

야간조명 광도에 따른 벼 품종별 생육 및 수량 반응

김충국*[†] · 조현숙* · 서종호* · 최성호* · 변종영**

*농촌진흥청 작물시험장, **충남대학교

Growth and Yield Response of Rice Cultivars to Different Night Illumination Intensities

Chung-Guk Kim*[†], Hyeoun-Suk Cho*, Jong-Ho Seo*, Seong-Ho Choi*, and Jong-Yeong Pyon**

*National Crop Experiment Station, RDA Suwon 441-857, Korea

**Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

ABSTRACT : This experiment was conducted to investigate the response of rice growth and grain yield to night illumination. Three cultivars Heugjinjubyeo (early maturing), Hwaseongbyeo (medium maturing), and Ilpumbyeo (mid-late maturing) were tested under different light intensities ranging 1.0 to 20.0 lux (0.3 to 5.6 $\mu\text{W cm}^{-2}$). Awn length of all cultivars became longer as night illumination intensity increased; 4.09 cm under 10~20 lux compared to 1.93 cm under 2 lux in Hwaseongbyeo. However culm and spike length were not affected by night illumination. Night illumination delayed flowering by 3 days in Heugjinjubyeo, 5 days in Hwaseongbyeo, and 9 days in Ilpumbyeo at 10~20 lux compared to that at 2 lux. Grain yield was reduced by 10.0% in Heugjinjubyeo, 17.7% in Hwaseongbyeo, and 20.7% in Ilpumbyeo at 10~20 lux compared to 2 lux condition.

Keywords : night illumination, rice, growth, heading, yield

야간조명은 최근 산업의 발달로 인해 농촌의 도시화 및 공장화가 진행되면서 농경지 주변의 도로, 공장, 주유소, 과적차량 검문소 등에 가로등, 보안등, 선전광고등 및 기타 야간조명등이 증가되어 농작물에 피해를 주고 있다. 특히 야간조명 주변에는 주로 벼가 재배되고 있으며, 우리나라 벼 품종의 최적 일장은 10시간 전후로서, 한계일장보다 낮의 길이가 길어지면 생식생장기로 전환이 지연되어 영양생장 기간이 길어진다. 따라서 야간조명을 하면 낮의 길이가 연장되므로 단일식물은 출수가 지연되어 결국은 수량감소의 피해를 입게 된다(Ahn & Vergara, 1969; Kim *et al.*, 1998).

야간조명에 대한 식물의 반응은 광질, 광의 강도, 조명 시간, 조명의 방향, 명암의 주기, 식물의 종류와 품종, 조직, 기

관, 생육단계에 따라 반응이 다르게 나타난다. 일반적으로 장일성 식물은 출수·개화가 촉진되어 영양생장기간이 단축되며, 단일성 식물은 그와 반대로 출수·개화가 지연되거나 출수·개화 자체가 안되고 영양생장만 계속되는 경우가 많다. 벼의 출수·개화는 주로 일장과 온도의 두가지 생태적 요인에 의하여 영향을 받으며, 벼 품종의 생태형은 이들 두가지 요인을 기초로 하여 분류되어 온 것이라고 볼 수 있다(Oka *et al.*, 1952; Lee, 1964).

벼는 일장 감응성이 큰 중생종과 만생종이 출수지연과 수량 감소 정도가 크고, 야간조도 5 lux이하에서는 피해가 거의 없지만 5~10 lux에서는 품종, 기상에 따라 피해가 있을 수 있으며, 10 lux이상에서는 거의 모든 품종에 피해가 있고, 야간조명이 출수지연에 가장 큰 영향을 미치는 기간은 출수전 7~40 일이라고 하였다(稻田, 1984). 묘대기의 일장처리에 의한 벼의 영향(Taguchi *et al.*, 1953) 및 영양생장기의 일장과 온도 조합처리에 의한 영향(Sato, 1974) 등 벼의 일장에 관련된 연구(Yoshida & Hanyu, 1964; Wada, 1952; Okada & Kato, 1953; Kurita & Yamamura, 1954; Lamin & Vergara, 1968; Ahn & Vergara, 1969; Choi *et al.*, 1983)는 많이 이루어졌으나, 야간조명에 대한 연구(Yoshioka *et al.*, 2001; Tokimasa & Suedomi, 1971; Kim *et al.*, 1998; Kim *et al.*, 2001; Kim *et al.*, 2002a; Kim *et al.*, 2002b)는 많지 않은데 최근 야간조명으로 출수지연 및 수량감소에 대한 사례가 많이 발생되고 있다. 본 연구는 야간조명이 벼의 생육 및 수량에 미치는 영향을 분석하고자 수행하였다.

