한작지(Korean J. Crop Sci.), 61(4): 227~234(2016)
DOI : https://doi.org/10.7740/kjcs.2016.61.4.227

ISSN 0252-9777(Print)
ISSN 2287-8432(Online)

Original Research Article

자포니카 및 통일형 벼 품종에서의 식미 관련 저장단백질 특성

곽지은[1,†] · 이점식[1] · 윤미라[1] · 김미정[1] · 천아름[1] · 이춘기[1]

Characteristics of Seed Storage Protein Affecting the Eating Quality of *Japonica* and *Tongil*-type Rice

Jieun Kwak[1,†], Jeom-Sig Lee[1], Mi-Ra Yoon[1], Mi-Jung Kim[1], Areum Chun[1], and Choon-Ki Lee[1]

ABSTRACT In this study, we analyzed seed storage proteins in order to investigate the main factors related to the eating quality of *japonica* and *tongil*-type rice varieties. Sensory evaluation was performed by a trained panel to assess the appearance (color and glossiness), flavor, taste, stickiness, texture, and overall score of nine *japonica* and three *tongil*-type rice cultivars. Moreover, the pattern of variation in rice storage proteins was examined by electrophoresis of protein extracts. The electrophoretic pattern of rice proteins showed 16.4 kDa albumin, 26.4 kDa globulin, 34-39 kDa and 21-22 kDa glutelin, and 14.3 kDa prolamin. In terms of storage protein, the varietal differences between *japonica* and *tongil*-type rice were found in albumin, globulin, and the α-1, and α-2 sub-units of acidic glutelin. Furthermore, the overall sensory evaluation score was observed to be positively correlated with albumin (0.495^{**}) and globulin (0.567^{**}), and negatively correlated with α-1 glutelin (-0.612^{**}). Therefore, the results indicated that albumin, globulin, and α-1 glutelin can affect the eating quality of *japonica* and *tongil*-type rice varieties, with the latter having lower eating quality than the former.

Keywords : albumin, eating-quality, globulin, *japonica*, rice, storage protein, *tongil*-type, α-1 glutelin

쌀을 주식으로 하는 우리나라에서는 쌀 품질 고급화를 위해 식미 관련 요인분석 연구를 꾸준히 진행 해 왔으나 아직도 식미특성에 영향을 미치는 객관적 요인을 완전히 이해하지는 못하고 있다. 지금까지 쌀의 단백질, 아밀로스, Mg 및 K 등의 함량은 식미에 영향을 주는 화학적 요소로 알려져 있으며, 아밀로스와 단백질 함량은 식미 판정의 기준으로 널리 사용되고 있다. 특히 쌀에서의 아밀로스 성분은 함량이 높을수록 취반 후 끈기가 감소하고 경도가 증가하며, 단백질 함량 또한 취반 후 밥의 경도와 정의 상관을 보여 아밀로스와 단백질 함량이 낮을수록 밥맛이 양호한 것으로 알려져 있다(Kim *et al*., 1991; Lee *et al*., 1996). 그러나 아밀로스나 단백질 함량이 비슷한 쌀에서도 식미의 차이를 나타내는 품종들이 있으며 특히 과거에 육종되었던 통일형 품종들이 그러한데, 통일형 품종들은 아밀로스 함량이 일반 자포니카 품종들과 유사하거나 낮더라도 패널에 의한 식미관능검정의 결과가 나쁘게 평가되고 있다(Lee *et al*., 2014). 이렇듯 식미를 단순히 아밀로스나 단백질 함량만으로 설명하는 것은 한계가 있어 쌀 배유에 포함된 지질 성분 연구(Yoon *et al*., 2012a)나 전자현미경을 이용한 전분구조 연구(Kum *et al*., 2004; Kim *et al*., 2005) 등 식미 관련 요소를 해석하려는 다양한 시도가 이루어져 왔다. 그 결과, 단백질체(protein body)와 섬유상의 막 물질로 둘러싸여 있는 쌀 전분의 구조가 밝혀졌으며(Kang, 2004), 전분입자 주변에 형성되어 있는 단백질 층이 취반 과정 중 투수성이나 전분 호화 및 팽창 억제에 직접적으로 관여함으로써 밥의 점성 및 탄성에 영향을 준다는 주장(Son *et al*., 2002; Choi 2002)이 설득력 있게 받아들여지고 있다.

쌀에 약 7% 정도 함유되어 있는 단백질 성분은 쌀의 배유 부분에 저장되어 있으며 품종, 재배 방법, 기후, 토양 등에 의해 그 양과 질이 크게 달라진다. 쌀의 저장단백질은

[1)]농촌진흥청 국립식량과학원 중부작물부 (Department of Central Area Crop Sci., NICS, RDA, Suwon 16613, Korea)

[†]Corresponding author: Jieun Kwak; (Phone) +82-31-695-0608; (E-mail) jieun74@korea.kr
<Received 11 September, 2016; Revised 8 October, 2016; Accepted 17 October, 2016>

ⓒ 본 학회지의 저작권은 한국작물학회지에 있으며, 이의 무단전재나 복제를 금합니다.
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.

