

우리나라 고품질 벼 품종의 쌀 품질 특성에 미치는 등숙기 단계별 기온과 일조시간의 영향

양운호*[†] · 최경진* · 손지영* · 강신구* · 신성휴* · 심강보* · 김준환* · 정한용* · 장정희** · 정정수*** · 이채영**** · 윤여태***** · 권석주***** · 안규남***** · 신종희***** · 배성문*****

*농촌진흥청 국립식량과학원, **경기도 농업기술원, ***강원도 농업기술원, ****충청북도 농업기술원, *****충청남도 농업기술원, *****전라북도 농업기술원, *****전라남도 농업기술원, *****경상북도 농업기술원, *****경상남도 농업기술원

Effects of Temperature and Sunshine Hours During Grain Filling Stage on the Quality-Related Traits of High Quality Rice Varieties in Korea

Woonho Yang*[†], Kyung-Jin Choi*, Jiyoung Shon*, Shingu Kang*, Seong-Hyu Shin*, Kang-Bo Shim*, Junhwan Kim*, Hanyong Jung*, Jung Hee Jang**, Jeong-Su Jeong***, Chae Young Lee****, Yeo Tae Yun*****, Suk Ju Kwon*****, Kyu Nam An*****, Jong-Hee Shin*****, Sung Mun Bae*****

*National Institute of Crop Science, Rural Development Administration
**Gyeonggi-do Agricultural Research & Extension Services
***Gangwon-do Agricultural Research & Extension Services
****Chungcheongbuk-do Agricultural Research & Extension Services
*****Chungcheongnam-do Agricultural Research & Extension Services
*****Jeollabuk-do Agricultural Research & Extension Services
*****Jeollanam-do Agricultural Research & Extension Services
*****Gyeongsangbuk-do Agricultural Research & Extension Services
*****Gyeongsangnam-do Agricultural Research & Extension Services

ABSTRACT Relationship between grain quality-related traits and daily mean temperature/sunshine hours during grain filling stage was analyzed using eleven high quality rice varieties at 24 experimental sites through eight provinces of Korea in 2013~2014. In the data set pooled across varieties, experimental sites and years, grain quality-related traits such as percentage of head rice (PHR), head rice yield (HRY), protein in milled rice (PRO) and Toyo Mido Meter glossiness value (TGV) were higher at the temperature lower than 22.6°C for 40 days after flowering (DAF), which was optimum for percentage of grain filling in this study. Optimum sunshine hours for 40 DAF were 6.0~6.1 hr d⁻¹ when considered PHR, HRY and TGV. PRO was associated with daily mean temperature and sunshine hours for 40 DAF in more varieties than the other traits. PRO was closely correlated with daily mean temperature during early filling stage and sunshine hours during early to mid filling stage, compared to other stages during grain filling. It is concluded that general trend

in the variation of grain quality-related traits could be explained by the changes in daily mean temperature and sunshine hours during grain filling. In addition, climate conditions during early grain filling stage played important roles to enhance grain quality.

Keywords : grain filling, grain quality, rice, sunshine hours, temperature

우리나라에서 쌀 품질에 대한 초기의 연구에서 Kim *et al.* (1988)은 쌀 품질 연구를 위한 표준 검정방법 확립의 중요성을 강조하였다. 그러나 Son *et al.* (2002)은 밥맛은 품종, 기상, 토양, 재배, 수확시기, 건조, 도정, 저장 및 취반 조건 등 수많은 요인에 의하여 결정되기 때문에 특정한 몇 가지 요소로 판단하기 매우 어렵다고 보고하였다. 최근 Choi *et*

[†]Corresponding author: (Phone) +82-31-695-4130 (E-mail) whyang@korea.kr

<Received 6 August, 2015; Revised 25 August, 2015; Accepted 31 August, 2015>

al. (2011)은 품종과 재배기술이 전국적으로 같은 경우 쌀 품질에 관여하는 요인을 기후와 토양에 국한하여 분석할 수 있다고 제시하였으며, 등숙기 온도에 따른 품질 관련 요인의 변화를 보고하기도 하였다. 2000년 이후 쌀 품질에 대한 평가는 전문 평가단에 의한 밥맛 검정, 기계를 사용한 기계적 식미 값, 쌀 단백질 등의 화학성분, 천립중과 완전미 비율 및 완전미 수량 등의 수량적 관점에서 주로 이루어져 왔다. 이들 중 Toyo Mido Meter는 단시간 내 백미의 취반이 가능한 원판상의 반중자판을 이용하여 밥의 보수막에 특수한 전자파를 조사하여 식미를 측정하는 장치로서(Son *et al.*, 2002), 대량의 시료 분석에서 객관적인 평가가 가능한 장점을 가진다. 쌀 단백질은 식미를 저하시키며(Won *et al.*, 2006; Choi *et al.*, 2011) Toyo Mido Meter 값과는 밀접한 부의 상관관을 나타낸다(Choi *et al.*, 2006b).

쌀 품질 변화에 관여하는 요인으로서 벼 저장조건, 재배관리, 수확 후 관리에 대한 많은 연구결과가 보고되었다. Choi *et al.* (2006a)과 Jeon *et al.* (1991)은 저장온도가 높을수록 쌀 품질과 식미가 저하된다고 보고하였다. 질소 비료는 쌀 단백질 함량과 직접적으로 관련되므로 생산성과 쌀 단백질 함량의 균형을 고려한 질소 시비량과 시비방법에 대한 연구결과도 많이 보고되었다(Kim *et al.*, 2006; Lee *et al.*, 2010; Nam *et al.*, 2005; Won *et al.*, 2008; Choi *et al.*, 1990). 재배시기의 조절에 대한 연구로 쌀 품질 향상을 위한 지대별 이앙적기(Choi *et al.*, 1990; Lee *et al.*, 2005; Lee *et al.*, 2012), 특정 품종에 대한 이앙적기(Choi *et al.*, 2008; Kim *et al.*, 2015), 최적 수확시기(Kim *et al.*, 2005; Chae & Jun 2002) 등 다수의 연구결과가 보고되었다. 이들 중 재배시기에 대한 연구는 벼의 생육에 적절한 기상환경을 조성하여 쌀 품질을 향상시키는 의미를 가진다 하겠다. 기상환경과 쌀 품질의 관계에 대한 연구결과도 몇몇이 보고되다. Jung *et al.* (2003)은 식미치가 등숙기간 중 적산온도와 부의 상관관계를 보인다고 하였고, Kwon *et al.* (2006)은 동일지역에서 고도가 높을수록 쌀 단백질 함량이 증가한다고 하였다. Won *et al.* (2005)은 벼 품종, 이앙시기, 질소 시비량 처리보다 재배연차에 따른 품질 차이가 더 크다고 보고하였는데, 이는 쌀 품질에 미치는 기상환경의 영향이 크다는 것을 시사한다. 최근에 Choi *et al.* (2011)은 출수 후 40일보다 30일간의 평균기온이 등숙 및 식미와 더 밀접한 상관관을 보이며, 식미 향상을 위한 출수 후 30일간의 최적온도는 22.2°C 라고 보고한 바 있다. 한편 등숙기간 중 일조가 부족하면 등숙비율과 천립중이 감소하고 쌀 단백질이 증가하여 밥맛이 저하되며, 저하 정도가 품종간에 차이를 보인다는 결과도 보고되었다(Kim *et al.*, 2014). Lee *et al.* (2013)은 수

