

등숙기의 차광 처리에 의한 광합성능 및 쌀 수량 변화

이민희* · 강신구 · 상완규 · 구분일 · 김영두 · 박홍규 · 이점호

국립식량원 벼백류부

Change of photosynthetic efficiency and yield by low light intensity on ripening stage in japonica rice

Min Hee Lee*, Shin-Gu Kang, Wan-Gyu Sang, Bon-Il Ku, Young-Doo Kim, Hong-Kyu Park, Jeom-Ho Lee

Department of Rice and Cereal Crop, NICS, RDA, Iksan 570-080, Republic of Korea

Received on 13 October 2014, revised on 6 November 2014, accepted on 15 December 2014

Abstract : Light intensity is one of the most important requirements for plant growth, affecting growth, development, survival, and crop productivity. Sunlight is the main energy source on Earth which is energy used by photosynthesis to convert light energy to chemical energy. In this study, the light use efficiency and photosynthetic characteristics of high-quality rice cultivars were evaluated after shading on ripening stage. For the study, we treated of three levels of shade (0, 50 and 70%) on rice at ripening stage and two levels of nitrogen (9 and 18 kg/10a) used three high yielding rice cultivars, such as Boramchan, Hopum, and Honong. The shade was given for the respective plots from heading up to harvesting. We were performed to determine growth survey, SPAD and chlorophyll fluorescence every 10 days interval after shading on ripening stage. At harvest stage, grain yield and yield components were determined. Results of analysis of the results representing the maximum photosynthetic efficiency of PSII, Fv/Fm, and SPAD were decreased by depending on the time at full sunlight. But shade treatments were not changed and a significant difference among cultivars did not appear. Compared with the full sunlight, shade treatments significantly delayed ripening rate and decreased rice quality of cultivated rice. Therefore, rice yield, can be reduced in proportion to the shading density is apparent, the rate of decrease was not observed difference between varieties, when protected from light 70%, and decreased to less than 50%. The adverse effects of low light intensity on the yield and yield components were not able to significantly minimize by the nitrogen level.

Key words : Rice, Low light intensity, Yield, Fv/Fm, Ripening stage

I. 서론

벼의 수량은 일차적으로 출수기 이전에 형성되는 단위면적당 영화수에 의해 결정되며, 이차적으로는 출수기 전후의 광합성량과 동화 산물의 공급 부위(source)와 이들 동화 산물을 축적하는 수용부위(sink) 그리고 동화산물의 이동통로인 전류부위의 상호작용에 의해서 결정된다. 특히, 식물의 생육과 발달은 다양한 환경 요인에 의해 영향을 받는데 그 중 광은 크게 식물의 광합성과 형태발생에 관여하는 필수적인 요소 중 하나로서 작물의 수량에 결정적인 영

향을 미친다(Peng et al., 2004; Evan and Datta, 1979; Islam and Morison, 1992; Dobermann et al., 2000).

일조가 부족한 조건에서는 잎에 더 많은 건물이 배분되며(Gibson et al., 2004), 엽신 중에 엽록소의 축적이 촉진된다(Makino et al., 1997; Viji et al., 1997). 일사량과 등숙과의 관계는 실험조건 충족이 어려워 온도와 같은 다른 기상조건에 비해 많은 연구가 이루어지지 못하였는데, 자연 조건하에서 일사량은 광합성의 제한인자로 작용하며, 그 영향 정도는 재식밀도와 엽면적지수에 따라 크게 차이가 있다고 한다.

Matsushima(1957)는 차광시험을 통하여 감수분열기의 약광은 퇴화영화수를 증가시키며 출수 후의 등숙을 저하시

*Corresponding author: Tel: +82-840-2147

E-mail address: minheeya@korea.kr

킨다고 하였으며, 강광 하에서는 질소시비량이 많으면 수량을 증가시키지만 약광 하에서는 오히려 불임률이 증가하여 수량이 감소한다고 하였다. Samarajeewa 등이 2005년에 발표한 연구 결과에 의하면 차광량 45% 정도 까지는 심각한 수확량 변화가 나타나지 않았으나, 차광량 70%에서는 수확량 감소가 확연히 나타나는 것을 확인할 수 있는데 이는 등숙률의 감소가 가장 크게 관여하는 것을 확인할 수 있었다.