용매에 대한 용해성에 따라 수용성 단백질인 알부민(albumin), 염기성 단백질인 글로부린(globulin), 약산성 또는 알칼리 용해성인 글루텔린(glutelin), 알코올 용해성인 프롤라민(prolamin)으로 분류되며(Osborn, 1924), 쌀의 주요 저장단백질은 쌀 저장단백질의 60～80%를 구성하는 글루텔린과 20～40%를 구성하는 프롤라민이다. 또한 쌀의 저장단백질은 배유의 서로 다른 단백질체(protein body, PB)에 집적되는데 프롤라민은 단백질과립-I에, 글루텔린과 글로부린은 단백질과립-II에 저장되며 그 구성 비율에 따라 취반시의 식미, 영양성, 가공적성 등에 영향을 미친다고 보고되어 있다(Furukawa *et al*., 2006). 현재의 벼 저장단백질 연구는 벼 종자 저장단백질의 합성과 집적에 관련하여 유전자 발현 분석 및 기작 연구가 활발히 진행되고 있다(Yoon *et al*., 2012b; Yoon *et al*., 2012c; Kawakatsu *et al*., 2010).

본 연구에서는 식미 특성이 서로 다른 일반 자포니카 품종과 성분 요인만으로 식미 차이를 밝히기 힘들었던 통일형 품종을 대상으로 쌀 저장단백질의 조성 분석을 통해 식미 관련 저장단백질 요인을 분석하고자 하였다.

재료 및 방법

시험재료

본 연구에 사용된 쌀 시료는 2014년도 국립식량과학원 답작 포장에서 표준재배법에 따라 30일 묘를 5월 25일에 이앙하였으며, 시비량은 N-P_2O_5-K_2O를 10a당 9-4.5-5.7 kg 수준으로 재배하였다. 수확 한 시험재료는 10±2°C에서 저온저장하며, 제현기(SY88-TH, Ssangyong Ltd., Incheon, Korea) 및 시험용 도정기(MC-90A, Toyo, Japan)를 이용하여 정백율 90.4%로 도정하여 시험에 사용하였다. 단백질 총 함량은 단백질 자동분석기(Kjeltec, FOSS, Sweden)를 이용하여 분석하였다.

식미 관능검정 결과의 총평에 따라 밥맛에 차이가 많이 나는 자포니카 9품종과 통일형 세 품종을 선발하였는데, 식미가 우수한 세 품종에는 고품, 삼광, 중생골드가, 식미가 중간인 세 품종에는 동안, 칠보, 수진, 식미가 나쁜 세 품종에는 탐진, 대야, 대청, 그리고 통일형 세 품종에는 다산, 한아름, 청청이 각각 선발되었다.

식미 관능평가

식미 관능평가는 농촌진흥청 국립식량과학원 표준방법(NICS RDA 2003)에 따라 대비시료를 기준으로 7점 척도(-3～+3) 평가법을 이용하여 수행하였으며 식미 관능평가 패널은 국립식량과학원 벼 연구 분야에서 장기간 관능평가를 수행한 잘 훈련된 10～15명이 참석하여 대비품종을 기준으로 밥모양, 밥냄새, 밥맛, 찰기, 질감 등 5가지 항목에 대하여 개별평가 한 후 종합적인 식미총평을 평가하였다.

쌀 저장단백질의 용성별 분리 및 분석

쌀 저장단백질의 정확한 크기 확인을 위해 쌀의 가용성 단백질 분리를 실시하였다. 쌀의 가용성 단백질 분리는 Osborn (1924)의 용해성에 따른 단백질 분리법을 변형 한 Ju *et al*. (2001)의 방법대로 수행하였다. 먼저, 쌀을 분쇄한 가루를 *n*-핵산과 혼합하여 교반하며 쌀가루의 지질 성분을 제거하고, 필터를 통과시켜 *n*-핵산을 제거한 탈지 쌀가루를 상온의 후드에서 24시간 건조시켜 남아있는 *n*-핵산을 완전히 제거하였다. 이렇게 얻어진 탈지 쌀가루에 증류수를 넣어 상온에서 4시간 동안 진탕한 후 원심분리(3,000 g, 30 min)를 실시하여 상층으로부터 수용성의 알부민(albumin)을 얻었고, 침전물에 5% NaCl 용액을 가하여 동일한 방법으로 염용성의 글로부린(globulin)을 추출하였다. 그 다음, 침전물을 증류수로 2회 세척 후 0.02M의 NaOH (pH 11.0)를 가하여 30분간 교반하여 글루텔린(glutelin)을 얻었고, 마지막으로 침전물에 70% 에탄올을 가하여 4시간 동안 추출하여 알코올 용해성의 프롤라민(prolamin)을 얻었다. 저장단백질 분획의 모든 단계는 각 분획의 완전한 제거를 위해 2회씩 반복하였다. 이렇게 얻은 각 분획물은 lab-on-chip 기반의 Agilent 2100 Bioanalyzer system (Agilent Technologies, Santa Clara, CA, USA)과 Protein 80 Lab Chip kit를 이용하여 단백질 전기영동을 실시하였다.

쌀의 저장단백질 조성 분석

생태형에 따른 식미 관련 저장단백질 분석을 위해 쌀 시료를 ball mill (Pulverisette23, FRITSCH GmbH, Germany)을 이용하여 분쇄하였으며 분쇄한 시료 0.1 g에 lysis buffer (6 M Urea, 50 mM Tris-HCl, pH 6.8, 2 mM DTT, 10% glycerol) 1 ml을 첨가하여 쌀 단백질을 추출하였고, 이렇게 얻어진 추출물은 13,000 rpm에서 10분간 원심분리 한 후 상층액을 얻어 단백질 전기영동을 실시하였다. 단백질 전기영동은 위의 방법대로 Agilent 2100 Bioanalyzer system과 Protein 80 Lab Chip kit를 이용하였고, 분석용 샘플의 전처리는 kit에 제공된 분석 방법(Bousse *et al*., 2001)에 따랐으며, 저장단백질 조성 분석은 전기영동 결과 얻어진 전체 크로마토그램 전체에서 알부민, 글로부린, 글루텔린, 프롤라민에 해당하는 각 크로마토그램이 차지하는 상대적 비율을 구하였다.