량이 높은 해에 식미가 향상되는 현상을 발견하고, 등숙에 유리한 기상조건이 밥맛 향상에도 유리하다고 주장하였다. 이와 같이 기상환경과 쌀 품질의 관계에 대한 많은 연구가 이루어졌으나, 대부분 특정한 소수의 품종을 대상으로 한 검토가 대부분이며, 더욱이 벼 출수 후 단계별 기상 환경의 영향에 대한 연구결과는 아직 미미하다.

본 연구는 1) 쌀 품질 특성과 벼 등숙기간 중 기온 및 일조시간간 관계의 일반적인 경향을 분석하고, 2) 쌀 품질 관련 특성과 벼 등숙기 단계별 평균기온 및 일조시간의 관계를 상대적으로 평가하기 위하여 수행하였다.

재료 및 방법

시험장소 및 품종

본 연구는 2013~2014년에 전국 8개도의 24개 지역에서 수행하였다(Fig. 1). 도별 시험지역은 경기도 3지역(화성, 연천, 여주), 강원도 3지역(춘천, 강릉, 철원), 충청북도 3지역(청주, 보은, 제천), 충청남도 3지역(논산, 보령, 예산), 전라북도 3지역(익산, 부안, 진안), 전라남도 2지역의 3시험구(나주-적기 및 만기재배, 고흥), 경상북도 3지역(대구, 구미, 안동), 경상남도 3지역(진주, 함양, 고성)이었다.

시험재료는 고품질 벼 11품종 중 적응지역을 선택하여

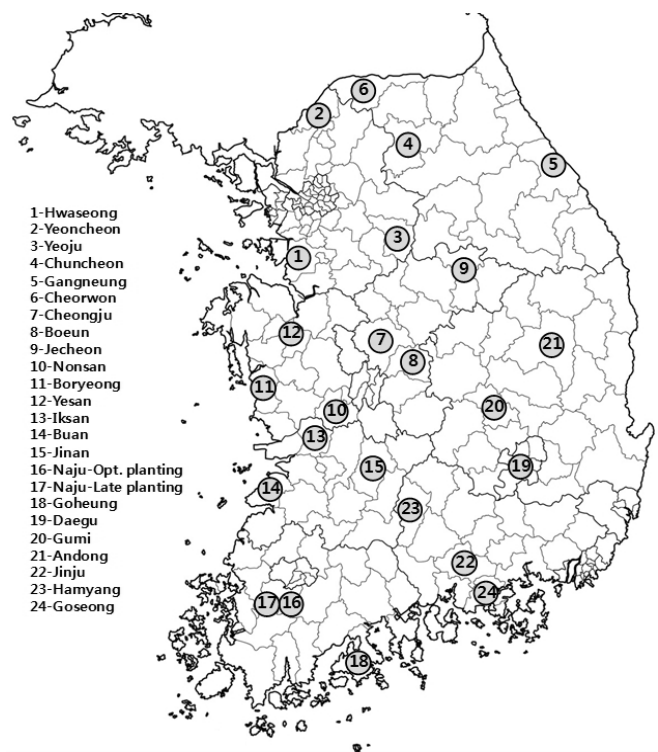


Fig. 1. Experimental site map.

Table 1. Experimental sites for each rice variety.

Variety	Number of site	Experimental site
Chilbo	20	Boeun, Cheongju, Boryeong, Nonsan, Yesan, Andong, Daegu, Gumi, Hwaseong, Yeosu, Yeoncheon, Goseong, Hamyang, Jinju, Chuncheon, Gangneung, Buan, Iksan, Naju(2) [†]
Daebo	23	Boeun, Cheongju, Jecheon, Boryeong, Nonsan, Yesan, Andong, Daegu, Gumi, Hwaseong, Yeosu, Yeoncheon, Goseong, Hamyang, Jinju, Cheorwon, Chuncheon, Gangneung, Buan, Iksan, Jinan, Naju(2)
Gopum	23	Boeun, Cheongju, Jecheon, Boryeong, Nonsan, Yesan, Andong, Daegu, Gumi, Hwaseong, Yeosu, Yeoncheon, Goseong, Hamyang, Jinju, Cheorwon, Chuncheon, Gangneung, Buan, Iksan, Jinan, Naju(2)
Haiami	20	Boeun, Cheongju, Jecheon, Boryeong, Nonsan, Yesan, Andong, Daegu, Gumi, Hwaseong, Yeosu, Yeoncheon, Goseong, Hamyang, Jinju, Cheorwon, Chuncheon, Gangneung, Naju(2)
Hopum	20	Boeun, Cheongju, Boryeong, Nonsan, Yesan, Andong, Daegu, Gumi, Hwaseong, Yeosu, Goseong, Hamyang, Jinju, Chuncheon, Gangneung, Buan, Iksan, Goheung, Naju(2)
Jinsumi	20	Boeun, Cheongju, Boryeong, Nonsan, Yesan, Andong, Daegu, Gumi, Hwaseong, Yeosu, Goseong, Hamyang, Jinju, Chuncheon, Gangneung, Buan, Iksan, Goheung, Naju(2)
Mipum	20	Boeun, Cheongju, Boryeong, Nonsan, Yesan, Andong, Daegu, Gumi, Hwaseong, Yeosu, Goseong, Hamyang, Jinju, Chuncheon, Gangneung, Buan, Iksan, Goheung, Naju(2)
Samkwang	17	Boeun, Cheongju, Boryeong, Nonsan, Yesan, Andong, Daegu, Gumi, Hwaseong, Yeosu, Goseong, Hamyang, Jinju, Chuncheon, Gangneung, Naju(2)
Sukwang	20	Boeun, Cheongju, Boryeong, Nonsan, Yesan, Andong, Daegu, Gumi, Hwaseong, Yeosu, Goseong, Hamyang, Jinju, Chuncheon, Gangneung, Buan, Iksan, Goheung, Naju(2)
Unkwang	5	Jecheon, Yeoncheon, Hamyang, Cheorwon, Jinan
Younghojinmi	13	Boryeong, Nonsan, Yesan, Andong, Daegu, Gumi, Goseong, Jinju, Buan, Iksan, Goheung, Naju(2)

[†]Optimum planting time for rice mono-cropping and late planting for cropping system were applied in Naju.