질소 시비량, 분시 방법 및 생식생장기의 차광 처리가 단위 면적당 영화수 형성에 미치는 영향을 검토한 결과 시비량에 따라서는 증가하는 추세를 보였으나 분시 방법 간에는 차이가 없었다(Park et al., 2002). 최근 구조물 등에 의해 일조부족이 많이 일어나는데 많은 경우 질소 시비량을 증가시키는 방법을 이용하여 수량을 확보하는 농가가 늘어나고 있다. 본 연구에서는 최근 육성된 고품질 품종인 호품, 호농 및 보람찬을 이용하여 등숙기 질소 시비량 및 일조 부족이 수확량에 미치는 영향을 알아보고자 하였다.

II. 재료 및 방법

본 실험은 국립식량과학원 벼백류부 시험포장에서 2013년 호품, 호농, 보람찬을 5월 7일 파종하여 6월 5일에 재식거리 30×15 cm로 3본씩 난괴법 3반복으로 이앙하였다. 질소 시비량은 표준 시비량인 9 kg과 다비량인 18 kg으로 처리하였다. 시비방법 및 기타 비배관리는 농진청 벼 표준재배법에 준하였다. 차광처리는 출수 시(8월 16일)부터 50일동안 자연광을 대비하여 50%, 70% 차광망을 설치하여 유도하였다.

각 품종의 기본 생육 특성을 알아보기 위해 최고 분얼기, 출수기, 및 성숙기에 초장, 경수, 엽색, 엽면적, 간장, 수장 등과 수량 구성 요소인 수당립수, 등숙률, 정현비율, 현미천립중 및 백미수량은 농촌진흥청 조사기준에 따라 조사하였다. 출수 후 60일에 각각의 품종을 수확한 후 정소 수분이 15-16% 정도가 되도록 통풍 건조 후 현미기(SYTH-88, 쌍용)를 이용하여 제현을 하였고, 백미기(Satake; THV, Yamamoto, Japan)를 이용하여 10분도로 도정하여 시료로 사용하였다. 현미 및 쌀의 품위는 RN-300 (Kett, Japen)을 이용하여 완전립과 불완전립을 싸라기, 분상질립, 피해립 및 기타로 구분하였다.

출수기에 차광망을 설치한 후 10일 간격으로 광합성능

을 분석하기 위해 Fim-1500 (ADC, UK)를 이용하여 측정 전 15분간 암적응 후 엽록소 형광 분석을 실시하였고 이와 함께 등숙기간 중 잎의 노화 정도를 측정하기 위해 엽록도 값을 엽록소계(SPAD-502plus, Minolta, US)를 이용하여 측정하였다. 엽록소 형광 분석과 엽록도 측정은 각 품종별로 생엽의 중간 부위에서 측정하였으며, 각 시기별로 3주씩 채취하여 1주당 5 반복으로 측정하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 차광처리에 의한 광합성능과 잎의 노화

엽록소 형광 분석은 광합성 기구의 구성 요소에 대한 연구뿐만 아니라 환경의 변화에 따른 광합성 및 광합성 기구의 변화를 연구할 수 있는 방법으로 많이 알려져 있다. 본 연구에서는 차광처리에 의한 광합성 기구의 변화를 알아보기 위해 10일 간격으로 엽록소 형광을 측정하였으며, 이와 함께 엽록소의 변화를 SPAD를 이용하여 측정하였다.