통계분석

실험 결과는 SPSS(v.13.0)를 이용하여 통계분석 하였고, 표준편차를 산출하여 표시하였으며, 평균값의 통계적 유의성은 one-way ANOVA를 이용하여 $p<0.05$ 유의 수준에서 Duncan's multiple range test로 검증하였으며, Pearson correlation analysis를 이용하여 변수들 간의 상관관계를 분석하였다.

결과 및 고찰

시험재료의 식미특성

식미 특성이 다른 자포니카와 통일형 쌀 품종군의 식미 검정 결과는 Table 1과 같다. 식미검정 결과, 고품, 삼광, 중생골드를 포함한 고식미군의 평균 총평은 0.52였고, 동안, 칠보, 수진의 중식미군은 평균 총평이 고식미군보다 유의적으로 낮은 0.09였다. 또한 탐진, 대야, 대청의 저식미군 총평은 -0.52로 평가되었고 다산, 한아름, 청청 등 통일형 품종들의 식미 총평은 -0.99로, 저식미군에 비해 유의적으로 낮았다.

밥알의 모양, 색, 윤기를 평가하는 외관은 고식미군 ≥ 중식미군 ≥ 저식미군 > 통일형군의 순으로 평가되어 자포니카 품종들 중 고식미군과 저식미군에서의 차이는 인정되었으나, 고식미와 중식미군, 중식미와 저식미군 사이의 구별은 어려운 것으로 보였다. 통일형 품종의 외관은 자포니카 품종에 비해 유의적으로 낮게 평가되었는데 이는 통일형 품종의 밥알이 모양이 길고 가늘며 색이 희고 자포니카 품종에 비해 윤기가 떨어지기 때문으로 생각된다. 밥의 냄새는 모든 실험군에서 차이를 나타내지 않았는데, 밥냄새는 밥의 뜨거운 김이 나가며 식는 과정에서 짧은 시간 내에 소실되며, 냄새 구별을 위해 사용되는 후각 또한 쉽게 피로해져 구수한 향의 차이 구별이 어렵기 때문으로 생각된다. 또한 밥알을 씹었을 때 단맛이 나는 정도를 평가하는 맛의 평가 결과는 고식미군 = 중식미군 > 저식미군 > 통일형군으로 평가되어 고식미군와 중식미군의 차이는 구별되지 않았지만 저식미군, 통일형군에서는 맛의 평가가 크게 떨어지는 것을 알 수 있었다. 밥의 찰기는 고식미군 > 중식미군 > 저식미군 = 통일형군의 순으로 평가되어 찰기는 고식미, 중식미, 저식미 자포니카 실험군 사이에서는 차이가 인정되었으나, 통일형 품종군의 찰기는 자포니카 저식미군의 찰기와 차이가 인정되지 않았다. 또한 밥알을 씹을 때의 부드럽고 단단한 정도, 그리고 밥알을 씹어 넘길 때 목에서 느껴지는 부드러운 정도를 평가하는 밥의 질감은 고식미군 > 중식미군 > 저식미군 > 통일형군의 순으로 평가되어 모든 실험군간 명확한 차이가 있음을 알 수 있었다. 질감에서 높은 평가를 받은 고식미군 품종들은 밥알을 씹었을 때의 조직감이 조밀한 반면 통일형군 품종들은 밥알을 씹어 넘길 때 전분의 거친 조직감이 느껴져 그 확연한 차이가 평가 결과에 반영 된 것으로 생각된다.

생태형이 다른 쌀 품종의 식미 관련 저장단백질 분석

본 연구에서 쌀 단백질 분석을 위해 사용한 Bioanalyzer는 microchip 방법을 통해 단백질의 크기 및 함량을 분석하는 장비로, 모세관 전기영동을 통해 반응물의 형광 발색도를 측정하는 원리를 이용한다. 쌀 단백질의 용해도 특성에 따라 분리하여 얻은 분획물인 알부민, 글로부린, 글루텔린, 프롤라민의 전기영동 결과는 Fig. 1과 같다. 수용성의 알부민은 약 16.4 kDa, 염용성 단백질인 글로부린은 약 26.4 kDa, 산 또는 염기 용해성인 글루텔린은 21-22 kDa과 36-40.6 kDa, 그리고 알코올 용해성의 프롤라민은 14.3 kDa의 크기

Table 1. Sensory evaluation scores of rice in different groups according to eating quality.

Eco type	Eating quality	Sensory evaluation scores					
		Appearance	Flavor	Taste	Stickiness	Hardness	Overall score
Japonica	High (n=3)	0.21±0.07a[1)]	0.08±0.07a	0.40±0.06a	0.36±0.03a	0.46±0.05a	0.52±0.03a
	Mid (n=3)	-0.04±0.12ab	0.05±0.02a	0.16±0.05a	-0.05±0.06b	0.01±0.07b	0.09±0.08b
	Low (n=3)	-0.25±0.07b	0.04±0.02a	-0.32±0.07b	-0.41±0.09c	-0.43±0.09c	-0.52±0.10c
Tongil	Bad (n=3)	-0.82±0.12c	-0.11±0.10a	-0.66±0.12c	-0.56±0.12c	-0.88±0.09d	-0.99±0.11d

[1)]Mean ± S.E.

Means with same letters in a column are not significantly different at the 0.05 probability level according to Duncan's multiple range test.