칠보 20지역, 대보 23, 고품 23, 하이아미 20, 호품 20, 진수미 20, 미품 20, 삼광 17, 수광 20, 운광 5, 영호진미 13지역에 Table 1과 같이 공시하였다. 이앙시기와 시비방법 등 재배관리는 지역별 고품질 쌀 생산을 위한 벼 표준재배법에 따랐다.

기상 및 쌀 품질 관련 특성 조사

벼 등숙기간 중 기상은 기상청 자료를 수집하여 사용하였다. 각 지역별 수확적기에 반복당 5포기를 채취하여 등숙비율을 조사하였으며, 약 5 m²를 수확한 후 탈곡과 제현작업을 거쳐 14% 수분 상태의 현미수량을 조사하고 이에 0.92를 곱하여 쌀수량으로 환산하였다. 수량조사 시료 중 일부를 채취하여 현미 천립중을 측정하였으며, 또 다른 일부를 쌀로 조제한 후 Gain Inspector (Cervitec TM1625, FOSS, Sweden)를 이용하여 완전미 비율을 조사하였다. 위에 조사한 쌀수량에 완전미 비율을 적용하여 완전미 수량으로 환산하였다. 쌀 단백질 함량은 쌀 시료의 일부를 분쇄한 후 Grain Analyzer (1241, FOSS, Sweden)를 이용하여 측정하

였다. 기계적 식미치는 모든 지역의 현미시료를 취합하여 수원에서 분석하였다. 현미 시료를 쌀로 조제한 후 수분을 15%로 조절하고 진공포장하여 냉장보관하면서 Toyo Mido Meter (MA90A, Toyo, Japan)를 이용하여 쌀 시료 33 g을 10분간 취반하고 Toyo glossiness value를 측정하였다.

벼 등숙기 기상과 쌀 품질 관련 특성의 관계 분석

각 시험지역의 품종별 출수기에 따라 출수 후 40일간 전체 및 10일 간격의 평균기온과 일조시간을 산출하고, 기상과 쌀 품질 관련 특성과의 관계를 분석하였다. 등숙기 기상 조건과 쌀 품질 관련 특성간 관계의 일반적인 경향 분석을 위하여 지역, 품종, 연도의 품질 특성을 모두 합한 성적과 출수 후 40일간의 평균기온 및 일조시간의 관계를 회귀식을 사용하여 분석하였다. 이들 관계를 각 품종별로 알아보기 위하여 품종별 기상요인과 품질 특성의 관계를 결정계수의 유의성에 따라 평가하였다. 또한 품종별로 출수 후 40일까지 10일 간격으로 세분한 기상자료와 쌀 품질 특성간 관계식의 결정계수에 유의성을 보이는 품종수를 기준으로 벼

등숙기 단계에 따른 평균기온과 일조시간의 영향 정도를 상대적으로 평가하였다.

결과 및 고찰

지역에 따른 등숙기간 중 기상요인과 쌀 품질 관련 특성의 변이

각 시험품종별 출수기, 출수 후 40일간의 일 평균기온 및 일평균 일조시간의 지역에 따른 범위는 Table 2와 같다. 품종별 시험지역과 시험연차에 따른 출수기 차이는 운광 9일~미품 24일의 범위였고, 모든 처리를 합하면 7월 23일~9월 4일로 43일의 차이를 나타내었다. 출수 후 40일간 평균기온의 범위는 운광에서 3.4°C로 지역 및 연차 처리간 차이가 가장 적었고, 미품에서 7.1°C로 가장 컸으며, 전체 품종을 합해보면 18.8~26.4°C로 7.6°C의 차이를 보였다. 품종별 출수 후 40일간 일평균 일조시간의 범위는 영호진미에서 2.4시간으로 가장 적고, 운광에서 3.5시간으로 가장 컸으며, 처리를 모두 합한 경우 3.9~8.0시간으로 4.1시간의 차이를 보였다. 출수기, 출수 후 40일간의 일 평균기온 및 일조시간 범위는 품종간에 정도의 차이를 보였으나, 출수기의 차이와 지역간 기상의 차이로 인하여 평균기온과 일조시간이 처리효과를 나타낼 정도로 충분한 변이를 나타낸 것으로 판단되었다.

출수기와 지역간 기상 차이에 기인한 쌀 품질 관련 요인의 범위는 Table 3과 같다. 등숙비율의 차이는 품종에 따라

진수미 10.3~고품 22.3%의 범위였으며, 모든 처리를 합하였을 때는 23.7%였다. 현미 천립중의 차이는 품종에 따라 진수미와 영호진미 2.5~대보 5.0 g의 범위였으며, 전체 성적에서 최고와 최저값의 차이는 6.5 g이었다. 완전미 비율의 최고값과 최저값의 차이는 품종에 따라 영호진미 15.6~고품 35.5%의 범위였으며, 전체 성적의 최고와 최저값의 차이는 37.1%였다. 완전미 수량의 차이는 운광 178~칠보 358 kg/10a를 보였으며, 전체 성적에서는 425 kg/10a를 나타내었다. 쌀 단백질의 차이는 품종에 따라 2.1~3.2% 범위였으며, 전체 성적에서는 3.5%였다. Toyo Mido Meter 측정값(TGV)의 차이는 품종에 따라 7.8~21.7, 전체 성적에서는 25.4를 보였다.

출수 후 40일간 평균기온 및 일조시간과 쌀 품질 관련 특성의 관계

Table 2와 3에서 각 품종별 출수기와 쌀 품질 관련 특성의 변이는 지역간 기상과 토양환경 및 연차간 기상환경 요인의 차이에 기인된다고 할 수 있다. 지역간 토양 특성의 차이도 쌀 품질 특성의 변화에 일정부분 기여한다고 할 수 있다. 그러나 본 연구에서는 모든 시험지역에서 고품질 쌀 생산에 적합한 비배관리를 적용하였으므로, 쌀 품질 특성의 지역간 변이는 토양 특성의 지역간 차이보다 주로 기상환경의 차이에 영향을 받았다고 할 수 있을 것이다.

