

## 벼의 생식생장기 일조부족이 생육 및 수량에 미치는 영향

이성학<sup>2</sup> · 손은호<sup>3</sup> · 홍성창<sup>3</sup> · 오성환<sup>4</sup> · 이지윤<sup>4</sup> · 박종현<sup>5</sup> · 우선희<sup>1</sup> · 이철원<sup>1,†</sup>

## Growth and Yield Under Low Solar Radiation During the Reproductive Growth Stages of Rice Plants

Seonghak Lee<sup>2</sup>, Eunho Son<sup>3</sup>, Seongchang Hong<sup>3</sup>, SungHwan Oh<sup>4</sup>, JiYoon Lee<sup>4</sup>, Jonghyun Park<sup>5</sup>, Sunhee Woo<sup>1</sup>, and Chulwon Lee<sup>1,†</sup>

**ABSTRACT** Recently, rice growth and production have been influenced by climatic change worldwide. In particular, under low solar radiation and cloudy weather, rice plants show abnormal physiological responses. In this experiment, plants of the rice cultivar Samgwangbyeon grown 40% and 70% shading and natural conditions at the primordium initiation stage (PI) for 30 days and the booting stage for 10 days up to heading were compared. After shading treatments, culm lengths were significantly longer than that in natural condition plots, and panicle lengths were shorter in the 40% and 70% shading treatment plots compared to control plots. After heading, the production of dry matter treated at the PI stage was significantly lower than that at the booting stage. SPAD values of the leaf color and N concentration of leaves treated with shading were greater than those under natural conditions. In the shading treatment, the lodging index at 20 days after heading was significantly higher than that in natural condition. For yield components, number of panicles, spikelet number per panicle, and ripened grain ratio significantly decreased with shading treatment; thus, rice yield decreased significantly. For rice quality, the protein content of the head rice treated with shading was significantly higher than that in the control plot, but the amylose content of rice treated with shading was significantly lower than that in rice in control plots.

**Keywords** : lodging index, low solar radiation, rice quality, SPAD value

**최근** 기후변화에 따라 국지적인 집중호우와 강우패턴의 변화로 일조부족 현상이 발생하기 시작하면서 여름철 재배 작물도 일조부족에 의한 피해가 빈발하고 있는 실정이다. 광은 크게 작물의 광합성과 형태발생에 관여하는 필수적인 환경요소 중 하나로서 작물의 수량에 결정적인 영향을 미치며(Evans & De Datta, 1997; Islam & Morison, 1992; Dobermann *et al.*, 2000). 50% 차광처리 하에서는 이삭수의 감소로 수량이 55~60% 감소하며(Biswas & Salokhe, 2002), 차광이 퇴화영양수 비율을 증가시킨다(Yao *et al.*, 2000; Kim

*et al.*, 1991). 또한 벼 생육초기의 차광처리가 생육후기까지도 영향을 주며(Nakano, 2000), 특히 유수형성기 이후의 일조 부족은 수량을 저하시킨다(Evans & De Datta, 1997). 생육단계별 일조 저하에 대한 벼의 반응에 대하여, 분얼기에는 분얼 발생의 억제나 지연(Yamamoto *et al.*, 1995; Tamaki & Yamamoto, 1997; Nakano, 2000), 등숙기에는 등숙율과 천립중의 저하(Samarajeewa *et al.*, 2005) 원인이 되고, 일조가 부족한 조건에서는 잎의 건물 비중이 높아지며(Gibson *et al.*, 2004), 엽의 엽록소함량이 높아지는 것으로 보고되

<sup>1</sup>충북대학교 식물자원학과, 28644 충북 청주시 서원구 충대로 1 (Department of Crop Science, Chungbuk National University, Cheongju, Republic of KOREA)

<sup>2</sup>(주)동방아그로 (DONBANGAGRO Co.(Limited), Seoul, Republic of KOREA)

<sup>3</sup>국립농업과학원 (NIAS, RDA, Republic of KOREA)

<sup>4</sup>국립식량과학원 (NICS, RDA, Republic of KOREA)