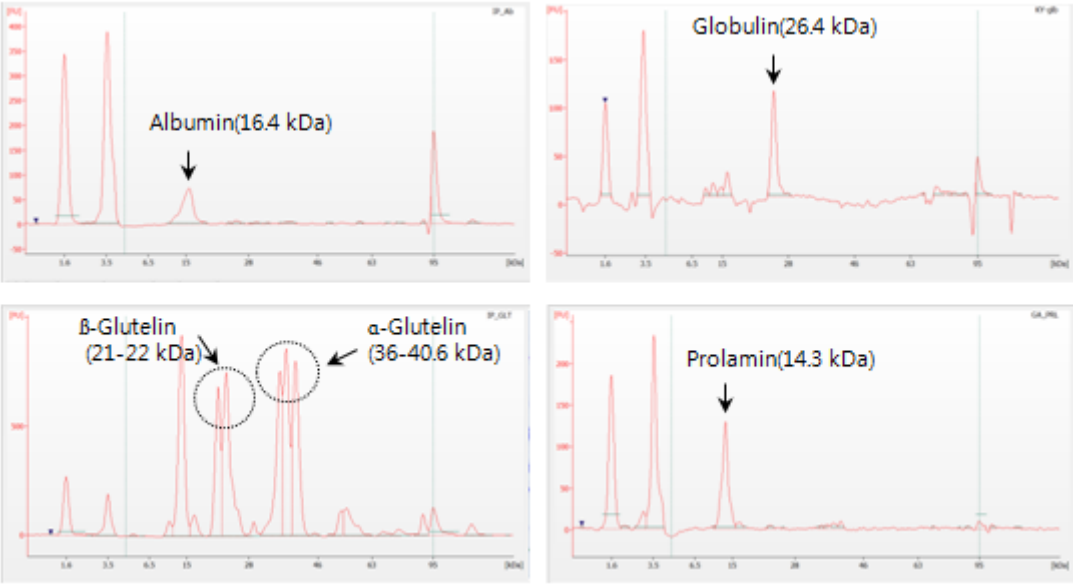

Fig. 1. Electropherogram of storage proteins of rice according to fractionation (Protein 80+ LabChip).

에서 검출되었다. 문헌에 따르면 글루텔린은 합성 초기에 약 57 kDa 크기의 전구체로 합성되었다가 효소 작용에 의해 산성과 염기성 유닛으로 절단되며 산성 유닛은 약 34～39 kDa, 염기성 유닛은 약 21～22 kDa의 크기를 갖는 것으로 알려져 있다(Hari & White, 1995). 그리고 Tran *et al.* (2014) 과 Muhammad *et al.* (2011)에 따르면 산성 글루텔린은 또다시 α-1(39 kDa), α-2(38 kDa), α-3(37.5 또는 37 kDa) 및 α-4(34 또는 33 kDa)의 네 가지 형태의 서브유닛으로 나뉘며 염기성 글루텔린 또한 β-1(23 kDa), β-2(22.5 kDa) 및 β-3(22 kDa)의 형태로 분리된다고 하였다. 본 연구 결과에서도 산성 글루텔린에 해당하는 획분은 40.2～41.3 kDa, 37.5～38.7 kDa 및 35.9～36.8 kDa의 세 개 서브유닛으로 분리되었고, 염기성 글루텔린은 21.9～23 kDa 및 20.5～21 kD의 두 개 서브유닛으로 분리되었기에 이들을 각 α-1(35.9～36.8 kDa), α-2(37.5～38.7 kDa) 및 α-3(40.2～41.3) 글루텔린과 β-1(20.5～21 kDa) 및 β-2(21.9～23 kDa) 글루텔린으로 구분하여 명명하였다. 한편, 프롤라민에 관한 기존 연구 결과로는 SDS-PAGE 전기영동상의 이동성에 따라 프롤라민이 10, 13, 16 kDa의 그룹으로 분류된다는 Kawakatsu *et al.* (2010)의 연구와 10, 13, 14, 16 kDa의 프롤라민 밴드 중 13, 14 kDa 크기에서 가장 높은 농도의 프롤라민을 검출하였다는 연구 결과 Yoon *et al.* (Yoon *et al.*, 2012c; Bhownik *et al.*, 1990; Ogawa *et al.*, 1987; Sarker *et al.*, 1986)들이 있어 본 연구에서의 프롤라민 검출 범위와 유사하였다. 이 밖에도 Nam & Kim (1996)은 일반 자포니카형, 통일형, 고아밀로오스 품종 및 찰벼 등 14 품종을 대상으로 전기영동을 통해 가용성 단백질 조성을 분석하였는데, 글루텔린은 35.3～35.6 kD 및 19.8～21.1 kDa, 알부민-글로부린은 25.7 kDa 및 15.7 kDa, 프롤라민은 13.4～14.2 kDa의 크기에서 검출하였다고 하여 본 연구 결과의 저장단백질 검출 범위와 매우 유사하였다.