품종별 시험성적을 모두 합한 값의 변이는 유전요인과 환경요인이 복합적으로 작용하여 생기는 차이로 볼 수 있으

Table 2. Experimental site-dependent ranges of flowering date, daily mean temperature and daily sunshine hours for 40 days after flowering in each rice variety.

Variety	Flowering date (M.D)	Daily mean temperature (°C)	Sunshine hours (hr. d ⁻¹)
Chilbo	8.9~8.24 (15) [†]	20.0~26.3 (6.3)	4.8~7.9 (3.1)
Daebo	8.7~8.24 (17)	20.0~26.3 (6.3)	4.8~7.9 (3.1)
Gopum	8.6~8.25 (19)	19.5~26.1 (6.6)	4.9~7.9 (3.0)
Haiami	8.8~8.26 (18)	20.0~26.3 (6.3)	4.9~7.9 (3.0)
Hopum	8.10~8.29 (19)	19.6~25.9 (6.3)	5.0~8.0 (3.0)
Jinsumi	8.10~8.29 (19)	19.9~25.9 (6.0)	5.0~8.0 (3.0)
Mipum	8.10~9.3 (24)	18.8~25.9 (7.1)	5.3~7.9 (2.6)
Samkwang	8.9~8.26 (17)	19.9~26.4 (6.5)	5.2~7.9 (2.7)
Sukwang	8.9~8.26 (17)	19.9~25.9 (6.0)	4.5~7.8 (3.3)
Unkwang	7.23~8.1 (9)	22.2~25.6 (3.4)	3.9~7.4 (3.5)
Younghojinmi	8.15~9.4 (20)	19.3~24.5 (5.2)	5.1~7.5 (2.4)
Pooled	7.23~9.4 (43)	18.8~26.4 (7.6)	3.9~8.0 (4.1)

[†]Data in parentheses are differences.

*Data were pooled across experimental years and sites for each variety.

Table 3. Range of percentage of grain filling (PGF), 1000-brown rice weight (TBRW), percentage of head rice (PHR), head rice yield (HRY), protein in milled rice (PRO) and Toyo Mido Meter glossiness value (TGV) for each variety, depending on experimental sites.

Variety	PGF (%)	TBRW (g)	PHR (%)	HRY (t ha ⁻¹)	PRO (%)	TGV
Chilbo	84.7~97.1 (12.4) [†]	21.7~24.7 (3.0)	62.9~97.8 (34.9)	321~679 (358)	5.0~8.1 (3.1)	69.7~79.9 (10.2)
Daebo	77.7~94.8 (17.1)	19.6~24.6 (5.0)	71.2~95.8 (24.6)	370~701 (331)	5.1~8.2 (3.1)	71.5~82.7 (11.2)
Gopum	74.2~96.5 (22.3)	20.7~24.1 (3.4)	61.4~96.7 (35.3)	276~609 (333)	5.0~8.2 (3.2)	71.7~84.6 (12.9)
Haiami	75.1~94.5 (19.4)	21.2~24.7 (3.5)	69.6~96.3 (26.7)	370~645 (275)	5.1~8.3 (3.2)	70.5~84.0 (13.5)
Hopum	79.8~96.2 (16.4)	21.2~26.1 (4.9)	66.3~95.9 (29.6)	364~667 (303)	5.0~7.9 (2.9)	67.5~80.4 (12.9)
Jinsumi	86.6~96.9 (10.3)	21.7~24.2 (2.5)	77.0~98.0 (21.0)	346~657 (311)	5.0~8.0 (3.0)	68.1~84.4 (16.3)
Mipum	79.0~95.4 (16.4)	20.7~23.5 (2.8)	74.3~98.5 (24.2)	398~696 (298)	5.1~8.3 (3.2)	68.2~89.9 (21.7)
Samkwang	86.0~96.5 (10.5)	21.5~24.4 (2.9)	74.6~97.4 (22.8)	402~674 (272)	4.8~7.6 (2.8)	69.2~79.9 (10.7)
Sukwang	85.7~97.9 (12.2)	22.1~24.7 (2.6)	76.7~97.9 (21.2)	380~655 (275)	5.1~7.8 (2.7)	70.6~85.4 (14.8)
Unkwang	74.5~90.2 (15.7)	21.6~25.4 (3.8)	61.5~91.4 (29.9)	332~510 (178)	5.4~8.0 (2.6)	66.1~73.9 (7.8)
Younghojinmi	77.3~95.2 (17.9)	21.5~24.0 (2.5)	82.0~97.6 (15.6)	418~692 (274)	5.6~7.7 (2.1)	71.0~91.5 (20.5)
Pooled	74.2~97.9 (23.7)	19.6~26.1 (6.5)	61.4~98.5 (37.1)	276~701 (425)	4.8~8.3 (3.5)	66.1~91.5 (25.4)

[†]Data in parentheses are differences.

*TGV data were taken in 2014 and other data in 2013 and 2014. Data were pooled across experimental years and sites for each variety.

나, 기상요인에 의한 전반적인 영향을 알아보기 위하여 출수 후 40일간의 등숙기간 중 평균기온 및 일조시간과 쌀 품질 관련 특성의 관계를 모든 품종의 시험성적을 합하여 분석하였다. 등숙비율, 완전미 비율, 완전미 수량, 쌀 단백질 함량, TGV와 출수 후 40일간의 평균기온 및 일조시간은 통계적으로 유의한 관계를 나타내었으나, 현미 천립중과는 유의성이 인정되지 않았다(Fig. 2).

등숙비율은 출수 후 40일간의 평균기온 22.6°C와 일조시간 6.2시간/일에서 최고값을 보였다. 이는 자포니카 벼 품종의 출수 후 40일간 최적온도가 22°C라는 Kim (1983)의 보고와 유사한 결과이다. 현미 천립중은 출수 후 40일간의 평균기온 및 일조시간의 변화에 따라 큰 차이를 보이지 않았는데, 이는 현미 천립중이 출수 후 30일간의 평균기온 22.2°C에서 최고를 보였다는 보고(Choi *et al.*, 2011)와 다른

결과이다. 이러한 차이의 원인을 밝히기 위해서는 추가적인 연구가 필요하겠으나, Fig. 2의 분석에서는 현미 천립중이 서로 다른 많은 품종의 성적을 합하여 분석했기 때문인 것으로 사료된다. 완전미 비율은 온도 증가에 따라 감소하는 경향을 보였으며, 일조시간 6.1시간까지 증가하다 그보다 많아지면 오히려 감소하는 추세였다. 완전미 수량은 완전미 비율과 비슷하게 평균기온이 증가할수록 감소하였으며, 일조시간 6.0시간까지는 증가하다 그 이상에서는 감소하는 경향이였다. 쌀 단백질 함량은 온도와 일조시간 증가에 따라 감소하는 경향을 보였으나, 평균기온보다 일조시간의 영향이 더 큰 것으로 나타났다. TGV는 온도가 높아질수록 감소하고, 일조시간이 많아질수록 증가하는 경향을 보였다.

