

등숙기 일사 저하가 쌀 수량 및 품질에 미치는 영향

김기영*[†] · 고종철** · 신운철* · 박현수* · 백만기* · 남정권* · 김보경*** · 이점호*

*국립식량과학원 벼맥류부, **농촌진흥청, ***국립식량과학원 답작과

Effect of Low Radiation During Grain Filling Stage on Rice Yield and Grain Quality

Ki-Young Kim*[†], Jong-Cheol Ko**, Woon-Cheol Shin*, Hyun-Su Park*, Man-Kee Baek*, Jeong-Kwon Nam*,
Bo-Kyeong Kim***, and Jeom-Ho Lee*

*Rice and Winter Cereal Crops Department of NICS, RDA, Iksan 570-080, Korea

**Rural Development Administration, Suwon 441-857, Korea

***National Institute of Crop Science, RDA, Suwon 441-857, Korea

ABSTRACT This study was conducted to know the effect of low radiation during grain filling stage of rice on its grain yield, components, physicochemical properties and palatability, compared to the effect of natural light. Ripened grain ratio, 1000 grain weight of brown rice, milled rice yield of Mipum, Hopum, and Sindongjin were reduced as the shading treatments become higher. After harvest, physicochemical properties of rice influencing eating quality were investigated. Protein content of milled rice was increased, but palatability was decreased by shading treatments. Change of milled rice proteins and palatability due to shading treatments were found to be less in Mipum than that in Hopum and Sindongjin. With regard to amylogram properties, shading treatments resulted in a significant decrease in peak·trough·final·breakdown viscosities of rice flour, though it increased pasting temperature and setback viscosity. The degree of the 55% shading effect was more intensive than the 35% shading effect in changes of ripened grain ratio, 1000 grain weight of brown rice, milled rice yield and milled rice protein.

Keywords : rice, low radiation, grain filling stage, yield, grain quality

최근 한반도의 이상기상 연구에 대한 보고에 의하면 우리나라의 여름철 이상고온 출현 빈도가 증가(Heo & Lee, 2006)하고 있으며, 벼 등숙기간 중 연속강우로 인해 일조부족으로 나타나고 있다. 식물의 생장은 물, CO₂, 빛, 온도, 토

양 등 다양한 환경요인에 의하여 상호 복합적으로 영향을 받는다(Peng *et al.*, 2004). 이들 중 빛은 식물의 광합성과 형태 발생에 필수적인 환경요소로 작물의 수량에 결정적인 영향을 미친다(Evan & Datta, 1997; Yang *et al.*, 2007). 벼의 생육단계별 일사량 부족에 따른 반응은 분얼발생 억제 및 지연(Nakano, 2000), 영화 형성 감소(Biswas & Salokehe, 2002; Kim *et al.*, 1991; Yao *et al.*, 2000), 등숙비율 저하(Samarajeewa *et al.*, 2005; Yang *et al.*, 2007), 엽록소 축적(Makino *et al.*, 1997) 및 물질 분배(Gibson *et al.*, 2004) 등과 연관되어 수량 저하의 주요인으로 보고되고 있다. 중국에서는 일조부족에 내성을 보이는 품종 육성을 위하여 특성 검정기술을 개발(Jiao, 1992; Jiao *et al.*, 1996)하여 일사량이 높거나 낮은 조건에서 44품종을 4개의 품종군으로 분류하였다. 이들 품종군 중 광산화와 차광에 내성을 보이는 품종군은 광산화와 차광에 민감한 반응을 보이는 품종군에 비해 Photosystem(PS)-II의 효율저하와 PS-II-D₁ 단백질 감소가 적었다고 보고하였다(Jiao & Li, 2004). 국내의 일조저하와 관련된 연구보고에 따르면 출수기 전후 차광처리시 수량 및 수량구성요소에 미치는 영향으로 영화수는 수당 12~15립 정도 줄었고, 차광정도에 따라 불임률은 증가하고, 등숙률은 감소하여 50% 차광시 30~40%의 수량감소를 보였고, 품종별로 차이가 있다고 보고하였다(Kim *et al.*, 1991). 또한 일사 저하에 대한 벼의 형태적 특성 및 광합성 반응 변화에 대한 연구(Yang *et al.*, 2007)가 보고되어 있지만 일사량 부족에 따른 쌀의 품질변화에 대한 연구는 보고된 바 없다. 기후변화에 따른 등숙기 일사량 부족에도 수량감소가