엽록소 형광과 광화학 반응의 관계에 대해서는 Duysens와 Sweets(1963)가 처음 설명하였는데 일반적으로 광합성과 열로 방출되는 양이 가장 적을 때 형광이 가장 강하므로 형광의 변화는 광합성 효율과 열 방출의 변화를 반영한다. 잎을 어두운 곳에 수분 정도 두어 암적응을 시키면 전자 전달과정의 전자운반체들이 산화된 상태가 되는데 이때 광에 노출시키면 형광이 유도되는 것이다. 엽록소에서 방출되는 형광은 광합성 초기 광화학 반응에 사용되지 못한 빛 에너지의 일부가 다시 빛으로 방출되는 것으로, 이와 같이 버려지는 에너지로서 형광은 식물에게는 쓸모가 없으나 광화학 반응이 감소하면 형광이 증가하며 반대의 경우에는 증가하는 상보적인 양상을 보임으로써, 엽록소 형광 측정 및 분석을 통해 광합성 기구의 구조 및 기능의 변화를 민감하게 알 수 있게 된다. 암 적응된 잎의 Fv/Fm 값은 식물 잎이 광합성을 수행할 수 있는 최대값 즉, 잠재력을 의미하며, Fv/Fm은 대부분의 식물에서 건강한 잎의 경우 보통 0.83정도의 값을 가진다(Björkman and Demmig, 1987; Johnson et al., 1993). 등숙기간 동안 공시 재료로 사용된 3품종의 엽록소 형광을 차광 처리 후 10일 간격으로 측정한 결과 50일이 될 때까지 차광률 50%와 70% 모두 Fv/Fm 값이 0.8이상을 유지하며 유의적인 감소가 나타나지 않았다(Fig. 1). 이러한 결과는 Yang et al.(2007)이 발표한 낮

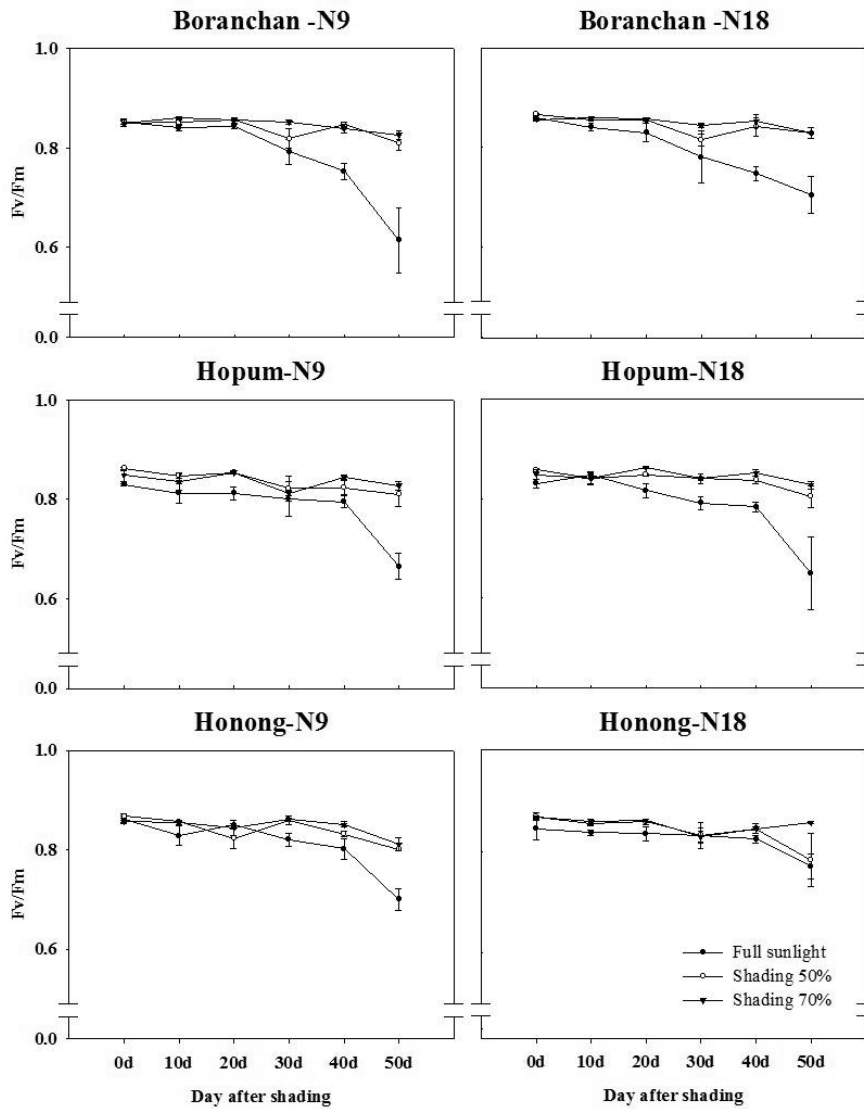


Fig. 1. Change of maximum photosynthetic efficiency of PSII, Fv/Fm after shading in variable N level. Each value represents the mean of three replications and error bars indicate \pm S.E.