재료 및 방법

본 시험은 1998년부터 2000년까지 농촌진흥청 작물시험장 포장에 가로등을 인위적으로 설치하여 시험을 수행하였다. 광원의 높이는 4 m, 광원의 간격은 3 m, 전압 및 전력은 220 V

[†]Corresponding author: (phone) +82-31-290-6757 (E-mail) kimcg@rda.go.kr <Received November 5, 2002>

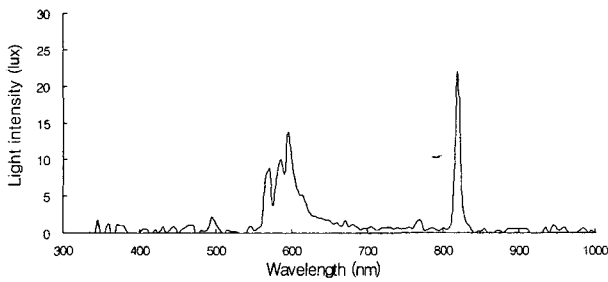


Fig. 1. Distribution of light intensity by sodium lamp.

및 200 W, 광원은 Fig. 1과 같은 나트륨등을 이용하였으며, 광원의 각도를 조절하여 야간조명 광도를 1.0~20.0 lux(0.3~5.6 $\mu\text{W cm}^{-2}$)로 조절하여 2 lux 이하(0.56 $\mu\text{W cm}^{-2}$ 이하), 2~4 lux(0.56~1.12 $\mu\text{W cm}^{-2}$), 4~6 lux(1.12~1.68 $\mu\text{W cm}^{-2}$), 6~10 lux(1.68~2.80 $\mu\text{W cm}^{-2}$), 10~20 lux(2.8~5.6 $\mu\text{W cm}^{-2}$)의 밝기로 5개 구간으로 나누어 수행하였다.

조명시간은 타이머를 이용하여 이양 당일부터 수확기까지 전 생육기간동안 매일 일몰 후부터 일출 전까지 점등을 실시하였다. 야간조명 광도의 측정에는 차량의 전조등이나 달빛 등 외부의 영향이 거의 없을 때 조도계 및 spectroradiometer (Model LI-188B 및 LI-1800, LI-COR, Inc.)로 식물체 선단 부위의 높이에서 반복 측정하였다. 품종은 조생종인 흑진주벼와 중생종인 화성벼, 중만생종인 일품벼를 공시하였으며, 화성벼와 일품벼는 15~20일묘를 5월 하순에 휴폭 30 cm, 주간거리 14~15 cm로 이양하였으며, 흑진주벼는 6월 하순에 휴폭 30 cm, 주간거리 14~15 cm로 이양하였고, 시비, 병해충 방제 및 물관리 등 기타 관리는 관행에 준하였다.

간장, 수장 등 생육조사는 20주씩 3반복 조사하였으며, 수

량은 야간조명 광도별로 성숙기에 달하였을 때 4.5 m²씩 3반복 예취하여 조사하였고, 기타 조사는 농촌진흥청 시험연구조사기준에 준하였다.

결과 및 고찰

야간조명 광도별 벼의 생육

야간조명에 따른 벼의 생육은 Table 1과 같이 간장과 수장은 야간조명시 3품종 모두 야간조명 광도간에 큰 차이는 없었으나, 망의 길이는 야간조명 광도가 높을수록 증가되었으며, 광도 2 lux 이하에서 화성벼와 일품벼의 망장은 각각 1.93 cm, 1.96 cm였으나, 10~20 lux로 광도가 높아질 경우 화성벼는 4.09 cm, 일품벼는 2.55 cm로 크게 길어졌으며, 특히 야간조명 광도가 10~20 lux일 때 화성벼의 망장이 현저하게 길어졌다. 야간조명시 이와 같이 망장이 길어지게 된 것은 이상환경에 적응하기 위한 식물의 생리현상으로 생각되며, 앞으로 이에 대한 연구가 보다 깊이 있게 이루어져야 할 과제이다.

출수기는 야간조명 광도 4~6 lux이하에서는 차이가 없었으나, 10~20 lux에서는 화성벼 5일, 일품벼는 9일이 지연되어 중만생종인 일품벼의 지연정도가 컸다.