[†]Corresponding author: (Phone) +82-63-840-2150 (E-mail) gold5501@korea.kr

<Received 24 February, 2014; Revised 12 May, 2014; Accepted 14 May, 2014>

적고 품질에 영향을 덜 받는 품종을 선정하고 이를 이용해 내성 품종을 육성해 나아갈 필요가 있다.

본 시험에서는 등숙기 일사량 부족을 유도하기 위하여 자연광을 대비하여 차광 35%, 55%을 처리하였다. 이를 통해 등숙기 일사량 부족이 벼 품종별 수량 및 수량구성요소에 미치는 영향을 살펴보고, 차광정도에 따라 쌀의 이화학적 특성 및 식미에 미치는 영향을 분석한 결과를 보고하고자 한다.

재료 및 방법

공시재료 및 재배방법

국립식량과학원 벼맥류부 육종포장에서 2011년 미품, 신동진, 호품을 4월 30일 파종하여 5월 30일에 재식거리 30×15 cm로 3본씩 난괴법 3반복으로 이앙하였다. 시비방법 및 기타 비배관리는 농진청 벼 표준재배법에 준하였다. 차광처리는 품종별로 출수시(미품, 8월 17일; 신동진, 8월 11일; 호품, 8월 12일)부터 각각 60일까지 자연광을 대비하여 35%, 55% 차광망을 설치하여 유도하였다. 일사량은 자연광을 대비하여 35%, 55%로 환산하여 계산하였다.

농업적 형질 및 이화학적 특성 분석

출수기, 간장, 수수, 수당립수, 등숙률, 정현비율, 현미천립중 및 백미수량은 농촌진흥청 조사기준에 따라 조사하였다. 출수 후 60일에 각각의 품종을 수확한 후 수분함량을 15%로 조절하여 현미기(SYTH-88, 쌍용)를 이용하여 제현을 하였고, 백미기(Satake; THV, Yamamoto, Japan)를 이용하여 10분도로 도정하여 시료로 사용하였다. 백미의 단백질 및 아밀로스는 곡물분석기(FOSS INTRATEC™ 1241 Analyzer Sweden)를 이용하여 3반복으로 측정하였다.

Rapid Visco-Analyzer(RVA) 호화특성 측정

차광처리 후 밥의 아밀로그래프 특성 분석은 12% 현탁액을 만들어서 신속점도측정계(Newport Sci. RVA-4, Newport, Australia)를 이용하여 50℃에서 1분, 50~95℃까지 4.7분 동안에 상승시키고, 95℃에서 2.5분 유지시켰다가 다시 3.7분 동안에 50℃로 냉각시키면서 호화특성을 조사하였다. 아밀로그래프에서 최고점도(peak viscosity), 최저점도(trough viscosity), 최종점도(final viscosity)를 구하고, 이것을 이용하여 강하점도(breakdown)는 최고점도와 최저점도의 차이로, 치반점도(setback)는 최종점도와 최고점도의 차이로 산출하였다. 점도의 단위는 RVU(Rapid Visco Unit)로 표시하였다.

기계적 식미치 측정

밥맛이 좋은 쌀이 윤기가 많다는 원리에 따라 취반한 밥 표면에 특수전자파를 주사하여 전자파의 반사율과 흡수율을 측정하여 식미치를 계산하도록 고안된 토요 미도측정기(Toyo, MB90A, MA90B, Japan)를 사용하여 시료의 기계적 식미치를 측정하였다. 식미치 분석을 위하여 백미기(Stake THV, Yamamoto, Japan)를 이용하여 도정된 시료 33 g을 취하여 취반용 셀에 넣은 후 취반기(MB90A, Toyo, Japan)에서 10분간 취반한 후 5분간 뜸을 들이고 미도계(MA90B, Toyo, Japan)를 이용하여 식미치를 3반복으로 측정하였다.