<sup>5</sup>한국농수산대학 (Korea National College of Agriculture and Fisheries)

<sup>†</sup>Corresponding author: Chulwon Lee; (Phone) +82-43-261-2512; (E-mail) [cwlee@cbu.ac.kr](mailto:cwlee@cbu.ac.kr)

<Received 24 May, 2016; Revised 8 June, 2016; Accepted 8 June, 2016>

어 있다(Makino *et al.*, 1997; Chowdhury *et al.*, 1994; Viji *et al.*, 1997). 이와 같이 일조부족은 벼의 분얼발생 억제, 영양형성 감소, 등숙을 저하, 엽록소 축적 및 물질분배 등과 연관되어 있으므로 충분한 일조는 벼의 건전한 생육에 필수적인 요인이 된다. 본 연구는 일조부족 시 벼의 생육 및 생리적 변화를 분석함으로써 작물의 생리변화와 생산량 감소를 극복하기 위한 기초 및 응용자료를 얻고자 수행하였다.

## 재료 및 방법

### 공시재료 및 처리내용

본 시험은 2014년 충북대학교 부속농장 답작포장에서 중만생종인 삼광벼를 공시하여 수행하였다. 4월 27일에 파종을 하여, 엽수가 3-4매인 중묘를 5월 25일에 재식거리를 30×15 cm로 이양하였다. 본답 시비량은 N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O를 1,000 m<sup>2</sup>당 각각 10-7-8 kg 수준으로 시비하였으며, 질소는 기비-분얼비-수비를 50-30-20% 비율로, 칼리는 기비-수비를 80-20% 비율로 분시 하였고, 인산은 전량 기비로 전층시비 하였다. 차광처리는 40%, 70% 검은색 흑색 차광막을 이용하여 유수형성기인 7월 15일부터, 출수기인 8월 14일까지 30일간, 그리고 수잉기인 8월 5일부터 출수직전까지 10일간 차광처리 하였다.

출수 후 20일인 9월 4일에 시험구별로 10본씩 채취하여 간장, 수장, 건물중을 조사하였고 엽색도는 Minolta SPAD-502로 측정하였으며, 도복지수 조사방법은 농촌진흥청 “농업과학기술 연구조사 분석 기준”(RDA, 2003)에 의거하여 조사 하였다. 도복지수 공식은 아래와 같다.

$$\text{lodging index} = \frac{\text{top-fresh weight of culm (g)} \times \text{plant length (cm)}}{\text{breaking strength (g)}}$$

쌀알의 Amylose 함량은 Juliano 비색정량법(Juliano, 1979)으로 조사하였으며 질소 함량은 Kjeldahl 질소정량법을 이용하였고, 쌀 총질소함량(%)에 단백질 환산계수 6.25를 곱하여 단백질 함량을 구하였다(RDA, 2007). 시험구 배치는 난괴법 3반복으로 하였고, 통계분석은 SAS를 이용하였다.

## 결과 및 고찰

### 간장과 수장

벼의 유수형성기와 수잉기에 자연상태 대비 40%와 70% 차광처리한 후 간장과 수장의 변화를 조사한 결과는 Table

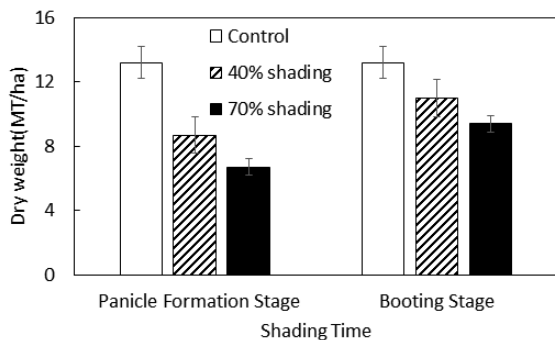
**Table 1.** Changes in culm and panicle length, after 40% and 70% shading treatments from the panicle formation stage and booting stage to heading stage at 10 days after heading in the rice paddy field.