생태형 및 식미 특성이 다른 쌀 품종들의 단백질 전기영동 패턴은 Fig. 2와 같고, 단백질 함량 및 저장단백질 조성은 Table 2와 같다. 생태형별 쌀 품종들의 조단백질 함량은 고식미～저식미군에서 5.70～6.08%, 통일형 군에서 6.64%로 자포니카 품종간에는 단백질 함량의 차이가 없으나 통일형 품종들은 자포니카 품종에 비해 단백질 함량이 높았다. 한편, 쌀의 저장단백질 분석 결과, 자포니카 품종 내에서의 고식미, 중식미, 저식미군에서는 알부민, 글로부린, 글루텔린, 프롤라민의 저장단백질 조성이 서로 유사하여 차이가 없었으나 통일형군의 저장단백질 중 알부민, 글로부린은 구성 비율은 고식미～저식미 자포니카 품종군과 확연히 달랐다. 자포니카 품종들의 알부민 및 글로부린 비율은 각 5.10～5.44% 및 6.17～6.53%인데 반해 통일형 품종군의 각 성분 비율은 4.38% 및 5.1%로 알부민 및 글로부린 비율이 자포니카 품종 대비 약 1.2배 및 1.3배 낮았다. 반면, 벼의 주요 저장 단백질인 글루텔린은 고식미～저식미 자포니카 품종군에서 64.62～67.45%, 통일형군에서 67.43%로 나타나 모든 실험군에서 차이를 나타내지 않았다. 글루

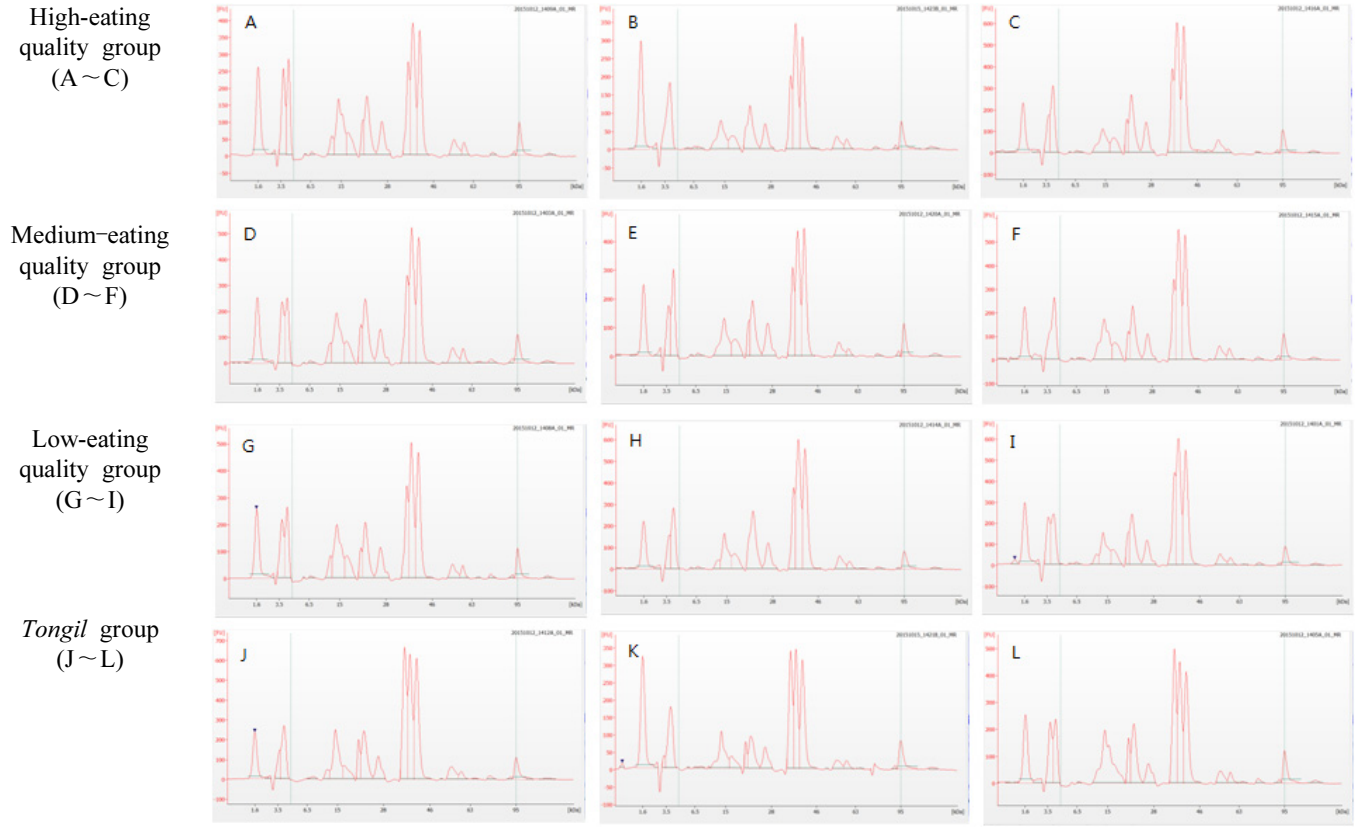

Fig. 2. Electropherogram profiles of total soluble protein of rice in the different groups according to eating quality (Protein 80^{+} LabChip). (High-eating quality: A, Gopum; B, Samkwang; C, Jungsenggold, Medium-eating quality: D, Donganbyeo; E, Chilbo; F, Sujin, Low-eating quality: G, Tamjinbyeo; H, Daeyabyeo; I, Daecheongbyeo), *Tongil* type(J, Dasanbyeo; K, Hanareum; L, Cheongcheong).

Table 2. Mean value of the ratio of storage proteins in *japonica* and *tongil*-type rice varieties according to eating quality.