통계분석

실험결과는 SAS(Statistic Analysis System, 9.1 Version) Program을 이용하여 분석하였다. 통계 package를 사용하여 평균을 구한 다음 분산분석(ANOVA) 및 Duncan의 다중검정(Duncan's multiple range test)으로 유의성을 분석하였다.

결과 및 고찰

차광처리에 의한 품종별 적산일사량 및 유효적산온도

차광처리는 2011년 자연광을 대비하여 각각 35%, 55%로 차광정도를 달리하여 처리한 결과 품종별 적산일사량 및 유효적산온도는 Table 1과 같다. 차광처리 기간에 따른 품종별 적산일사량의 변화를 살펴보면 미품의 자연광 적산일사량은 802.6 MJ/m², 신동진은 851.7 MJ/m², 호품은 811.2 MJ/m²로 나타났다. 미품에 35%, 55% 차광시 처리기간의 적산일사량은 각각 521.7, 361.2 MJ/m²를 보였고, 신동진은 533.6, 383.6 MJ/m², 호품은 527.3, 365.0 MJ/m²로 나타났다. 차광처리시 품종별 처리기간의 유효적산온도는 미품 1,219℃, 신동진 1,286℃, 호품 1,275℃로 나타났다.

차광처리에 의한 품종별 등숙률, 현미천립중 및 쌀수량

차광정도에 따른 품종간 등숙률, 현미천립중 및 쌀수량의 변화는 Table 2와 같다. 자연광에서의 미품, 신동진, 호품의 등숙률은 각각 95, 84, 88%로 나타났다. 차광정도에 따른 품종별 등숙률을 살펴보면 미품은 35% 차광시 89%로 자연광에 비해 6% 감소되었고 55% 차광시 87%로 8%가 감소되었다. 신동진은 35% 차광시 등숙률이 67%로 자연광에 비해 17% 감소되었고 55% 차광시 59%로 25%의 감소를 보였다. 호품은 35% 차광시 등숙률이 64%로 자연광에 비해 24% 감소되었고 55% 차광시 57%로 31%의 큰 차이를 보였다. 차광처리에 의한 일사량 부족시 호품>신동진>미품

Table 1. Accumulated effective temperature and accumulated solar radiation by shading treatments from first heading to 60 days after first heading.

Variety	Shading treatment	Accumulated solar radiation (MJ/m ²)	Accumulated effective temperature (°C)
Mipum	Natural light	802.6	1,219
	Shade 35%	521.7	
	Shade 55%	361.2	
Sindongjin	Natural light	851.7	1,286
	Shade 35%	533.6	
	Shade 55%	383.3	
Hopum	Natural light	811.2	1,275
	Shade 35%	527.3	
	Shade 55%	365.0	

Table 2. The changes of ripened grain ratio, 1,000 grain weight of brown rice and milled rice yield according to varieties and different shading treatments.

Variety (V)	Shading treatment (T)	Ripened grain ratio (%)	1,000 grain weight of brown rice (g)	Milled rice yield (kg/10a)
Mipum	Natural light	95a	22.4a	428a
	Shade 35%	89ab	22.2ab	370b
	Shade 55%	87b	21.6a	368b
Sindongjin	Natural light	84a	28.0a	587a
	Shade 35%	67ab	26.8b	460b
	Shade 55%	59b	26.4c	398c
Hopum	Natural light	88a	23.6a	555a
	Shade 35%	64b	23.2b	377b
	Shade 55%	57c	22.4c	393b
F-value	V	**	**	**
	T	**	**	**
	V×T	ns	ns	**

Means with the same letter are not significantly different at P< 0.05 (ANOVA followed by DMRT), ^{ns}, * and **: Not significant, significant at the 0.05 and 0.01 probability level, respectively.