본 결과는 한계일장보다 낮의 길이가 길면 벼의 출수가 연장되며, 품종에 따라 일장 반응이 다르고, 일장 감응성이 큰 중만생종이 출수지연이 크다는 보고(Kurita & Yamamura, 1954; Lamin & Vergara, 1968; 稻田, 1984)와 같은 경향이었으며, 야간조명 광도가 10~20 lux에서 화성벼와 일품벼 다 같이 출수가 5~9일 크게 지연되어 벼는 일장연장의 효과가 10~20 lux에서 나타나는 것으로 판단되었다. 야간조명에 의한 출수 및 개화 지연은 6~10 lux일 때 콩은 2~6일(Kim *et al.*,

Table 1. Growth of three rice cultivars under different intensities of night illumination.

Cultivar	Light intensity (lux)	Culm length (cm)	Panicle length (cm)	Awn length (cm)	Days to heading (days)
Heuginjubyeo (Early)	<2	86.1	20.9	-	69a [†]
	2~4	86.0	20.7	-	69a
	4~6	84.7	19.9	-	70a
	6~10	87.8	20.3	-	71a
	10~20	84.8	20.0	-	72a
Hwaseongbyeo (Medium)	<2	83.2	19.2	1.93a	93a
	2~4	81.4	19.3	2.06a	93a
	4~6	80.2	19.6	2.06a	93a
	6~10	80.2	19.1	2.67b	95a
	10~20	83.5	19.3	4.09c	98b
Ipumbyeo (Mid-late)	<2	78.4	21.2	1.96a	101a
	2~4	76.9	21.1	2.26ab	101a
	4~6	75.0	21.4	2.28ab	101a
	6~10	75.5	20.6	2.33ab	105ab
	10~20	75.8	20.3	2.55b	110b

[†]Means followed by the same letter within a cultivar are not significantly different at 5% level by DMRT.

Table 2. Yield and yield components of three rice cultivars under different intensities of night illumination.

Cultivar	Light intensity (lux)	No. of panicles/ m ²	No. of grains/ panicle	Grain filling ratio (%)	1000- grain wt. (g)	Yield (kg/ha)	Index
Heugjinjubyeo (Early)	<2	383a [†]	72.9a	74.0a	17.4a	3,810a	100
	2~4	373a	70.3a	72.4a	17.2a	3,660a	96.1
	4~6	344a	66.7a	69.8a	17.6a	3,580a	94.0
	6~10	338a	68.3a	71.7a	17.5a	3,500a	91.9
	10~20	341a	63.4a	67.4a	17.4a	3,430a	90.0
Hwaseongbyeo (Medium)	<2	372a	69.1a	91.7a	22.2ab	5,260a	100
	2~4	362ab	66.4a	91.8a	22.3a	5,040a	95.8
	4~6	357ab	64.3a	90.4a	22.2ab	4,830a	91.8
	6~10	359ab	62.8a	89.1a	21.9ab	4,550ab	86.5
	10~20	349b	66.0a	88.6a	21.1b	4,330b	82.3
Ilpumbyeo (Mid-late)	<2	383a	103.1a	80.5a	21.2a	6,470a	100
	2~4	355ab	100.7a	77.4a	21.5a	6,180a	95.5
	4~6	350ab	103.0a	76.3a	21.3a	6,010ab	92.9
	6~10	355ab	99.2a	77.7a	21.5a	5,440bc	84.1
	10~20	334b	98.8a	70.3b	21.0a	5,130c	79.3

[†]Means followed by the same letter within a cultivar are not significantly different at 5% level by DMRT.

1998), 참깨 및 들깨는 각각 3~8일, 21~28일(Kim *et al.*, 2002a)로 콩, 참깨 및 들깨에 비하여 벼(2~4일)는 야간조명의 영향이 적음을 알 수 있었다.

야간조명 광도별 쌀 수량 및 수량구성요소

야간조명 광도에 따른 수량 및 수량구성요소는 Table 2와 같이 중생종인 화성벼와 중만생종인 일품벼는 m²당 수수, 수당립수 및 등숙율은 야간조명 광도가 높을수록 감소되었으며, m²당 수수는 야간조명 광도 2 lux이하에서 흑진주벼 383개, 화성벼 372개, 일품벼 383개였으나, 야간조명 광도 10~20 lux에서는 각각 341개, 349개, 334개로 6~13% 감소되었고, 화성벼와 일품벼는 유의한 차이가 있었다. 등숙율은 흑진주벼와 화성벼는 야간조명 광도간에 큰 차이가 없었으나, 일품벼는 야간조명 광도 2 lux이하에서 80.5%이었으나, 10~20 lux에서는 70.3%로 10.2%가 감소되었다. 친립중은 흑진주벼와 일품벼는 큰 차이가 없었으나, 화성벼는 야간조명 광도 2 lux이하에서 22.2 g이었으나, 10~20 lux에서는 21.1 g으로 1.1 g이 감소되었다.