Treatment	Shading time			
	Panicle formation stage		Booting stage	
	culm length (cm)	panicle length (cm)	culm length (cm)	panicle length (cm)
Control	70.8	18.8	70.8	18.8
40% shading	74.6	18.1	78.1	18.6
70% shading	72.9	16.2	74.5	18.2
LSD (0.05)	2.0	1.7	4.2	1.0

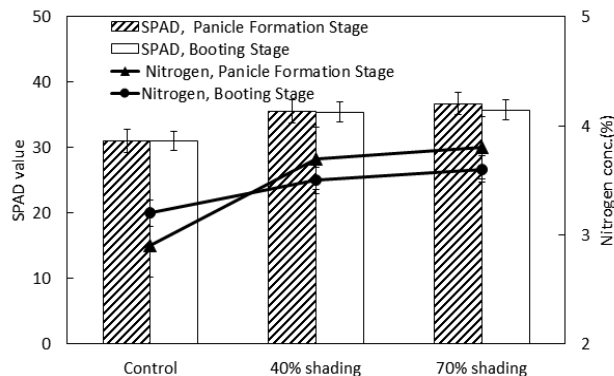
1과 같다. 간장은 유수형성기에 차광처리 하였을 때 무처리구가 70.8 cm인데 비하여 40% 차광한 시험구가 74.6 cm로 가장 길었고, 70% 차광처리구는 72.9 cm로 나타났다. 절간 신장이 급격히 일어나는 수잉기에서는 40% 차광구가 78.1 cm로 가장 길었고, 70% 차광처리구는 74.5 cm로 나타나서 차광처리에 의한 간장의 길이가 무처리구에 비하여 크게 신장하는 것으로 나타났다. 수장의 단축정도는 무처리구보다 차광처리구가 짧아지는 것으로 나타났는데 차광시기에 따라 유수형성기의 차광처리가 수잉기 차광처리에 비하여 수장이 더 크게 단축되는 것으로 조사되었다. 일조부족 상태에서는 자외선의 차단으로 식물체가 연약하고 길게 자라기 때문에 간장의 길이가 길어진다는 보고(Nakano, 2000)로 볼 때 생식생장기인 신장기에 일조 부족은 간장을 길게 하고 수장은 짧아지는 생육상의 불균형이 발생하는 것으로 사료되었다.

### 건물중, 엽색도와 도복지수

유수형성기와 수잉기에 각각 30일, 10일간 출수직전까지 자연조건에 대하여 40%, 70% 차광처리한 결과 벼 출수후 10일의 건물중의 변화는 Fig. 1과 같다. 차광시기와 기간별로 보면 유수형성기에 차광처리한 시험구가 수잉기에 처리한 시험구에 비하여 건물중의 감소가 현저하게 큰 것으로 나타났다. 자연조건에서 ha당 건물생산량은 13.2톤이었으나 유수형성기에 40% 차광처리구는 무처리구에 비하여 34% 정도, 70% 차광처리구는 49% 정도 감소하였고, 수잉기에 40% 차광처리구는 17% 정도, 70% 차광처리구는 29% 정도 감소하는 것으로 나타났다. 건물생산량이 크게 감소하는 것은 특히 벼의 생식생장기가 시작되는 유수형성기와 생식세포의 분화가 왕성한 화분모세포의 감수분열기에 일



**Fig. 1.** Changes in dry matter weight after 40% and 70% shading treatments from the panicle formation stage and booting stage to heading stage at 10 days after heading in the rice paddy field (vertical lines on the top of the bars are standard errors).

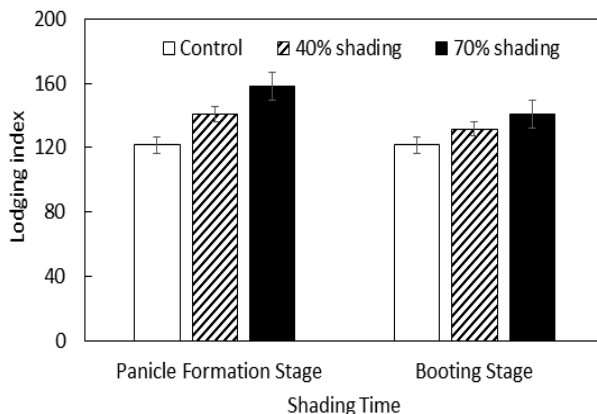


**Fig. 2.** Changes in leaf color (SPAD value) and N concentration of rice leaves after 40% and 70% shading treatments at the panicle formation stage and booting stage at 10 days after heading in the rice paddy field (vertical lines on the top of the bars are standard errors).