순으로 등숙률의 변화가 큰 것으로 나타났다. 신동진과 호 품은 미품에 비해 천립중이 무거운 수중형 품종이다(Kim *et al.*, 2003; Ko *et al.*, 2008; Kim *et al.*, 2012). 차광처리에 의한 일사량 부족시 품종간 등숙률의 차이는 광합성에 의한 동화산물의 공급부위(source)와 이들 동화물질을 축적하는 수용부위(sink) 그리고 동화산물의 이동통로인 전류부위의 상호작용에 의해서 결정되는 것으로 판단된다. 앞으로 일사 량 부족시 내성이 있는 품종 선정을 위해 광합성 관련 형질 의 형태적 특성에 대한 정밀한 검토가 필요할 것으로 판단 된다. 차광정도에 따른 품종별 현미천립중을 살펴보면 미품

은 35% 차광시 22.2 g로 자연광에 비해 0.2 g 감소되었고 55% 차광시 21.6 g으로 0.8 g 감소되었다. 신동진은 35% 차광시 26.8 g으로 자연광에 비해 1.2 g 감소되었고 55% 차 광시 26.4 g으로 1.6 g으로 감소되었다. 호품은 35% 차광시 23.2 g으로 자연광에 비해 0.4 g 감소되었고 55% 차광시 22.4 g으로 1.2 g 감소되었다. 미품에 비해 현미천립중이 큰 신동진 및 호품에서 차광에 의한 감소가 큰 것으로 확인되 었다. 차광정도에 따른 품종별 쌀수량은 자연광에서 미품, 신동진, 호품의 쌀수량이 각각 428, 567, 535 kg/10a로 나 타났다. 차광정도에 따른 품종별 쌀 수량의 변화를 살펴보

면 미품은 35% 차광시 370 kg/10a로 58 kg/10a, 55% 차광시 368 kg/10a로 60 kg/10a 감소되었다. 신동진은 35% 차광시 440 kg/10a로 127 kg/10a, 55% 차광시 398 kg/10a로 179 kg/10a 감소되었다. 호품은 35% 차광시 158 kg/10a, 55% 차광시 393 kg/10a로 142 kg/10a 감소되었다. 벼의 수량은 광합성에 의한 동화산물의 공급부위(source)와 이들 동화물질을 축적하여 수용부위(sink) 그리고 동화산물의 이동통로인 전류부위의 상호작용에 의해서 결정된다. 벼에서 수량증대를 위해서는 source/sink의 비율, sink와 source 관련형질의 활력, 온도와 일사량에 의하여 크게 영향을 받는다(Wardlaw, 1976; Lee *et al.*, 2009a). 본 실험에서는 출수 시부터 60일간 차광처리에 따른 일조부족으로 sink와 source 관련형질의 활력저하에 의해 수량이 감소된 것으로 보인다. 미품이 신동진과 호품에 비해 수량저하가 적은 것은 수당립수와 같은 sink size가 적은 품종(Table 2)이기 때문으로 판단된다. 저일조에도 내성이 있는 품종을 선정하고 개발하기 위해서는 수당립수와 현미천립중 등 sink가 적고 source 관련형질의 활력이 우수한 품종을 선정하는 것이 중요할 것이다.