쌀 수량은 야간조명 광도가 높을수록 감소되었으며, 품종별로는 흑진주벼보다 화성벼와 일품벼가 수량감소 정도가 컸다. 야간조명 광도 2 lux이하에 비하여 10~20 lux에서 수량 감소율은 조생종인 흑진주벼는 10%, 중생종인 화성벼는 17.7%, 중만생종인 일품벼는 20.7%이었다.

중만생종인 일품벼에서 수량 감소가 컸던 것은 감광성의 생체 특성을 가진 중만생종은 일장 감응성이 커 야간 광의 영향을 많이 받은 것으로 해석되며, 이는 단일성 작물은 조생종의 생체형보다 만생종의 생체형에서 단일의 효과가 크고, 일장에 민감하다는 보고(Ahn & Vergara, 1969; Lee, 1964; Choi *et al.*, 1983; Cho & Kim, 1966; Yun, 1986)와 같았다. 그리고

광도가 증가함에 따라 수량이 감소된 것은 수량구성 요소중 m²당 수수와 등숙율이 감소된 것이 기인되었다.

한편 Tokimasa & Suedomi(1971)는 야간조명 광도가 5~20 lux에서 등숙율이 저하되며, 50 lux에서 수수가 감소된다고 하였는데, 본 시험에서는 10~20 lux에서도 수수가 감소되었다. 이는 광질의 차이에 따라 품종간의 광반응이 각각 다르기 때문인 것으로 생각되었다. 또한 야간조명 광도가 6~10 lux일 때 수량의 감소는 콩은 20~41%(Kim *et al.*, 1998), 보리 및 밀은 각각 24%, 19%(Kim *et al.*, 2002b), 참깨 및 들깨는 각각 24~40%, 89~98%(Kim *et al.*, 2002a)로 벼(8~16%)는 콩, 참깨 및 들깨에 비하여 야간조명에 대하여 둔감함을 알 수 있었다.

이상의 결과를 종합하여 볼 때 중생종인 화성벼와 중만생종인 일품벼는 야간조명 광도가 높을수록 출수가 지연되며, 수수와 등숙율이 저하되어 쌀수량이 감소되었고, 품종간에는 조생종보다 만생종이 생육 및 수량에 미치는 영향이 컸다. 따라서 야간조명이 이루어지는 곳에서는 벼 생육 및 수량에 영향이 적은 조생종 품종을 재배하고, 야간조명 광도는 4~6 lux이하로 조절하는 것이 수량 감소를 줄일 수 있는 것으로 나타났다. 그리고 야간조명 조건에서 벼의 안전재배를 위해서는 광의 영향이 적은 품종과 광원을 개발해야 할 것이다.

적 요

산업의 발달로 농경지 주변에 야간조명이 증가되고 있어, 야간조명 광도에 따른 벼 생육 반응과 수량의 영향을 구명하고자 조생종인 흑진주벼, 중생종인 화성벼, 중만생종인 일품벼를 공시하여 야간조명 광도 1.0~20.0 lux(0.3~5.6 $\mu\text{W cm}^{-2}$)에서 수행한 시험결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 간장과 수장은 야간조명 광도 간에 큰 차이가 없었으나, 망장은 야간조명 광도가 높을수록 증가되었고, 특히 화성벼의 망장은 야간조명 광도 2 lux 이하에서는 1.93 cm이었으나, 10~20 lux에서는 4.09 cm로 현저히 길어졌다.
2. 출수는 야간조명 광도가 높을수록 지연이 심하였으며, 품종별로는 야간조명 광도 2 lux 이하에 비하여 10~20 lux에서 흑진주벼는 3일, 화성벼는 5일, 일품벼는 9일이 지연되어, 일품벼 > 화성벼 > 흑진주벼 순으로 지연이 심하였다.
3. m²당 수수는 야간조명 광도가 높을수록 현저하게 감소되어 화성벼와 일품벼는 유의한 차이가 있었다.
4. 쌀 수량은 야간조명 광도 2 lux 이하에 비하여 10~20 lux에서는 조생종인 흑진주벼는 10.0%, 중생종인 화성벼는 17.7%, 중만생종인 일품벼는 20.7%가 감소되었다.