은 일사량 조건에서 생육한 벼가 잠재 광합성 능력을 상실하지 않는다는 결과와 비슷하였다. 하지만 자연광에서 자란 경우 30일을 기점으로 감소하기 시작하여 50일에는 질소 18 kg을 처리한 호농을 제외한 대부분 시료구에서 0.7이하의 값을 나타냈다. 특이점은 보람찬과 호농의 경우 질소 시비량을 증가 시켰을 때 보람찬은 50일 기준으로 9 kg 처리시 0.614, 18 kg 처리시 0.705, 호농은 9 kg 처리시 0.700, 18 kg 처리시 0.775로 엽록소 형광 값이 18 kg 처리구에서 더 높게 나타났으나, 호품은 9 kg 처리시 0.665, 18 kg 처리시 0.649로 더 낮게 나타나는 현상을 보였다.

일반적으로 식물이 스트레스를 받을 때 F_0 값은 증가하고, F_m 값은 감소하는 것으로 알려져 있는데 이들 두 값은

엽록소의 함량과 잎의 두께나 나이에 따라 값에 차이가 있어 두 값의 비, 즉 F_m/F_0 를 스트레스 지표로 사용한다. 차광처리에 따른 F_m/F_0 값의 변화를 확인한 결과 각 품종별로 감소폭은 달랐으나 시간이 지남에 따라 감소하는 패턴을 보였다(Fig. 2). 이러한 결과는 차광에 의한 일조부족 스트레스에 의한 영향보다 잎이 노화됨에 따른 엽록소 함량의 감소에 의한 것으로 보인다.

SPAD값은 엽록소 함량 및 질소 함량과 높은 정의 상관을 보이며, 특히 엽록소a의 함량과 SPAD값은 품종과 시기에 관계없이 같은 직선관계를 나타내어 엽록소a 함량의 간접측정 방법으로 이용될 수 있어 잎 노화의 간접적인 지표로 이용될 수 있다(Kim et al., 2002). 따라서 본 연구에서