차광처리에 의한 품종별 이화학적 특성

차광처리에 의한 미품, 호품 및 신동진의 백미 단백질, 아밀로스 함량 및 식미치의 변화를 살펴본 결과는 Table 3과 같다. 대조구에서 미품의 백미 단백질 함량은 5.6%로 신동진 6.0%, 호품 5.8%에 비해 낮게 나타났다. 차광 처리에 의한 단백질 함량은 공시된 3품종에서 높게 증가하는 것으로 나타났으며, 차광 35% 처리보다 차광 55%처리에서 백미 단백질 함량이 높은 경향을 보였다. 미품은 차광 처리시 호품과 신동진에 비해서 단백질 함량의 변화가 적었다. Son 등(2002)에 의하면 쌀 단백질 함량은 품종, 시비, 토양, 물 관리 등에 의해서 차이가 나며 동일 품종에 있어서도 질소 시비량이 증가할수록 현미의 단백질 함량이 증가된다고 한다. 단백질 함량이 많으면 영양학적으로 우수하다고 생각되어지나, 식미의 관점으로 보면 단백질 함량이 높은 쌀은 경도가 높고, 점도가 낮아 식미가 떨어진다고 알려져 있다(Son *et al.*, 2002). 본 실험에서도 차광 처리에 의해 단백질 함량은 높아지고 점도는 낮아지는 경향을 보여 차광 처리에 의해 식미가 떨어지는 것으로 판단된다(Table 3 & 4). 쌀의 아밀로스 함량과 취반성, 취반미의 물성 등의 관계에 대한 많은 연구가 보고되고 있는데, 아밀로스 함량이 높으면 취반 시 흡수량이 많고 점도가 낮아지며 경도가 높은 밥이 된다. 반대로 아밀로스 함량이 낮으면 밥의 체적증가가 낮고, 부드럽고 점도가 있는 밥이 된다고 한다(Juliano, 1985). 본

시험에서는 품종간 아밀로스 함량의 차이는 나타났으나 차광 처리에 의한 아밀로스 함량의 차이는 나타나지 않았다. 밥의 윤기를 측정하는 식미치는 자연광에서 미품이 88.3, 신동진이 72.1, 호품이 73.4로 미품이 신동진, 호품에 비해 높게 나타났다. 차광처리에 의한 식미치의 변화를 살펴보면 미품, 신동진, 호품 모두에서 차광처리에 의해 식미치가 낮아졌는데 특히 미품이 신동진, 호품보다 변화가 적었다. 백미 단백질 함량, 식미치를 고려해 볼 때 미품이 신동진과 호품에 비해 차광처리에 의해 이화학적 특성 변화가 적은 품종으로 나타났다. 앞으로 기후변화 등 등숙기 일조저하 시 밥맛에 영향을 미치는 이화학적 특성 변화가 적은 품종 선발 및 육종이 중요할 것으로 판단된다.

차광처리에 의한 품종별 호화특성

차광처리 후 수확된 품종별 밥의 호화특성을 신속점도측정계(RVA)를 사용하여 최고점도(peak viscosity), 최저점도(trough viscosity), 강하점도(breakdown viscosity), 최종점도(final viscosity), 치반점도(setback viscosity) 및 호화온도(pasting temperature)를 측정한 결과는 Table 4와 같이 품종과 처리에 따라 호화 양상에 차이가 있었다. 쌀 전분의 호화특성시험은 물에 현탁되어진 쌀가루 또는 쌀 전분을 일정 속도 교반하면서 가열에 의한 팽윤호화 과정 및 냉각에 의한 호화액의 노화 과정에 있어서 점도 변화를 연속적으로 측정하는 방법에 의해 쌀가루의 호화특성을 평가한다. 자연광의 미품, 호품, 신동진의 호화온도는 각각 81.8, 76.9 및 81.5°C으로 품종 간 차이가 있었고, 자연광에 비해 35, 55% 차광처리에 의해 호화온도가 높아지는 경향을 보였다. 신동진은 차광처리에 의해 다른 품종에 비하여 호화온도가 높게 올라가는 것을 볼 수 있었고, 호화시간은 미품과 호품보다 낮은 경향을 보였다(Table 4). 자연광에 비해 차광처리 후 생산된 쌀가루의 호화온도가 높아져 가열시 팽윤이 지연되어 식미 불량률의 원인이 되는 것으로 추정되며, 취반과정에 고온이 요구되는 것으로 판단되었다. 최고점도, 최저점도 및 최종점도는 자연광에 비해 차광처리 후 감소하였고, 차광정도가 클수록 감소하는 경향이 뚜렷하게 나타났다. 호화 특성 중 최고점도, 강하점도 등은 식미와 높은 관련성이 있다고 보고되고 있다(Son *et al.*, 2002). 호화 최고점도가 높고 강하점도(호화전분립이 파괴되기 쉬운 것)가 큰 쌀이 대체로 밥맛이 좋은 쌀로 보고되어 있다. 본 실험에서 차광처리에 의해 생산된 쌀가루의 최고점도가 낮고 강하점도가 낮아지는 것으로 보아 일사량 부족에 의해 밥맛이 떨어지는 것으로 판단된다. 전분의 노화경향을 반영하는 치반점도(setback viscosity)는 값이 클수록 노화가 빠르게 진행되는