출수 후 40일간 평균기온의 영향을 특성별로 비교해보면, 등숙비율은 22.6°C에서 가장 높았던 반면 완전미 비율, 완

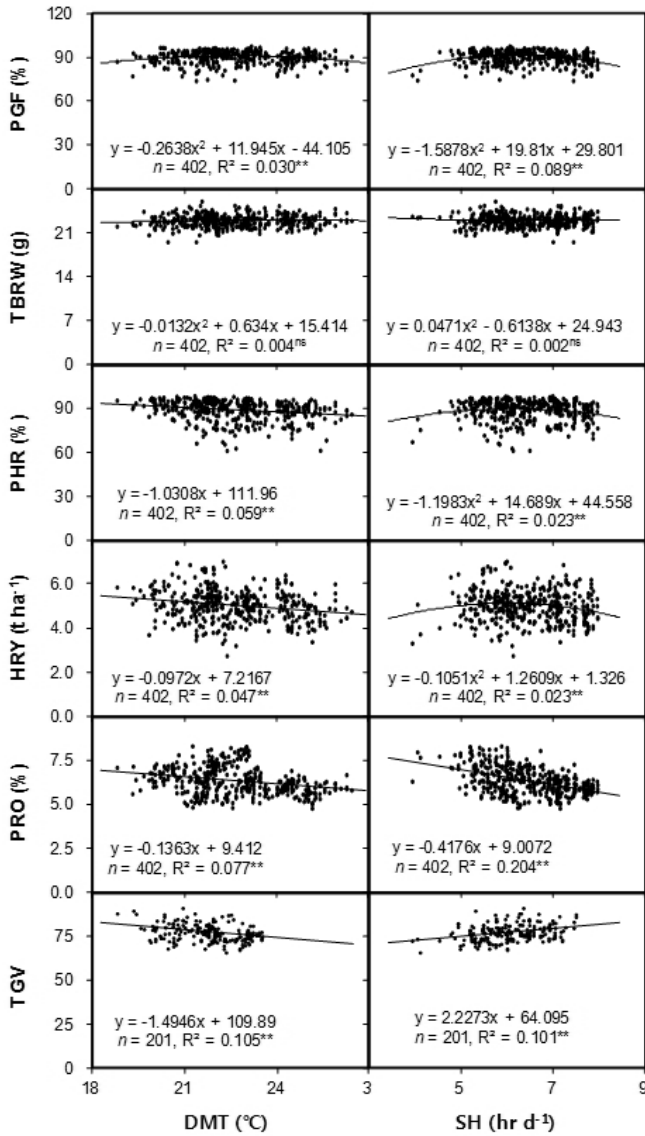


Fig. 2. Relationship of daily mean temperature (DMT) and sunshine hours (SH) for 40 days after flowering with percentage of grain filling (PGF), 1000-brown rice weight (TBRW), percentage of head rice (PHR), protein in milled rice (PRO) and with Toyo Mido Meter glossiness value (TGV). TGV data were taken in 2014 and other data in 2013 and 2014. Data were pooled across varieties, experimental years and sites.

전미 수량, TGV는 이보다 낮은 온도에서 품질이 향상되는 방향으로 변화하였다. 이 결과는 쌀 품질에 직접적으로 관여하는 외관 특성과 식미는 등숙 최적온도보다 낮은 온도에서 향상되는 것을 의미하므로, 쌀 품질 향상을 위한 등숙기간 중 최적온도는 그간 적용되어 오던 등숙 최적온도와는 다르게 설정되어야 할 것으로 판단된다. 벼 등숙기간 중 일조시

Table 4. Significance of correlation between average daily mean temperature for 40 days after flowering and percentage of grain filling (PGF), 1000-brown rice weight (TBRW), percentage of head rice (PHR), head rice yield (HRY), protein in milled rice (PRO) and Toyo Mido Meter glossiness value (TGV) for each rice variety.

Variety	PGF (%)	TBRW (g)	PHR (%)	HRY (t ha ⁻¹)	PRO (%)	TGV
Chilbo	**	ns	ns	*	*	ns
Daebo	*	ns	**	*	ns	ns
Gopum	*	ns	*	ns	*	ns
Haiami	ns	ns	*	*	ns	ns
Hopum	ns	ns	ns	ns	*	ns
Jinsumi	ns	*	ns	ns	*	ns
Mipum	ns	*	ns	ns	**	ns
Samkwang	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Sukwang	ns	ns	*	ns	*	ns
Unkwang	*	ns	**	ns	*	ns
Younghojinmi	**	**	ns	ns	**	*

*TGV data were taken in 2014 and other data in 2013 and 2014. Data were pooled across experimental years and sites for each variety. *, significant at 5%, **, significant at 1%, ns; not-significant.

간의 영향을 품질 관련 특성별로 비교해 보면, 쌀 외관특성을 나타내는 완전미 비율과 완전미 수량은 6.0~6.1시간/일까지 증가하다 그 이상에서는 감소하는 반면, 밥맛과 관련되는 쌀 단백질과 TGV는 일평균 일조시간 7~8시간까지도 식미를 향상시키는 방향으로 변화하였다. 쌀 품질은 Son *et al.* (2002)이 보고한 바와 같이 특정한 몇 가지 특성에 따라 결정하기 어렵고, 소비자 입장에서는 외관 품위와 밥맛 모두가 쌀 품질의 판단 척도가 되므로 쌀 품질 향상을 위한 최적 일조시간은 이들 특성의 균형을 고려하여 판단해야 할 것으로 보인다. 본 연구의 회귀식에 대입하면, 완전미 비율이 가장 높은 일조시간 6.1시간/일에서 쌀 단백질은 6.5%, TGV는 77.7로 계산된다. 쌀 단백질 6.5%는 고품질 쌀의 기준으로 적용되기도 하였으며, TGV 77.7은 최고품질 벼 품종을 공시한 본 시험에서 모든 처리의 평균인 77.5와 비슷한 값을 나타내므로, 쌀 외관 품위와 밥맛을 모두 고려한 최적 일조시간을 6.0~6.1시간/일로 설정해도 큰 무리는 없을 것으로 사료된다.