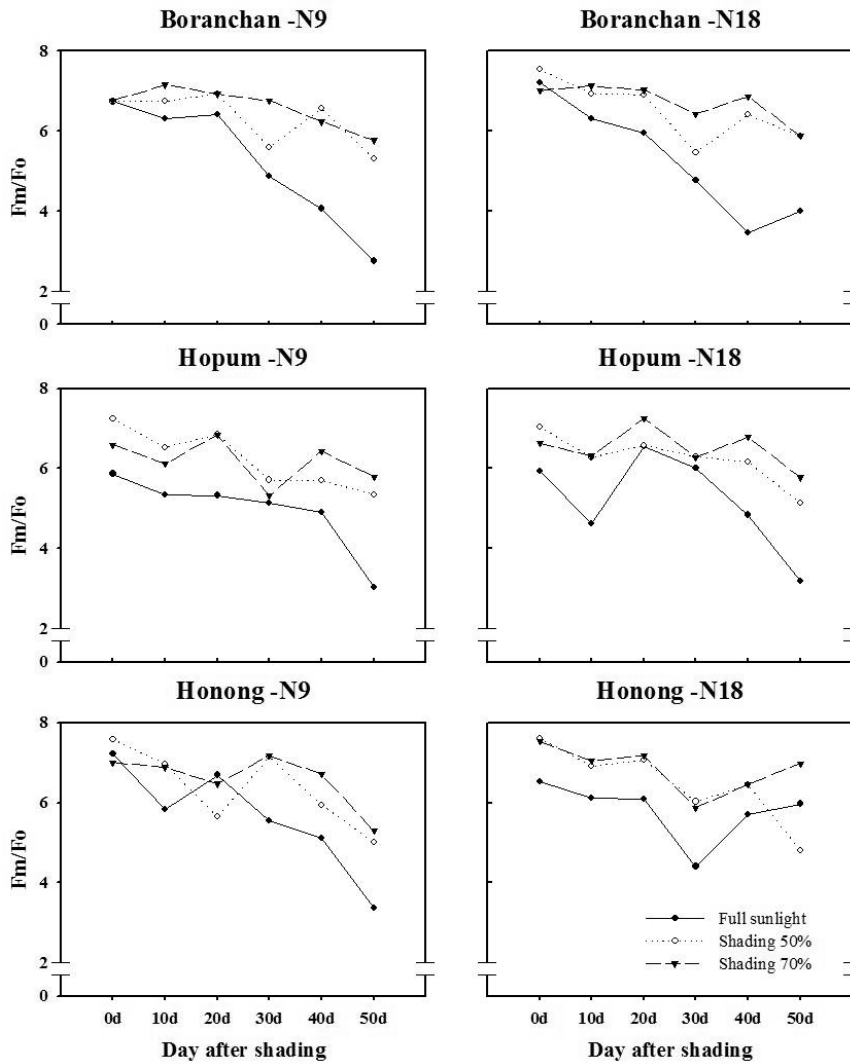


Fig. 2. Change of the ratio of maximal per minimal fluorescence, Fm/Fo ratio after shading in variable N level.

는 등숙기간 중 잎의 노화 정도를 측정하기 위해 SPAD 값을 측정하였는데, 차광 70% 처리구에서는 50일이 지난 시점까지 그 감소율이 20% 미만으로 나타났다(Fig. 3). 세 품종 중 가장 적게 감소한 품종은 호농으로 9 kg, 18 kg에서 5%와 4%로 차광에 의해 노화가 많이 지연되었음을 알 수 있었다.

2. 차광처리에 의한 쌀 수량 및 품질 변화

현미 천립중을 변화를 살펴보면 다른 품종들에 비해 보람찬이 차광에 의한 감소가 크게 나타났는데, 표준시비량인 9 kg에서는 50% 차광 시 21.3 g로 자연광에 비해 1.6 g 감소되었고 70% 차광 시 19.1 g으로 3.8 g 감소되었고, 18 kg에서는 50% 차광 시 21.5 g으로 자연광에 비해 2.1

g 감소되었고 70% 차광 시 19.3 g으로 4.3 g 감소되었다(Table 1). 다른 두 품종인 호품과 호농은 9 kg일 때 50% 차광 시 자연광에 비해 0.9, 0.7 g 감소되었고 70% 차광 시 1.9, 1.2 g 감소되었고, 18 kg 처리시에는 50% 차광 시 자연광에 비해 1.3, 0.8 g 감소되었고 70% 차광 시 2.6, 1.5 g 감소되었다. 차광처리에 의한 일조부족 시 현미 천립중은 보람찬>호품>호농 순으로 변화가 큰 것으로 나타났다. 하지만 쌀 수량의 감소율은 품종간의 차이는 나타나지 않았으며, 50% 차광 시 자연광에 비해 약 80%정도 감소하였으나, 70% 차광 시 50%나 감소하는 것으로 나타났다. 또한 자연광에서 질소 시비량 증대에 따른 현미 천립중과 쌀 수량의 변화는 보람찬이 가장 크게 나타났다. 벼의 수량은 광합성에 의한 동화 산물의 공급부위(source)와 이들 동화물질을 축적하여 수용부위(sink) 그리고 동화 산물의