것으로 알려져 있다(Chun *et al.*, 2005; Kim *et al.*, 2012; Lee *et al.*, 2009b). 본 시험에서도 자연광에 비해 차광처리 후 치반점도가 높아지는 경향으로 볼 때 전분의 노화가 빨라 밥맛에 불리한 영향을 미치는 것으로 판단된다. 밥의 취반특성은 품종 및 재배환경에 따라 차이가 큰 것으로 알려져 있는 것(Kim *et al.*, 1994; Choi *et al.*, 2011)으로 볼 때

일사량 부족은 식미에 영향이 크다고 볼 수 있다. 앞으로 일사량이 부족한 환경에서도 안정적인 식미를 보이는 품종개발을 위해 그동안 개발된 품종 및 유전자원을 대상으로 일사량 부족에 대한 정밀한 검토가 반드시 필요하다. 중국에서는 일조부족에 내성을 보이는 품종 육성을 위하여 특성검정기술을 개발하여 품종을 선정하고 이를 이용하여 품종을

Table 3. The changes of the milled rice protein, amylose, and palatability value by rice taster according to varieties and different shading treatments.

Variety (V)	Shading treatment (T)	Milled rice protein (%)	Amylose (%)	Palatability
Mipum	Natural light	5.6c	19.3	88.3
	Shade 35%	6.1b	19.2	87.1
	Shade55%	6.3a	19.2	87.6
Sindongjin	Natural light	6.0c	17.8a	72.1a
	Shade 35%	7.2b	17.2a	64.8b
	Shade 55%	7.5a	16.5b	64.1b
Hopum	Natural light	5.8c	16.4	73.4a
	Shade 35%	7.1b	16.0	66.3b
	Shade 55%	7.7a	16.3	64.4c
F-value	V	**	**	**
	T	**	ns	**
	V×T	**	ns	ns

Means with the same letter are not significantly different at P< 0.05 (ANOVA followed by DMRT), ^{ns}, * and **: Not significant, significant at the 0.05 and 0.01 probability level, respectively.

Table 4. The changes of pasting temperature and viscosity according to varieties and different shading treatments.

Variety (V)	Shading treatment (T)	Pasting Temp. (°C)	Peak viscosity (RVU ¹⁾)	Trough viscosity (RVU)	Final viscosity (RVU)	Break down ²⁾ (RVU)	Setback ³⁾ (RVU)
Mipum	Natural light	81.8b	199.8a	142.6a	241.1a	57.2a	41.3a
	Shade 35%	83.6a	184.0b	134.2b	227.7b	49.8b	43.7ab
	Shade 55%	82.7a	176.2c	124.8c	220.6c	51.4b	44.4b
Sindongjin	Natural light	76.9b	206.2a	121.6a	215.0a	84.5a	8.81b
	Shade 35%	81.4a	188.7b	117.6ab	205.8b	71.1b	17.12a
	Shade 55%	81.6a	185.4b	113.1b	200.6b	72.2b	15.21a
Hopum	Natural light	81.5c	219.7a	140.6a	232.9a	79.1a	13.1b
	Shade 35%	83.4a	182.6b	117.9b	202.5b	64.7b	19.9a
	Shade 55%	82.8b	175.4b	110.9b	193.2b	64.5b	17.8ab
F-value	V	*	*	**	**	**	**
	T	*	**	**	**	**	ns
	V×T	ns	**	ns	ns	ns	ns

¹⁾Rapid Visco Units, ²⁾Peak viscosity minus trough viscosity, ³⁾Final viscosity minus peak viscosity. Means with the same letter are not significantly different at P< 0.05 (ANOVA followed by DMRT). ^{ns}, * and **: Not significant, significant at the 0.05 and 0.01 probability level, respectively.