출수 후 40일간 일 평균기온과 쌀 품질 관련 특성간 관계의 유의성을 품종별로 구분한 결과는 Table 4와 같다. 등숙

비율은 칠보 등 5품종이 유의한 관계가 인정되었고, 나머지 6품종은 통계적 유의성이 없었다. 현미 천립중은 3품종, 완전미 비율은 5품종, 완전미 수량은 3품종, 쌀 단백질은 8품종, TGV는 1품종이 유의성을 보였다. 일조시간과의 관계를 품종별로 구분해 보면, 전체 11품종 가운데 등숙비율은 6개, 현미 천립중은 2개, 완전미 비율은 4개, 완전미 수량은 2개, 쌀 단백질은 9개, TGV는 1개 품종이 출수 후 40일간의 일평균 일조시간과 유의한 관계를 나타내었다(Table 5).

이와 같이 출수 후 40일간의 평균기온 및 일조시간과 쌀 품질 특성간 관계의 유의성이 품종간 차이를 보이는 원인을 정확하게 분석할 수는 없으나, 출수기까지 기상의 변이에 따라 벼 생육량과 면적당 영하수가 달라진 결과에 따른 산물일 수 있을 것으로 추정된다. Table 4와 5에서 기상요인과 품질 특성의 관계를 각 특성별로 비교해보면, 쌀 단백질이 전체 11품종 중 평균기온과는 8개, 일조시간과는 9개 품종에서 유의성을 보여, 다른 특성에 비하여 유의성이 있는 품종 수가 많았다. 이러한 결과는 다른 특성에 비하여 쌀 단백질이 기상환경에 보다 직접적인 영향을 받으며, 영향의 정도도 크다는 것을 의미한다 하겠다.

Table 5. Significance of correlation between average sunshine hours for 40 days after flowering and percentage of grain filling (PGF), 1000-brown rice weight (TBRW), percentage of head rice (PHR), head rice yield (HRY), protein in milled rice (PRO) and Toyo Mido Meter glossiness value (TGV) for each rice variety.

Variety	PGF (%)	TBRW (g)	PHR (%)	HRY (t ha ⁻¹)	PRO (%)	TGV
Chilbo	**	ns	*	*	**	ns
Daebo	**	ns	*	ns	**	**
Gopum	**	ns	ns	ns	**	ns
Haiami	ns	*	**	**	**	ns
Hopum	ns	*	ns	ns	**	ns
Jinsumi	ns	ns	ns	ns	**	ns
Mipum	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Samkwang	ns	ns	ns	ns	*	ns
Sukwang	*	ns	*	ns	**	ns
Unkwang	**	ns	ns	ns	**	ns
Younghojinmi	*	ns	ns	ns	ns	ns

*TGV data were taken in 2014 and other data in 2013 and 2014. Data were pooled across experimental years and sites for each variety. *, significant at 5%, **, significant at 1%, ns; not-significant.

등숙시기별 평균기온 및 일조시간과 쌀 품질 관련 특성의 관계

등숙시기별 평균기온 및 일조시간과 품질 특성간 유의한 관계가 있는 품종 수의 변화는 Fig. 3과 같다. 조사한 특성 중 특히 쌀 단백질은 평균기온 및 일조시간과 유의한 관계를 보인 품종 수가 많았는데, 전체 11품종 중 출수 후 1-10일, 11-20일, 21-30일, 31-40일의 평균기온과 각각 11, 8, 5, 5개가 유의한 관계를 보였다. 유의한 관계를 보인 품종 수의 변화를 기준으로 보면, 쌀 단백질은 등숙 후기보다 초기 평균기온에 더 큰 영향을 받는다고 할 수 있다. 쌀 단백질은 다른 특성에 비하여 일조시간과도 유의한 관계를 보인 품종이 많았는데, 전체 11품종 중 출수 후 30일까지 9~10품종으로 고르게 많았으며, 출수 후 31-40일에는 급격하게 감소하였다. 따라서 쌀 단백질은 등숙 초기의 평균기온과 등숙 초중기의 일조시간에 크게 영향을 받는 것으로 볼 수 있다. 완전미 비율은 다른 시기보다 출수 후 1-10일의 평균기온

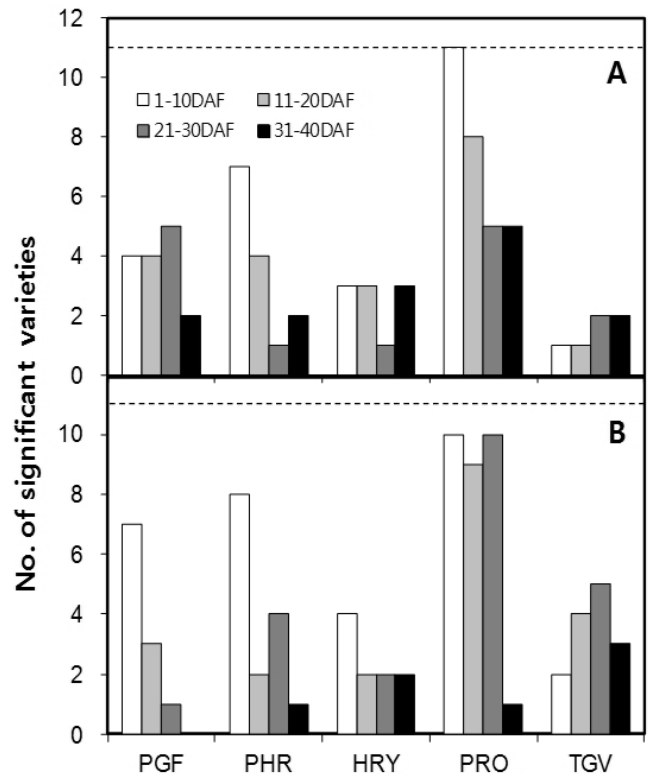


Fig. 3. Number of varieties significantly correlated with (A) daily mean temperature and (B) sunshine hours at different stages during grain filling for final percentage of grain filling (PGF), percentage of head rice (PHR), head rice yield (HRY), protein in milled rice (PRO) and Toyo Mido Meter glossiness value (TGV). Dashed lines indicate number of total varieties.