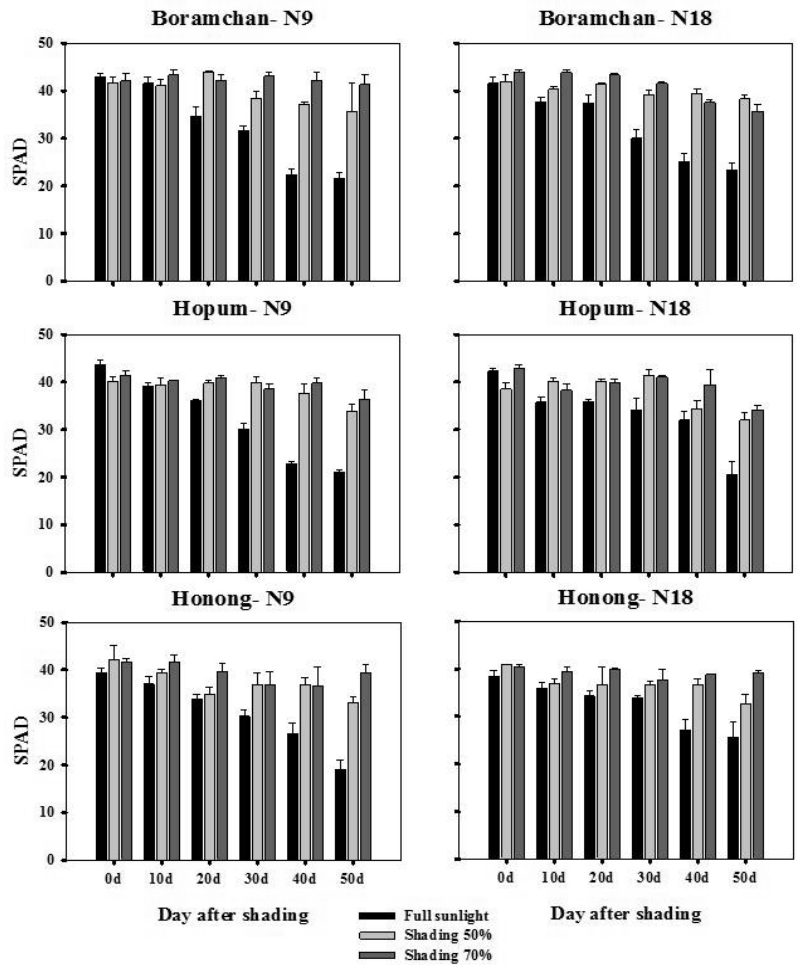


Fig. 3. Changes in the contents of Chlorophyll in the flag leaves after shading in variable N level. Each value represents the mean of three replications and vertical bars indicate \pm S.E.

이동통로인 전류부위의 상호작용에 의해서 결정되는데 이는 온도와 일사량에 의하여 크게 영향을 받는 것으로 알려져 있다(Wardlaw, 1976; Lee et al., 2009). 본 실험에서는 출수 시부터 50일간 차광처리를 함으로써 등숙기 일조부족으로 sink와 source 관련형질의 활력저하에 의해 수량이 감소된 것으로 보인다.

차광에 의한 백미의 단백질 함량 변화를 살펴본 결과 보람찬, 호품 및 호농 모두 차광률이 높을수록 증가하는 경향을 보였다(Table 1). 자연광에서 질소시비량의 증가에 따른 단백질 함량의 증가치가 다른 품종에 비해 호농이 높게 증가하는 경향이 나타났는데 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 관점

으로 보면 단백질 함량이 높은 쌀은 경도가 높고, 점도가 낮아 식미가 떨어진다고 알려져 있다.

차광 처리 후 식미 관련 형질인 아밀로스 함량의 변화를 확정한 결과 호농을 제외한 보람찬과 호품의 경우 70% 차광 시 유의적인 감소가 나타났다. Juliano(1985)에 의하면 아밀로스 함량이 높으면 취반 시 흡수량이 많고 점도가 낮아지며 경도가 높은 밥이 되고, 반대로 아밀로스 함량이 낮으면 밥의 체적증가가 낮고, 부드럽고 점도가 있는 밥이 된다고 한다.

차광처리에 의한 보람찬, 호품 및 호농의 쌀 품질 변화는 Table 2와 같다. 쌀 품질 변화는 완전립과 불완전립 비율을 통해 확인하였고, 불완전립은 싸라기, 분상질립, 피해립 및 기타로 나눠 측정하였다. 차광 처리에 의해 완전립 비율은 보람찬, 호품 및 호농 모두 감소하는 추세를 나타냈으며, 특히 70% 차광시 호농을 제외한 두 품종의 완전립 비율이

Table 1. The changes 1,000 grain weight of brown rice, milled rice yield, protein, and amylose after shading at heading stage in variable N level.

