crop Sci.* 52(1) : 45-50.
- Yoon, M. R., H. J. Koh, and M. Y. Kang. 2009. Pasting and amylose component characteristics of seven rice cultivars. *J. Korean Soc. Appl. Biol. Chem.* 52(1) : 63-69.
- Zhang, X. M., C. H. Shi, and T. Katsura. 2002. Correlation analysis between starch characteristics and taste quality in japonica rice (in Chinese with English abstract). *Chinese J. Rice. Sci.* 16 : 157-161.