육성하고 있다(Jiao & Li, 2004). 최근 우리나라에서도 등숙기 일조저하로 인해 수량 및 품질에 많은 영향을 미치는 것으로 밝혀진 바 이에 대한 연구가 앞으로 진행되어야 할 것이다.

적 요

등숙기 일조부족이 수량 및 수량구성형질, 쌀의 이화학적 특성 및 식미치에 미치는 영향을 분석하고자 자연광을 대비하여 35%, 55% 차광 처리한 결과는 다음과 같다.

1. 등숙기 차광처리에 의해 미품, 호품, 신동진의 등숙률, 현미천립중, 쌀 수량은 감소하였고 차광정도가 클수록 높은 감소율을 보였다.
2. 차광처리시 백미 단백질 함량은 증가하였고 35% 차광보다 55% 차광에서 높았으며, 미품이 호품과 신동진에 비해 단백질 함량의 변화가 적었다.
3. 차광처리시 아밀로스 함량 변화는 없었으나 식미치는 차광정도가 높을수록 감소하였고 미품이 신동진과 호품에 비해 변화가 적었다.
4. 차광에 의해 최고점도, 최저점도, 최종점도 및 강화점도는 낮아지고 호화온도와 치반점도는 높았다.

사 사

본 논문은 농촌진흥청 기관연구사업(과제번호: PJ906931)의 지원에 의해 수행된 결과입니다.

인용문헌(REFERENCES)

Biswas, P. K. and V. Salokhe. 2002. Effect of N rates, shading, tiller separation, and plant density on the yield of transplanted rice. *Tropical Agric.* 79(3) : 168-172.

Chun, A. R., J. Song, H. C. Hong, and J. R. Son. 2005. Improvement of cooking properties by milling and blending in rice cultivar Goami2. *Korean J. Crop Sci.* 50 : 88-93.

Choi, K. J., T. S. Park, C. K. Lee, J. H. Kim, K. H. Ha, W. H. 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, Ji Eun 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.

Evan, L. T. and S. K. De Datta. 1979. The relationship between irradiance and grain yield of irrigated rice in the tropics, as influenced by cultivar, nitrogen fertilizer application and month of planting. *Field Crops Res.* 2 : 1-17.

Gibson, K. D., A. J. Fischer, and T. C. Foin. 2004. Compensatory responses of late watergrass (*Echinochloa phyllopogon*) and rice to resource limitations. *Weed Sci.* 52(2) : 271-280.

Heo, I. H. and S. H. Lee. 2006. Changes of unusual temperature events and their controlling factors in Korea. *Korean J. Geographical Sci.* 41(1) : 94-105.

Jiao, D. M. 1992. Mass screening for rice germplasms tolerant to photoinhibition. *Photosynthetica* 26 : 399-404.

Jiao, D. and X. Li. 2004. Cultivar differences in photosynthetic tolerance to photooxidation and shading in rice (*Oryza sativa* L.). *Photosynthetica.* 39(2) : 167-175.

Jiao, D. M., B. H. Ji, J. M. Yan, X. Li, L. G. Gao, and Z. Q. Jin. 1996. The varietal difference of rice (*Oryza sativa*) and their reciprocal F1 hybrids. *Aust. J. Plant Physiol.* 28 : 299-306.

Juliano, B. O. 1985. Criteria and tests for quality. in *Rice : Chemistry and Technology.* AACC. 443-524.

Kim, B. C., H. T. Shin, J. K. Lee, J. K. Ko, B. G. Yang, T. H. Noh, Y. H. Oh, S. Y. Lee, K. Y. Ha, J. S. Kim, J. K. Nam, H. J. Kang, J. C. Ko, S. Y. Cho, and S. D. Kim. 2003. A new high-yielding and good-quality rice cultivar "Sindongjinbyeo." *Korean J. Breed.* 35(4) : 255-256.