Eco type	Eating quality	Crude protein (%)	Alb(%)	Glb(%)	Glt(%)								Prl(%)
					β-glt-1	β-glt-2	β-Glt	α-glt-1	α-glt-2	α-glt-3	α-Glt	Total Glt	
Japonica (n=9)	High (n=3)	5.70b	5.27a	6.48a	3.67a	13.65a	16.71a	10.63b	21.12a	18.68ab	50.43a	67.14a	11.62b
	Mid (n=3)	5.87b	5.44a	6.53a	3.54a	12.66a	15.90a	10.52b	19.93a	18.25ab	48.20a	64.62a	14.34ab
	Low (n=3)	6.08b	5.10a	6.17a	5.39a	13.80a	16.24a	11.07b	21.04a	19.10a	51.21a	67.45a	12.53ab
Tongil (n=3)	- (n=3)	6.64a	4.38b	5.10b	4.85a	11.13a	15.58a	17.70a	16.87b	17.29b	51.86a	67.43a	15.62a

Alb; Albumin, Glb; Globulin, Glt; glutelin, Prl; Prolamin.
Means with same letters in a column are not significantly different at the 0.05 probability level according to Duncan's multiple range test.

텔린 다음으로 많은 비율을 차지하는 프롤라민은 고식미～저식미 자포니카 품종군에서 11.62～14.34%, 통일형군에서 15.62%로 통일형이 자포니카 대비 최대 1.3배 높은 반면 자포니카 품종 내에서는 식미 특성에 따른 프롤라민 비율의 차이가 나타나지 않았다. 통일형 품종 저장단백질 특징은 글루텔린의 서브 유닛인 α-1, α-2 글루텔린 비율에서도 크게 나타났는데 통일형 품종들의 α-1 비율은 자포니카 품종에 비해 약 1.7배 높았고, α-2 비율은 최대 1.3배 낮았

Table 3. Correlation coefficients among storage proteins of rice varieties.

	Albumin	Globulin	Glutelin	Prolamin
Albumin	1			
Globulin	0.557**	1		
Glutelin	-0.104	0.016	1	
Prolamin	-0.164	-0.379**	-0.624**	1

** : Significant at p = 0.01.

Table 4. Correlation coefficient between storage proteins and eating quality of *japonica* and *tongil*-type rice varieties.

Eco type	Eating quality	Crude protein	Alb	Glb	Glt								Prl
					β-glt-1	β-glt-2	β-Glt	α-glt-1	α-glt-2	α-glt-3	α-Glt	Total Glt	
Japonica +*Tongil* (n=12)	Appearance	-0.635**	0.442*	0.489**	-0.299	0.204	0.204	-0.644**	0.267	0.105	-0.341	-0.251	-0.151
	Flavor	-0.234	0.251	0.013	-0.336	0.209	0.209	-0.338	0.197	0.062	-0.139	-0.047	-0.216
	Taste	-0.741**	0.453*	0.501**	-0.310	0.061	0.061	-0.559**	0.221	0.049	-0.322	-0.295	-0.095
	Stickiness	-0.586**	0.409*	0.290	-0.274	0.075	0.075	-0.448*	0.207	-0.008	-0.260	-0.227	-0.097
	Hardness	-0.701**	0.460*	0.555**	-0.310	0.104	0.104	-0.614**	0.332	0.159	-0.250	-0.204	-0.211
	Overall score	-0.720**	0.495**	0.567**	-0.253	0.031	0.158	-0.612**	0.285	0.108	-0.300	-0.231	-0.139

Alb; Albumin, Glb; Globulin, Glt; glutelin, Prl; Prolamin.
*, ** : Significant at p = 0.05, 0.01, respectively.

다. 그러나 통일형 품종의 α-1 글루텔린 증가율과 α-2의 감소율이 비슷해 전체 글루텔린의 함량에는 큰 영향을 미치지 않았다. 일반적으로 알려진 쌀 저장단백질 비율은 알부민 약 7%, 글로부린 2～8%, 글루텔린 60～80%, 그리고 프롤라민 20～30% 정도이나 이 비율은 실험에 사용 된 쌀 품종, 단백질의 추출 및 분리 방법, 검출 방법 등에 따라 조금씩 차이가 있을 것으로 생각된다.

쌀의 각 저장단백질 성분간의 상관성 분석 결과는 Table 3에 나타냈으며, 알부민과 글로부린은 서로 정의 상관(R=0.557, p<0.01), 프롤라민과 글로부린(R=-0.379, p<0.01) 및 프롤라민과 글루텔린(R=-0.624, p<0.01)은 부의 상관이 있음을 확인하였다.

쌀 저장단백질 조성과 식미와의 관계

생태형 및 식미 특성이 다른 쌀 품종의 식미 관련 저장단백질 분석을 위해 식미검정 결과와 각 저장 단백질 비율의 상관성을 분석하여 Table 4에 나타냈다. 밥의 식미검정에서 각 항목의 점수를 종합하여 평가하는 식미 총평은 알부민(R=0.495, p<0.01), 글로부린(R=0.567, p<0.01)과 정의 상관을 보였으며 산성 글루텔린 유닛인 α-1은 총평과 강한 부의 상관(R=-0.612, p<0.01)을 나타냈다. 반면, 글루텔린 및 프롤라민 비율은 식미 총평과 상관을 보이지 않았고 글루텔린을 구성하는 염기성 및 산성 글루텔린도 식미 총평과 상관을 나타내지 않았다.

식미 총평과 강한 정의 상관을 보였던 알부민은 식미 총평 이외에도 밥의 외관(R=0.442, p<0.05), 맛(R=0.453, p<0.05), 찰기(R=0.409, p<0.05), 질감(R=0.460, p<0.05)과도 정의 상관을 보였고, 글로부린은 밥의 냄새, 찰기를 제외한 외관(R=0.489, p<0.01), 맛(R=0.501, p<0.01), 질감(R=0.555, p<0.01)과 정의 상관을 보였다. 산성 글루텔린 유닛 α-1 또한 식미 총평 뿐 아니라 밥의 외관(R=-0.644, p<0.01), 맛(R=-0.559, p<0.05), 찰기(R=-0.448, p<0.05), 질감(R=-0.614, p<0.01)과 부의 상관을 나타냈다.