사량이 부족하거나 일조시수가 감소하면 작물의 생산성이 크게 저하되는 원인이 될 것으로 사료된다.

차광처리에 따른 출수후 10일에 벼 잎의 엽색도와 질소 함량을 조사한 결과는 Fig. 2와 같다. 무처리구의 엽색도가 30 정도인데 유수형성기의 40% 차광처리 구는 35, 70% 차광처리 구는 38 정도였으며, 수잉기의 40% 차광처리구와 70% 차광처리구의 엽색도가 높아지는 것으로 조사되었다. 또한 엽중 질소 농도가 유수형성기 처리에서 무처리구는 2.9%이었으나 40% 차광처리구는 3.2%, 70% 차광처리구는 3.8%로 높아졌으며, 수잉기 처리에서도 무처리구는 2.9%이었으나 40% 차광처리구는 3.5%, 70% 차광처리구는 3.6%로 높아졌다. 일조가 부족한 조건에서는 잎의 건물 비중이 높아지며(Gibson *et al.*, 2004), 잎의 엽록소함량이 높아지는 것으로 보고되어 있다(Makino *et al.*, 1997; Chowdhury *et al.*, 1994; Viji *et al.*, 1997). 또한 차광처리한 잎은 무처리구에 비하여 광합성이 감소하고, 저급질소화합물이 축적됨으로서 잎의 질소 농도가 증가함으로서 농록색 정도가 크게 높아짐으로서 엽색도가 높아지는 것으로 사료되었다.

차광시기별 벼의 도복지수를 조사한 결과는 Fig. 3과 같다. 무처리구에 비하여 차광처리구는 도복지수가 유의하게 증가되었고, 처리시기에 따라서는 유수형성기의 차광처리가 수잉기 차광처리에 비하여 도복지수가 높아지는 것으로 나타났다. 유수형성기의 차광처리구는 무처리구에 비하여, 40% 차광처리구는 16% 정도, 70% 차광처리구는 30% 정도 높아졌고, 수잉기는 무처리구에 비하여 40% 차광처리구는 8% 정도, 70% 차광처리구는 16% 정도 높아짐으로서 도복의 위험이 증가되는 것으로 나타났다. 일정 비율의 차광 정도가 일정 기간 계속되면 식물체의 줄기가 연약해지고 특히 유수형성기 이후의 일조 부족은 생육과 수량을 저



**Fig. 3.** Changes in lodging index after 40% and 70% shading treatments at the panicle formation stage and booting stage after heading in the rice paddy field (vertical lines on the top of the bars are standard errors).

하시킨다는 보고(Evans & De Datta, 1997)로 볼 때 생식생장기의 일조 부족으로 식물체가 더욱 연약해지고 포장도복이 심해짐으로서 수량 감소를 가중시킬 것으로 사료되었다.

### 수량구성요소와 수량

벼의 생식생장기인 유수형성기와 수잉기에 일조 부족에 의한 수량구성요소와 수량을 조사한 결과는 Table 2와 같다. 단위면적당 이삭수는 차광처리구가 무처리구에 비하여 감소하였는데 70% 차광처리구에서 감소 정도가 컸으며, 처리시기별로는 유수형성기의 차광처리구가 수잉기의 차광처리구보다 현저히 감소하였다. 이삭당 영화수는 차광처리 비율이 높을수록 현저히 감소하였고 시기별로는 유수형성기 처리구가 수잉기 처리구보다 감소 정도가 컸다. 정조 천

**Table 2.** Rice yield components and yield after 40% and 70% shading treatments from the panicle formation stage and booting stage to heading in the rice paddy field.