Variety	N fertilizer (kg/10a)	Shading (%)	1,000	Milled rice yield	Protein	Amylose
			grain weight (g)	(kg/10a)	content (%)	(%)
Boramchan	9	0	22.9a	570.8a	5.4a	17.7a
		50	21.3b	494.9b	6.6b	17.6a
		70	19.1c	264.6c	8.8c	15.9b
	18	0	23.6a	679.0a	5.6a	17.7a
		50	21.5b	519.9b	6.9b	17.4a
		70	19.3c	300.5c	8.9c	15.7b
Hopum	9	0	23.0a	547.9a	5.6a	17.5a
		50	22.1b	463.5b	6.8b	16.9b
		70	21.1c	309.1c	8.7c	15.0c
	18	0	23.6a	611.5a	5.8a	17.3a
		50	22.3b	482.8b	7.0b	16.8b
		70	21.0c	281.1c	9.0c	14.9c
Honong	9	0	23.2a	519.7a	5.8a	18.2a
		50	22.5b	454.5b	6.9b	17.8ab
		70	22.0b	261.6c	8.5c	17.7b
	18	0	23.3a	575.4a	6.5a	17.9
		50	22.5b	440.0b	7.8b	18.0
		70	21.8c	233.8c	8.2b	17.8

Table 2. The changes rice quality after shading at heading stage in variable N level.

Variety	N fertilizer (kg/10a)	Shading (%)	Perfect grain (%)	Imperfect grain (%)			
				Broken rice	Milky white	Damaged grain	The others
Boramchan	9	0	96.0 a	0.7	0.5	0.7	2.1
		50	83.8 b	2.4	8.1	0.8	4.9
		70	65.5 c	2.4	28.0	0.6	3.5
	18	0	95.5 a	1.4	1.8	0.3	1.1
		50	82.5 b	1.4	12.5	0.3	3.3
		70	70.7 c	1.8	22.6	0.4	4.5
Hopum	9	0	89.1 a	6.1	3.1	0.6	1.2
		50	88.7 a	1.5	5.2	0.9	3.8
		70	69.5 b	4.5	23.9	0.5	1.6
	18	0	93.7 a	0.6	0.3	1.0	4.4
		50	78.7 b	5.3	14.4	0.5	1.2
		70	64.8 c	5.0	28.1	0.5	1.7
Honong	9	0	96.7 a	1.5	1.0	0.2	0.6
		50	89.8 b	2.8	5.5	0.4	1.5
		70	85.8 b	3.8	9.0	0.3	1.0
	18	0	95.8 a	0.8	1.0	0.5	1.9
		50	89.6 b	3.3	5.8	0.3	1.0
		70	84.2 c	3.5	10.7	0.1	1.5

70%이하로 감소하는데 분상질립의 두드러진 증가에 의한 현상으로 보인다.

IV. 적 요

최근 육성된 고품질 벼 품종인 보람찬, 호품 및 호농을 공시하여 질소 시비량(9, 18 kg/10a) 및 출수 직후 차광 처리(50, 70%)에 의한 등숙기 일조부족이 광합성 특성 변화와 수량 및 수량구성형질 등에 미치는 영향을 검토한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 등숙기 차광처리에 의해 Fv/Fm 및 SPAD값은 차광률이 높을수록 그 감소율이 적었으며, 질소 시비량을 증가에 따른 유의적인 변화는 없었다. 다른 품종과 달리 호농의 경우 18 kg 처리시 자연광에서 자란 시료에서도 감소율이 완만하게 나타났다.
2. 등숙기 차광처리에 의해 천립중과 수량은 차광에 따라 감소하였고, 차광률에 따라 더 높은 감소율을 보였다. 천립중은 세 품종 중 보람찬이 가장 많이 감소하는 경향을 보였다. 차광 70% 처리시 질소 시비량의 증수에 따라서 감소율이 더 급격히 나타나 등숙기 일조부족에 질소질 비료의 추가사용은 비효율적임을 알 수 있었다.
3. 등숙기 차광처리시 백미 단백질 함량은 증가하였고 50% 차광 보다 70% 차광에서 높았으며, 호농이 보람찬과 호품에 비해 단백질 함량의 변화가 적었다.
4. 등숙기 차광처리시 아밀로스 함량 변화는 감소하는 경향을 보였으며, 호농이 보람찬과 호품에 비해 변화가 적었다.
5. 등숙기 차광처리에 따른 쌀의 품위 분석 결과 보람찬과 호품은 차광에 의해 완전립 비율이 차광율 70%일 때 64.8-70.9%로 크게 감소하였는데 이는 분상질립의 증가로 인한 것으로 판단된다.