지금까지의 쌀 저장단백질 관련 연구는 쌀의 주요 저장단백질인 글루텔린과 프롤라민을 중심으로 매우 제한적으로 이루어져 식미 관련 형질을 찾는 연구는 매우 부족한 실정이다. Nam & Kim (1996)의 쌀 식미 관련 저장단백질 상관성 연구에서는 프롤라민/글루텔린 비율이 높을수록 식미가 양호하다며 본 연구 결과와 상이한 결과를 보고하였다. 그러나 쌀의 다양한 이용을 위해 육성된 건양미의 경우 모본인 진미벼 대비 글루텔린은 약 15.1% 높고 프롤라민은 약 8.3% 낮아 프롤라민/글루텔린 비율은 높으나 식미 특성

은 매우 나쁜 것으로 보고되었다(Kim *et al*., 2014). Nam & Kim (1996)의 연구에서는 본 연구의 소재인 일반 자포니카와 통일형 품종 외에도 고아밀로스 및 찰벼 품종을 포함한 넓은 범위의 소재를 대상으로 하였고, Kim *et al*. (2014) 등은 EMS(ethyl methane sulfonate)에 의한 돌연변이체를 대상으로 단백질 조성 변이가 큰 소재를 사용하는 등 사용된 재료 특성에 따라 저장단백질 변이의 폭이 크기 때문에 이러한 실험결과의 불일치가 발생되는 것으로 생각된다.

현재까지 통일형과 자포니카 품종들의 식미 특성 차이 구명을 위해 단백질, 아밀로스, 조지방 등의 일반성분 분석 및 호·노화 특성, 수분흡수, 취반 후의 텍스쳐 특성 등 다양한 요인 분석이 이루어져 왔으나 식미에 영향을 주는 성분 요인이 뚜렷하게 밝혀지지 않고 있다.

본 연구에서는 자포니카와 통일형 품종들 사이에 뚜렷한 식미 차이가 있음은 분명하나 원인 해석 관련 성분 구명 연구가 부족하므로, 쌀의 저장단백질 및 저장단백질의 서브유닛으로부터 식미 관련 요인을 찾고자 하였다. 그 결과, 자포니카 품종들에 비해 통일형 품종에서 비율이 낮은 알부민 및 글로부린과 통일형 품종에서 비율이 특히 높은, α-1 글루텔린이 통일형 품종들의 식미에 영향을 주는 것으로 추측된다.

쌀의 식미 관련 저장단백질 특성을 정확히 밝히기 위해서는 좀 더 다양한 식미 조합과 다양한 품종을 대상으로 식미검정 결과와의 정밀한 검토가 이루어져야 할 것으로 사료된다. 향후 기후 온난화나 우리나라 국민의 쌀 소비 패턴 변화, 쌀 시장의 국제적 변동 등 다양한 원인들로 인해 쌀 품종 개발에 있어 밥맛이 우수한 품종 뿐 아니라 수량성, 영양성 및 가공 이용성 등이 선택 기준이 될 수 있다. 따라서 벼 품질 육성의 방향도 단순한 단일 형질 목표가 아닌 다양한 형질 조합을 고려한 방향으로 진행 될 것으로 판단되며 향후 생태형 특성이 다른 자포니카와 통일형 품종의 품질 특성에 대한 다양한 고찰이 요구된다.

적 요

본 연구에서는 쌀의 저장 단백질 조성 분석을 통해 자포니카와 통일형 품종의 식미 특성 차이를 구명하고자 하였다. 쌀의 저장단백질 분석 결과, 통일형 품종은 자포니카 품종에 비해 알부민과 글로부린이 각 1.2배, 1.3배, 글루텔린의 서브유닛인 산성 글루텔린 α-2의 비율이 약 1.3배 낮은 반면, 글루텔린의 서브유닛인 산성 글루텔린 α-1 비율은 1.7배 높은 특성을 나타냈다. 또한, 저장단백질 조성과 식미특성의 상관성 분석을 실시한 결과, 식미 총평은 알부민(R=0.495, p<0.01), 글로부린(R=0.567, p<0.01)과 정의 상관을 보였으며 산성 글루텔린 유닛인 α-1은 총평과 뚜렷한 부의 상관(R=-0.612, p<0.01)이 인정되었다. 식미 총평 이외에도 밥의 외관, 맛, 찰기, 질감과 관련하여 알부민은 정의 상관, α-1 글루텔린은 부의 상관관계를 나타냈다.

생태형에 따른 저장단백질 비율이 식미 특성에 미치는 영향을 구명하기 위해 저장단백질 비율과 식미 특성과의 상관 분석을 실시한 결과, 산성 글루텔린의 서브유닛인 α-1, 알부민, 글로부린이 통일형 품종의 식미 특성에 영향을 주는 것으로 보이며 향후, 다양한 품종을 이용한 추가 연구를 통해 정밀한 해석이 필요할 것으로 생각된다.

사 사

본 연구는 농촌진흥청 기관고유사업(과제번호: PJ00923906)의 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

인용문헌(REFERENCES)

Bhownik, A., T. Omura, and T. Kumamaru. 1990. Screening of rice varieties for endosperm storage proteins. Plant Breeding 5 : 101-105.

Bousse, L., S. Mouradian, A. Minalla, H. Yee, K. Williams, and R. Dubrow. 2001. Protein sizing on a microchip Anal. Chem. 73 : 1207-1212.