Treatment	Growth Stage	No. of panicles per m <sup>2</sup>	No. of spikelets per panicle	1000 grain weight (g)	Percent reaped grains (%)	Milled rice yield (t/ha)
Control	-	455 a	106 a	24.4 a	87 a	5.4 a
40% shading	P.F.	417 b	86 b	23.9 a	60 c	3.6 c
	Booting	450 a	105 a	24.0 a	80 b	4.6 b
70% shading	P.F.	360 c	70 c	22.7 b	48 d	2.0 d
	Booting	451 a	84 b	24.8 a	80 b	3.4 c

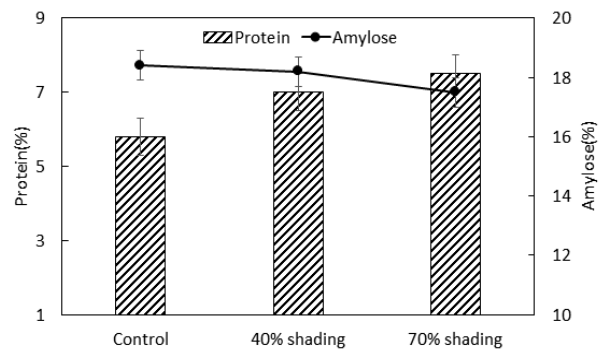
\* Same letters in a column are not significant by DMRT at 5%

P.F. : Panicle formation stage, Booting : Booting stage

립중은 유수형성과 수잉기 처리구 모두 무처리구에 비하여 감소하였고 특히 70% 처리구에서 현저히 감소하는 것으로 나타났다. 차광처리에 따른 등숙률은 유수형성기 40% 차광처리구가 60%, 70% 차광처리구가 48%로 현저히 저하하였으나 수잉기 차광처리 비율간에는 유의한 차이를 보이지 않았다. 수량은 무처리구에 비하여 차광처리 비율이 높아질수록 낮았고, 시기별로는 유수형성기 차광 처리가 수잉기 처리 보다 현저히 감소하였다. 이에 대하여 생육단계별 일조 저하에 대한 벼의 반응에 대하여, 등숙기에는 등숙률과 천립중의 저하(Samarajeeva *et al.*, 2005)로 수량이 저하된다는 기존의 보고와 같은 결과로 사료되었다. 이 차광처리에서 수량이 55~60% 감소하는데 이는 이삭수의 감소에 주로 기인된다는 결과(Biwas & Salokhe, 2002)와 같은 경향을 보였으며, 차광이 퇴화 영화수 비율을 증가시킨다는 결과도 보고되어 있다(Yao *et al.*, 2000).

#### 쌀의 단백질과 아밀로스 함량

일조부족에 의한 유수형성기에 40% 차광처리구와 70% 차광처리구의 쌀의 품질에 영향을 주는 단백질과 아밀로스 함량을 조사한 결과는 Fig. 4와 같다. 무처리구의 단백질 함량은 5.8%이었으나 40% 차광처리구는 7.2%, 70% 차광처리구는 7.5%로서 단백질 함량이 유의하게 높아졌다. 아밀로스 함량은 무처리구에 비하여 차광처리구에서 낮아지는 경향을 보였다. 광이 부족한 차광처리구에서는 잎의 질소 농도와 엽색도가 높아짐으로서 쌀에도 단백질 함량이 높아졌을 것으로 생각된다. 쌀의 품질을 결정하는 요소 중 단백질과 아밀로스 함량 중에서 단백질 함량이 차광처리에 대하여 더 민감하게 반응하는 것으로 나타났는데 이에 대해 앞으로 더욱 세심한 연구가 이루어져야 할 것으로 사료되었다.



**Fig. 4.** Protein and amylose contents of milled rice grain after 40% shading treatment at the panicle formation stage for 30 days at harvesting in the rice paddy field (vertical lines on the top of the bars are standard errors).