및 일조시간과 유의한 관계를 보인 품종이 7~8품종으로 많았다. 이외에는 등숙비율과 출수 후 1-10일의 일조시간간 유의한 상관관계를 보인 품종이 7개였고 나머지 특성에서 유의한 관계를 보인 품종 수는 전체의 50% 미만으로, 영향이 상대적으로 크지 않은 것으로 보였다. 쌀 단백질과 완전미 비율은 최종 산물인 반면, 등숙 단계별 기상은 과정 요인 이므로 보다 정확한 인과관계를 밝히기 위해서는 후속 연구가 필요할 것으로 생각된다. 그러나 등숙 초기의 영향은 등숙 중후기 쌀 품질 특성을 결정하는 원인으로 작용하므로, 본 연구에서 등숙 초기의 기상조건이 쌀 단백질과 완전미 비율에 크게 영향을 미친 결과는 유의미하다 하겠다.

품종, 시험지역 및 연도를 모두 합하여 쌀 단백질과 등숙 시기별 평균기온 및 일조시간의 관계를 분석한 결과는 유의성을 보인 품종수를 기준으로 평가한 결과와 유사한 경향이 있었다. 쌀 단백질은 출수 후 1-10일의 일평균기온 및 일조시간과의 관계에서 결정계수가 가장 높아 영향이 큰 것으로 판단되었다(Fig. 4). 평균기온과 일조시간 증가에 따른 쌀 단백질의 증감 추세를 출수 후 등숙단계에 따라 달라졌는데, 평균기온의 영향이 가장 컸던 출수 후 1-10에는 온도가

높아질수록 감소하는 경향이였다. 이러한 결과는 등숙단계에 따라 쌀 단백질에 미치는 기온과 일조시간의 영향이 일정한 방향으로만 작용하지 않는다는 것을 의미한다.

이상의 결과를 종합하면, 품종과 환경 변이를 아우르는 전반적인 쌀 품질 관련 특성은 등숙기 평균기온 및 일조시간의 변화로 설명이 가능한데, 품질에 직접 관련된 특성은 출수 후 40일간 등숙에 적합한 기온보다 낮은 온도에서 향상되며, 쌀 단백질과 TGV는 상대적으로 등숙 초기의 영향을 크게 받는 것으로 분석되었다.

적 요

벼 등숙기간 및 등숙기 기간별 기온과 일조시간이 쌀 품질 특성에 미치는 영향을 알아보기 위하여 전국 8개도 24개 지역에서 고품질 벼 11품종을 이용하여 2013-2014년에 시험한 결과는 다음과 같다.

1. 품종, 지역 및 연차별 시험성적을 모두 합하였을 때, 출수기, 출수 후 40일간 평균기온 및 일조시간의 범위는 각각 7월 23일~9월 4일, 18.8~26.4°C, 3.9~8.0시간/일이였다.
2. 성적을 모두 합하였을 때, 특성별 범위는 등숙비율 74.2~97.9%, 현미 천립중 19.6~26.1 g, 완전미 비율 61.4~98.5%, 완전미 수량 276~701 kg/10a, 쌀 단백질 4.8~8.3%, Toyo Mido Meter 값 66.1~91.5였다.
3. 완전미 비율, 완전미 수량, 쌀 단백질 및 Toyo Mido Meter 값은 출수 후 40일간의 등숙 최적온도인 22.6°C 보다 낮은 온도에서 높아졌으며, 쌀 외관품위와 밥맛을 고려한 출수 후 40일간의 최적 일조시간은 6.0~6.1 시간/일로 평가되었다.
4. 쌀 단백질은 출수 후 40일간의 평균기온 및 일조시간과 유의한 관계를 보인 품종이 전체 11품종 중 각각 8개와 9개로, 다른 특성에 비해 많았다.
5. 쌀 단백질은 등숙 초기의 평균기온 및 등숙 초·중기의 일조시간에, 완전미 비율은 등숙 초기의 평균기온 및 일조시간에 상대적으로 더 큰 영향을 받았다.

사 사

본 논문은 농촌진흥청 연구사업(세부과제명 : 중부지역 밥쌀용 벼 신품종 최적 재배기술 개발, 세부과제번호 : PJ0926501)의 지원에 의해 이루어진 것임.

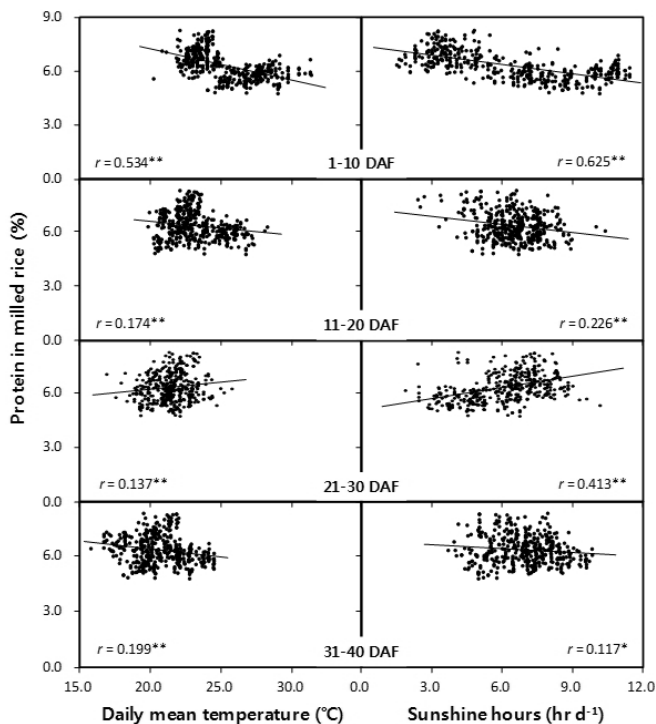


Fig. 4. Relationship of protein in milled rice with daily mean temperature and sunshine hours at different grain filling stages of 1-10, 11-20, 21-30 and 31-40 days after flowering (DAF). Data were pooled across varieties, experimental years and sites. $n=402$.