Kim, C. E., M. Y. Kang, and M. H. Kim. 2012. Comparison of properties affecting the palatability of 33 commercial brands of rice. *Korean J. Crop Sci.* 57(3) : 301-309.

Kim, K. H. and K. H. Yoon. 1994. Varietal variation of cooking quality and interrelationship between cooking and physicochemical properties of rice grain. *Korean J. Crop Sci.* 39(1) : 45-54.

Kim, K. S., S. K. Kim, B. L. Huh, and K. M. Yoon. 1991. Effects of shading at heading stage on yield components of rice. *Korean J. Crop Sci.* 36(2) : 127-133.

Kim, K. Y., W. C. Shin, M. S. Shin, J. K. Ko, B. K. Kim, J. K. Nam, K. H. Ha, M. G. Baek, J. C. Ko, H. S. Park, H. J. Kang, W. J. Kim, and Y. J. Mo. 2012. A New mid-late maturing, lodging tolerant and good-quality rice variety 'Mipum'. *Kor. J. Breed. Sci.* 44(3) : 363-368.

Ko, J. C., B. K. Kim, J. K. Nam, M. G. Baek, K. Y. Ha, K. Y. Kim, J. Y. Son, J. K. Lee, J. I. Choung, J. K. Ko, M. S. Shin, Y. D. Kim, Y. J. Mo, K. H. Kim, and C. K. Kim. 2008. A medium-late maturing new rice cultivars with high grain quality, multi-disease resistance, adaptability to direct seeding and transplanting cultivation, "Hopum". *Korean J. Breed. Sci.* 40(4) : 533-536.

Lee, C. K., Y. U. Kwon, J. E. Lee, J. H. Seo, J. C. Shin, and B. W. Lee. 2009a. Effect of sink and source related characteristics on grain weight and grain nitrogen content in rice. *Korean J. Crop Sci.* 54(1) : 45-54.

- Lee, J. S., K. S. Woo, A. R. Chun, J. Y. Na, and K. J. Kim. 2009b. Waxy rice variety-dependent variations in physicochemical characteristics of sogokju, a Korean traditional rice wine. *Korean J. Crop Sci.* 54 : 172-180.
- Makino, A., T. Sato, H. Nakano, and T. Mae. 1997. Leaf photosynthesis and nitrogen allocation in rice under different irradiance. *Planta.* 2003(3) : 390-398.
- Nakano, H. 2000. Effect of early stage shading of directed-seeded rice on growth and yield components. *Jpn. J. Crop Sci.* 69(2) : 182-188.
- Peng, S., J. E. Sheehy, R. C. Laza, R. M. Visperas, X. Zhong, G. S. Centeno, G. S. Khush, and K. G. Cassman. 2004. Rice yield decline with higher night temperature from global warming. *PNAS.* 101(27) : 9971-9975.
- Samarajeewa, K. B. D. P., N. Kojima, J. Sakagami, and W. A. Chandanie. 2005. The effect of different timing of top dressing of nitrogen application under low light intensity on the yield of rice (*Oryza sativa* L.). *J. Agron. Crop Sci.* 191(2) : 99-105.
- 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(S) : 33-54.
- Wardlaw, I. F. 1976. Assimilate partitioning cause and effect. in "Transport and transfer process in plants". Edited by I.F. Wardlaw and J. B. Passioura. Academic Press, New York : 381-391.
- Yang, W. H., S. Peng, and M. L. Dionsio-Sese. 2007. Morphological and photosynthetic responses of rice to low radiation. *Korean J. Crop Sci.* 52(1) : 1-11.
- Yao, Y., Y. Yamamoto, T. Yoshida, Y. Nitta, and A. Miyazaki. 2000. Response of differentiated and degenerated spikelets to top-dressing, shading and day/night temperature treatments in rice cultivars with large panicles. *Soil Sci. Plant Nutr.* 46(3) : 631-641.