감사의 글

본 성과물은 농촌진흥청 연구사업(세부과제명: 고품질 벼 품종의 광 이용 및 건물생산 특성 연구, 세부과제번호: PJ00875402)의 지원에 의해 이루어진 것입니다.

참 고 문 헌

- Björkman O, Demmig B. 1987. Photon yield of O₂ evolution and chlorophyll fluorescence characteristics at 77 K among vascular plants of diverse origins. *Planta* 170(4):489-504.
- Dobermann A, Dawe D, Roetter RP, Cassman KG. 2000. Reversal of rice yield decline in a long-term continuous cropping experiment. *Agronomy Journal* 92(4):633-643.
- Duysens LN, Sweers HE. 1963. Mechanisms of two photochemical reactions in algae as studied by means of fluorescence. In: Ashida J (ed) *Studies of Microalgae and Photosynthetic Bacteria*. Special issue of *Plant Cell Physiol*, pp 353-372. Tokyo: University of Tokyo Press Eds.
- Evan LT, De Datta SK. 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 Research* 2:1-17.
- Gibson KD, Fischer AJ, Foin TC. 2004. Compensatory responses of late watergrass (*Echinochloa phyllopogon*) and rice to resource limitations. *Weed Science* 52(2):271-280
- Islam MS, Morison JIL. 1992. Influence of solar-radiation and temperature on irrigated rice grain-yield in Bangladesh. *Field Crops Research* 30(1-2):13-28.
- Johnson GN, Young AJ, Scholes JD, Horton P. 1993. The dissipation of excess excitation energy in British plant species. *Plant Cell and Environment* 16(6):673-379.
- Juliano BO. 1985. Criteria and tests for quality. in *Rice : Chemistry and Technology*. American Association of Community Colleges 443-524.
- Kim DS, Yoon YH, Shin JC, Kim JK, Kim SD. 2002. Varietal difference in relationship between SPAD value and chlorophyll and nitrogen concentration in rice leaf. *Korean journal of crop science* 47(3):263-267.
- Lee CK, Kwon YU, Lee JE, Seo JH, Shin JC, Lee BW. 2009. Effect of sink and source related characteristics on grain weight and grain nitrogen content in rice. *Korean journal of crop science* 54(1):45-54.
- Makino A, Sato T, Nakano H, Mae T. 1997. Leaf photosynthesis and nitrogen allocation in rice under different irradiance. *Planta* 2003(3):390-398.
- Matsushima S. 1957. Analysis of developmental factors determining yield and yield prediction in lowland rice. *Bulletin of the National Institute of Agricultural Sciences Series A5*:1-271.
- Park DH, Chi RX, Lee BW. 2002. Variation in spikelet number under different nitrogen levels and shading treatments during panicle formation stage of rice. *Korean journal of crop science* 47(6):479-485.
- Peng S, Sheehy JE, Laza RC, Visperas RM, Zhong X, Centeno GS, Khush GS, Cassman KG. 2004. Rice yield decline with higher night temperature from global warming. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 101(27):9971-9975.
- Samarajeewa KBDP, Kojima N, Sakagami J, Chandanie WA.

2005. The effect of different timing of top dressing of nitrogen application under low light intensity on the yield of rice (*Oryza sativa* L.). *Journal of Agro Crop Science* 191(2): 99-105.
- Son JR., Kim JH, Lee JI, Youn YH, Kim JK, Hwang HG, Moon HP. 2002. Trend and further research of rice quality evaluation. *Korean journal of crop science* 47(S):33-54.
- Viji MM, Thangaraj M, Jayapragasam M. 1997. Effect of low light on photosynthetic pigments, photochemical efficiency and Hill reaction in rice (*Oryza sativa*). *Journal of Agro Crop Science-Zeitschrift für Acker und Pflanzenbau* 178(4):193-196.
- Wardlaw IF. 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 WH, Peng S, Dionsio-Sese ML. 2007. Morphological and photosynthetic responses of rice to low radiation. *Korean J. Crop Science* 52(1):1-11.