인용문헌

- Ahn, S. B. and B. S. Vergara. 1969. Studies on responses of the rice plant to photoperiod. III. Responses of Korean varieties. *J. Korean Soc. Crop Sci.* 5 : 45-49.
- Cho, C. Y. and N. J. Kim. 1966. Studies on the relation between the earliness of varieties and the response to illumination and temperature in rice. *Korea Univ. J.* 3 : 35-45.
- Choi, K. G., Y. N. Chang, and S. C. Lee. 1983. Ecological studies on heading of rice plant. 1. The response to photoperiod of major rice varieties. *Korean J. Crop Sci.* 28(2) : 151-163.
- 稻田勝美. 1984. 光と植物生育(光選擇利用の基礎と應用). 養賢堂. pp. 415.
- Kim, C. G., J. H. Seo, and D. H. Kim. 1998. Effect of night illumination on growth and yield in soybean cultivars. *RDA. J. of Crop Sci.(I)*. 40(2) : 155-159.
- Kim, C. G., J. H. Seo, H. S. Choi, S. J. Kim, and I. B. Hur. 2001. Growth and yield responses of soybean under night illumination at different growth stages. *Korean J. Crop Sci.* 46(6) : 478-482.
- Kim, C. G., J. H. Seo, H. S. Choi, S. J. Kim, and J. Y. Pyon. 2002a. Effect of night illumination on growth and yield of sesame and perilla. *Korean J. Agri. and Forest Mete.* 4(2) : 80-85.
- Kim, Y. Y., C. G. Kim, S. J. Kim, and B. W. Kang. 2002b. Effect of night illumination on growth and grain yield of wheat and barley. *Korean J. Agri. and Forest Mete.* 4(1) : 18-22.
- Kurita, H. and I. Yamamura. 1954. Studies on localization of rice culture in Japan. (2) The day length and temperature as factors effecting the adoption of varieties of rice. *Crop Sci. Soc. Jpn.* 23(2) : 103-104.
- Lamin, J. B. and B. S. Vergara. 1968. Seasonal variation in the growth duration of some Malayan rice varieties(*Oryza sativa* L.). *Malaysian Agric. J.* 46 : 298-315.
- Lee, E. Y. 1964. Studies on the ecological characteristics of the rice varieties in Korea. II. Effect of the temperature and short day-length on the heading. *Seoul Univ. J. (B)* 15 : 48-60.
- Oka, H., Y. C. Lu, and K. H. Tsai. 1952. Phylogenetic differentiation of the cultivated rice plant. III. The response to daylength and temperature and number of days of growth period. *J. Taiwan Agric. Res.* 3(4) : 79-94.
- Okada, M. and I. Kato. 1953. On the photoperiodism of paddy rice plants. I. Photoperiodic responses of principal rice varieties grown in Tohoku district, Japan. *Proc. Crop Sci. Jpn.* 22 : 15-16.
- Sato, K. 1974. Growth responses of rice plants to environmental conditions. IV. The effect of air and soil-temperature upon translocation and distribution of ¹⁴C. *Crop Sci. Soc. Jpn.* 43 : 410-415.
- Taguchi, R., M. Kawai, and S. Ikemoto. 1953. After effect of photoperiodism in relation to development and yield of rice plant. III. Effect of growth and time of heading of rice plant. *Crop Sci. Soc. Jpn.* 21 : 215-216.
- Tokimasa, F. and M. Suedomi. 1971. Effect of the night-illumination by electric lamps on the growth and the yield of paddy rice. *Crop Sci. Soc. Jpn.* 40 : 241-246.
- Wada, E. 1952. Studies on the response of heading to day-length and temperature in rice plants. I. Response of varieties and the relation to their geographical distribution in Japan. *Plant Breed. Crop Sci. Soc. Jpn.* 2(1) : 55-62.
- Yoshida, S. and Y. Hanyu. 1964. Critical daylength for rice plants in relation to temperature. *Proc. Kinki Symp. Plant Breed. Crop Sci. Soc. Jpn.* 9 : 34-36.
- Yoshioka, H., S. Hatuyama, H. Kawagoe, and N. Kikukawa. 2001. Effect of illuminations at night on heading, yield and its components in rice growth in the early season in rice. *Crop Sci. Soc. Jpn.* 70(3) : 387-392.
- Yun, S. H. 1986. Studies on flowering characteristics of Korean rice(*Oryza sativa* L.) cultivars to ambient temperature and photoperiod. Ph. D. program in agronomy graduate school of Kon-Kuk Univ. pp. 52.