인용문헌(REFERENCES)

- Chae, J. C. and D. K. Jun. 2002. Effect of harvest time on yield and quality of rice. *Korean J. Crop Sci.* 47(3) : 254-258.
- Choi, K. J., T. S. Park, C. K. Lee, J. T. Kim, J. H. Kim, K. Y. Ha, Y. W. Yang, C. K. Lee, K. S. Kwak, H. K. Park, J. K. Nam, J. I. Kim, G. J. Han, Y. S. Cho, Y. H. Park, S. W. Han, J. R. Kim, S. Y. Lee, H. G. Choi, S. H. Cho, H. G. Park, D. J. Ahn, W. K. Joung, S. I. Han, S. Y. Kim, K. C. Jang, S. H. Oh, W. D. Seo, J. E. Ra, J. Y. Kim, and H. W. Kang. 2011. Effect of temperature during grain filling stage on grain quality and taste of cooked rice in mid-late maturing rice varieties. *Korean J. Crop Sci.* 56(4) : 404-412.
- Choi, M. G., B. T. Jun, and S. H. Park. 1990. Cultural practices for improving grain quality of rice in southern plain area. *Korean J. Crop Sci.* 35(6) : 487-491.
- Choi, W. Y., S. S. Kim, B. I. Ku, M. G. Choi, H. K. Park, Y. D. Kim, K. S. Lee, and C. K. Kim. 2008. Changes of rice yield and quality of "Unkwangbyeon" as affected by transplanting date in Honam plain area. *Korean J. Intl. Agric.* 20(3) : 231-234.
- Choi, Y. H., E. G. Jeong, J. I. Choung, D. S. Kim, S. L. Kim, J. T. Kim, C. G. Lee, and J. R. Son. 2006a. Effects of moisture contents of rough rice and storage temperatures on rice grain quality. *Korean J. Crop Sci.* 51(S) : 12-20.
- Choi, Y. H., K. H. Kim, H. C. Choi, H. G. Hwang, Y. G. Kim, K. J. Kim, and Y. T. Lee. 2006b. Analysis of grain quality properties in Korea-bred japonica rice cultivars. *Korean J. Crop Sci.* 51(7) : 624-631.
- Jeon, W. B., E. J. Myung, E. W. Lee, and Y. W. Kwon. 1991. Effect of drying temperature of rough rice on grain and eating quality. *Korean J. Crop Sci.* 36(4) : 345-350.
- Jung, M. S., D. K. Jun, and J. C. Chae. 2003. Effects of transplant and harvest time on grain quality of rice in reclaimed paddy field. *Korean J. Crop Sci.* 48(6) : 534-539.
- Kim, K. C. 1983. Studies on the effect of temperature during the reduction division and the grain filling stage in rice plants. *Korean J. Crop Sci.* 28(1) : 58-75.
- Kim, K. H., J. C. Chae, M. S. Lim, S. Y. Cho, and R. K. Park. 1988. Research status and prospects in rice quality. *Korean J. Crop Sci.* 33(S01) : 1-17.
- Kim, K. Y., J. C. Ko, W. C. Shin, H. S. Park, M. K. Baek, J. K. Nam, B. K. Kim, and J. H. Lee. 2014. Effect of low radiation during grain filling stage on rice yield and grain quality. *Korean J. Crop Sci.* 59(2) : 174-180.
- Kim, S. S., J. H. Lee, J. K. Nam, W. Y. Choi, N. H. Baek, H. K. Park, M. G. Choi, C. K. Kim, and K. Y. Jung. 2005. Proper harvesting time for improving the rice quality in Honam plain area. *Korean J. Crop Sci.* 50(S) : 62-68.
- Kim, S. S., W. Y. Choi, J. K. Nam, J. H. Lee, N. H. Baek, H. K. Park, M. G. Choi, and C. K. Kim. 2006. Optimum N-fertilization level for quality rice production in the southern alpine area of Korea. *Korean J. Crop Sci.* 51(S) : 30-34.
- Kim, Y. D., S. G. Kang, B. I. Ku, W. G. Sang, S. R. Jo, H. K. Park, W. C. Shin, J. C. Ko, W. H. Yang, B. K. Kim, J. H. Lee, and S. L. Kim. 2015. Optimal transplanting time for 'Sukwang' (*Oryza sativa* L.) in the southwestern plain area of Korea. *Korean J. Intl. Agric.* 27(1) : 59-62.
- Kwon, Y. R., J. J. Lee, D. C. Choi, J. S. Choi, Y. G. Choi, and S. J. Yun. 2006. Varietal difference in growth, yield and grain quality of rice grown at different altitudinal locations. *Korean J. Crop Sci.* 51(2) : 130-136.
- Lee, A. S., Y. S. Cho, I. J. Kim, J. K. Ham, and J. S. Jang. 2012. The quality and yield of early maturing rice varieties affected by cultural practices in Gangwon plain region. *Korean J. Crop Sci.* 57(3) : 233-237.
- Lee, C. K., J. H. Kim, M. K. Choi, K. S. Kwak, and J. C. Shin. 2010. Nitrogen application method for high quality and labor saving in rice production under amended standard N application level. *Korean J. Crop Sci.* 55(1) : 70-75.
- Lee, J. H., W. Y. Choi, J. K. Nam, S. S. Kim, H. K. Park, N. H. Baek, and M. G. Choi. 2005. Proper transplanting time for improving the rice quality in the southern alpine area. *Korean J. Crop Sci.* 50(S) : 51-55.
- Lee, J. S., J. H. Lee, M. R. Yoon, J. Kwak, Y. J. Mo, A. Chun, and C. K. Kim. 2013. Palatability and physicochemical properties in 2001 yield increased by 10% than normal level in 2000. *Korean J. Crop Sci.* 58(3) : 292-300.
- Nam, J. K., S. S. Kim, J. H. Lee, W. Y. Choi, N. H. Baek, H. K. Park, M. G. Choi, and T. O. Kwon. 2005. Proper nitrogen application level for improving the rice quality in Honam plain area. *Korean J. Crop Sci.* 50(S) : 56-61.
- 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 future research of rice quality evaluation. *Korean J. Crop Sci.* 47(S) : 33-54.
- Won, J. G., D. J. Ahn, S. J. Kim, C. D. Choi, and S. C. Lee. 2008. Improving grain quality by controlling top dressing of nitrogen application ratio. *Korea. J. Crop Sci.* 53(S) : 47-52.
- Won, J. G., S. G. Park, D. J. Ahn, and S. D. Park. 2006. Annual variation of quality in commercial rice produced in Gyeongbuk. *Korean J. Crop Sci.* 51(3) : 227-232.
- Won, J. G., S. H. Lee, J. S. Choi, S. G. Park, D. J. Ahn, S. D. Park, and J. K. Son. 2005. Yearly variation of rice quality in Gyeongbuk province. *Korean J. Crop Sci.* 50(S) : 69-76.