#### 적 요

벼의 일조부족에 대한 생리적 반응을 조사하기 위하여 유수형성과 수잉기에 각각 40%, 70% 차광처리를 출수 직전까지 처리한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 유수형성과 수잉기에 차광처리후 출수기 간장은 차광처리가 유의하게 길어졌고, 수장은 유의하게 감소하였다.
2. 출수 후 건물생산량은 무처리에 비하여 차광 처리구에서 현저하게 감소하였으며 유수형성기 처리가 수잉기 처리에 비하여 유의한 감소를 보였고, 40% 차광처리보다 70% 차광처리에서 현저하게 감소하였다.
3. 차광처리구의 출수 후 잎의 엽색도와 질소 함량은 무처리에 비하여 유수형성과 수잉기 처리 모두 차광처리 정도가 높을수록 높아졌다.
4. 출수 후 20일에 벼 식물체 도복지수는 차광처리가 현

저히 높아졌으며, 유수형성기 처리구가 수잉기 처리보다 유의하게 높아졌다.

5. 차광처리는 수량구성요소 중에서 이삭수와 이삭당 영화수를 감소시켰으며, 등숙률과 천립중을 감소시켰음으로서 수량을 유의하게 감소시켰다.
6. 차광처리는 쌀의 단백질 함량을 높였으며 아밀로스 함량은 감소폭이 크지 않았다.

### 감사의 글

이 논문은 2013학년도 충북대학교 연구년제 지원에 의하여 연구되었음(This work was conducted during the research year of Chungbuk National University in 2013).

### 인용문헌(REFERENCES)

- Biswas, P. K. and Salokhe. 2002. Effects of N rates, shading, tiller separation, and plant density on the yield of transplanted rice. *Tropical Agri.* 79(3) : 168-172.
- Chowdhury, P. K. and M. Jayapragasam. 1994. Biochemical changes in low-irradiance tolerant and susceptible rice cultivars. *Biologia Plantarum.* 36(2) : 237-242.
- Dobermann, A., D. Dawe, R. P. Roetter, and K. G. Cassman. 2000. Reversal of rice yield decline in a long-term continuous cropping experiment. *Agron. J.* 92(4) : 633-643.
- Evans, 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.
- Islam, M. S. and J. I. L. Morison. 1992. Influence of solar-radiation and temperature on irrigated rice grain-yield in Bangladesh. *Field Crops Res.* 30(1-2) : 13-28.
- Juliano, B. O. 1979. Amylose analysis in rice-A Review. Proc. of the workshop on Chemical Aspects of Rice Grain Quality, IRRI: 251-260.
- Kim, K. S., S. K. Kim, B. L. Huh, and K. M. Yoon. 1991. Effects of shading at heading stage on yield components in rice. *Korea J. Crop Sci.* 36(2) : 127-133.
- Makino, A., T. Sato, H. Nakano, and T. Mae. 1997. Leaf photosynthesis and nitrogen allocation in rice under different irradiance. *Planta.* 203(3) : 390-398.
- Nakano, H. 2000. Effect of early stage shading of direct-seeded rice on growth and yield components. *Jpn. J. Crop Sci.* 69(2) : 182-188.
- RDA. 2003. Research standard rules of agricultural experiment, Korea (in Korean).
- RDA. 2007. Analysis methods of plants, Korea (in Korean).
- 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.
- Tamaki, M. and Y. Yamamoto. 1997. Effect of shading and nitrogen fertilizer levels on flag leaf emergence rate and tillering of rice plants, with special reference to the turning point of the leaf emergence rate. *Jpn. J. Crop Sci.* 66(1) : 29-34.
- Viji, M. M., M. Thangaraj, and M. Jayapragasam. 1997. Effect of low light on photosynthetic pigments, photochemical efficiency and Hill reaction in rice (*Oryza sativa* L.). *J. Agron. Crop Sci.-Zeitschrift fur Acker und Pflanzenban.* 178(4) : 193-196.
- Yamamoto, Y., H. Kurokawa, Y. Nitta, and T. Yoshida. 1995. Varietal difference of tillering response to shading and nitrogen levels in rice plant - Comparison between high tillering semi-dwarf indica and low tillering japonica. *Jpn. J. Crop Sci.* 64(2) : 227-234.
- 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.