Choi, H. 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.

Furukawa, S., K. Tanaka, T. Masummura, Y. Ogihara, Y. Kiyokawa, and Y. Wakai. 2006. Influence of rice proteins on eating quality of cooked rice and on aroma and flavor of sake. Cereal Chem. 83 : 439-446.

Hari, B. Krishnan and Jerry, A. White. 1995. Morphometric analysis of rice seed protein bodies. Plant Physiol. 109 : 1494-1495.

Ju, Z. Y., N. S. Hettiarachchy, and N. Rath. 2001. Extraction, denaturation and hydrophobic properties of rice flour proteins. Journal of Food Science 66 : 229-232.

Kang, H. J. Varietal difference in physiochemical properties and ultrastructure of rice and their relationship with gelatinization and retrogradation characteristics. PhD thesis, Seoul National University, Seoul, Korea (2004).

Kawakatsu, T., S. Hirose, H. Yasuda, and F. Takaiwa. 2010. Reducing rice seed storage protein accumulation leads to changes in nutrient quality an storage organelle formation. Plant Physiol. 154 : 1842-1854.

Kim, K. S., K. J. Kang, and S. K. Kim. 1991. Relationship between hot water solubles of rice and texture of cooked

rice. Korean J. food Sci. Technol. 23(5) : 498-502.

Kim, Y. D., U. G. Ha, Y. C. Song, J. H. Cho, E. I. Yang, and J. K. Lee. 2005. Palatability evaluation and physical characteristics of cooked rice. Korean J. Crop Sci. 50(s) : 24-28.

Kim, M. K., S. B. Lee, J. H. Lee, O. Y. Jeong, J. M. Jeong, Y. S. Shin, C. I. Yang, Y. K. Kim, K. S. Lee, Y. H. Choi, H. C. Hong, M. H. Park, J. U. Jeong, J. H. Lee, K. H. Kang, and Y. M. Kim. 2014. Low glutelins rice, Mid-late maturing variety 'Geonyangmi' Korean J Breed Sci. 46(2) : 160-165.

Kum, K. S., H. J. Kang, I. K. Hwang, H. Hwang, T. Y. Kim, and H. C. Choi. 2004. Comparative ultrastructure of Ilpumbyeo, a high-quality japonica rice, and its mutant, Suwon 464 : Scanning and transmission electron microscopy studies. J Agric. Food Chem. 52(12) : 3876-3883.

Lee, J. I., J. K. Kim, J. C. Shin, E. H. Kim, M. H. Lee, and Y. J. Oh. 1996. Effects of ripening temperature on quality appearance and chemical quality characteristics of rice grain. RDA. J. Agr. Sci. 38(1) : 1-9.

Lee, J. S., J. K. Lee, M. R. Yoon, J. Kwak, A. Chun, K. H. Kang, J. U. Jeung, J. Chun, and B. K. Kim. 2014. Varietal preference of grain appearance and sensory of African on rice ecotypes. Korean J. Int. Agric. 26(3) : 232-237.

Muhammad Asim Shabbir, Faqir Muhammad Anjum, Tahir Zahoor, and Haq Nawaz. 2011. Electrophoretic and functional mapping of indica rice glutelin protein isolates. International Journal of Food Properties 13 : 1375-1385.

Nam, M. H. and S. J. Kim. 1996. Electrophoretic characteristics of storage protein in milled rice and relationship between soluble protein and eating quality. RDA. J. Agri. Sci. 38(1) : 10-16.

National Institute of Crop Science, Rural Development Administration. 2003. Evaluate the quality and taste of rice. Suwon, Korea.

Ogawa, M., T. Kunanaru, H. Satoh, N. Iwata, T. Omura, Z. Kasai, and K. Tanaka. 1987. Purification of protein body-I of rice seed and its polypeptide composition. Plant Cell Physiology 28(8) : 1517-1527.

Osborn, T. B. 1924. The vegetable proteins. 2nd Ed. Longmans, Green and Co., London. pp. 1-121.

Sarker, S. C., M. Ogawa, M. Takahashi, and K. Asada. 1986. Processing of a 57 kDa precursor peptide to subunits of rice glutelin. Plant Cell Physiology 27 : 1579-1586.

Son, J. R., J. H. Kim, J. I. Lee, Y. H. Youn, J. K. Kim, H. G. Hwang, and H. P. Moon. 2002. Trend and further research of rice quality evaluation. Korean J Crop Sci. 47 : 33-54.

Tran, T. T. Hoai, Tran D. Suu, Hikaru Satoh, Toshihiro Kumamafu, and S. N. Ahn. 2014. Diversity of glutelin acidic subunit polypeptides in rice cultivars collected from Northern Vietnam. Plant Bleeding 133 : 341-347.

Yoon, M. R., S. C. Lee, and M. Y. Kang. 2012a. The lipid composition of rice cultivars with different eating qualities. J Korean Soc. Appl. Biol. Chem. 55 : 291-295.

Yoon, U. H., J. Lee, G. S. Lee, Y. M. Kim, J. H. Hahn, H. S. Ji, S. W. Yoon, J. Y. Lee, and T. H. Kim. 2012b. Current status of structural and expression analysis ofsed storage protein genes in japonica rice. Korean J. Int. Agri. 24(3) : 369-379.

Yoon, M. Y., Y. H. Cho, K. H. Ma, J. R. Lee, S. Y. Lee, and Y. J. Park. 2012c. Agronomic characteristics and compositional variation in seed storage proteins of rice (Oryza Sativa L., Cv. Sindongjin) mutant lines. Korean J, Int. Agri. 24(5) : 557-566.