

Research Article

Open Access

적색광을 이용한 들깨의 개화조절

홍성창*, 권순익, 김민경, 채미진, 정구복, 강기경

농촌진흥청 국립농업과학원

Flowering Control Using by Red Light of Perilla

Seung-Chang Hong,* Soon-Ik Kwon, Min-Kyeong Kim, Mi-Jin Chae, Goo-Bok Jung and Kee-Kyung Kang (Climate Change and Agroecology Division, National Academy of Agricultural Science(NAAS), RDA, 150 Suin-ro, Suwon 441-707, Republic of Korea)

Received: 12 November 2011 / Accepted: 18 September 2012
© 2012 The Korean Society of Environmental Agriculture

Abstract

BACKGROUND: This experiment was conducted to investigate the effects of red light on inhibition of flowering and vegetative growth of perilla (*Perilla frutescens* L).

MEIHOES AND RESULTS: To determine red light intensity for inhibiting floral induction of perilla 6h light plus daylength extension (17:00–23:00) with three different intensity of red lights 0.046, 0.114 and 0.177 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ were treated respectively, and control plants were grown under 11(06:00-17:00)/13(17:00-06:00)h light/dark environment. Red(660nm) and far-red(730nm) light were irradiated for night break treatment subsequently to investigate photoreversible flowering response of perilla 'Manchu'. The flowering was inhibited by night break with red light, but sequential far-red light induced floral induction of perilla. Perilla not flowered by red light intensity over 0.177 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$. Red light of 0.2 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ was irradiated for 6 hours (20:00-02:00) with LEDs device in plastic house. Perilla not flowered and continued the vegetative growth by red light treatment and the plant length, number of leaves, fresh weight, and leaf area of perilla were increased by 3%, 7%, 21%, and 19%, respectively, compared to incandescent control.

CONCLUSION: These results showed that red(660nm)

light for daylength extension could be used to control flowering and to enhance production of perilla leaf

Key Words: Daylength extension, Flowering, Growth, LEDs, Perilla, Red light

서론

일장은 일장에 반응하는 식물의 생장과 개화를 조절한다. 식물은 밤길이에 따른 개화반응으로 분류된다(Thomas and Vince-Prue, 1997). 페추니아와 같은 장일성식물은 단야(장일)조건에서 화아가 유도되거나 개화하며(Blanchard and Runkle, 2010), 국화와 같은 단일성식물의 화아형성과 개화는 장야(단일) 조건에서 촉진된다(Wilkins *et al.*, 1990). 적색광으로 야간 11:00 부터 12:00 사이에 5분간 광중단 처리하면 들깨의 개화를 억제할 수 있다(Chung and Woo, 1988). 들깨 줄기의 생장은 적색광으로 광중단 처리를 하였을 때 가장 촉진되었고, 잎수, 엽면적 및 잎의 생체중과 건물중도 적색광 광중단 처리시에 가장 높다(Choi, 2003). 단일성식물은 적색광의 파야처리로 개화가 억제되고 연속된 초적색광 처리로 파야처리가 무효화되므로 단일처리의 광은 Pfr형 파이토크롬의 형성에 의존적이다(Taiz and Zeiger, 2006). 적색광은 광합성 기구의 발달에 중요하고 몇몇 식물종에서는 광합성 산물의 잎 이외의 기관으로의 이동을 억제하여 잎에 전분의 축적을 촉진한다(Saebo *et al.*, 1995). 콩나물 재배에서 적색광은 베타카로틴 함량과 항산화 활성을 증가시키고(Wu *et al.*, 2007), 페놀성화합물의 함량은 적색 LED 처리로 증가한다(Li and Kubota, 2009). 장과류의 안토시아닌 합성에는 적색광이 가장 효과적이며(Zhou and Singh, 2002) 광합성 미

*교신저자(Corresponding author),
Phone: +82-31-290-0224; Fax: +82-31-290-0206;
E-mail: schongcb@korea.kr

세조류 배양식 적색 LED의 효율이 가장 높다(Wang *et al.*, 2007). 적색광은 애기장대 상배축의 신장과 엽면적의 확장을 촉진시키고 청색광은 상배축의 신장을 억제하고 생체량을 증가시킨다(McNellis and Deng, 1995; Johkan *et al.*, 2010). 작물에 대한 광 파장 제어에는 발광다이오드(Light Emitting Diode)를 이용할 수 있다. 반도체 광원인 LED는 광생물학 연구에 폭넓게 사용될 수 있는 광원이다(Bula *et al.*, 1991). LED는 조절된 환경하에서 식물을 재배할 경우 광원으로서 에너지 효율을, 부피가 작고, 수명이 길고, 단일 파장을 방출하므로 특정파장을 선별적으로 사용할 수 있고, 광강도 조절이 용이하고 열 방출이 낮은 장점이 있다(Okamoto *et al.*, 1997; Schuerger *et al.*, 1997). 최근 식물재배에 LED의 적용에 관한 다양한 연구들이 수행되고 있다. 적색광은 들깨와 같은 단일성작물의 일장연장에 의한 개화조절에 이용될 수 있으나 실용적으로 사용될 수 있는 적절한 적색광 강도는 검토된 바 거의 없다. 따라서 본 연구는 적색 LED를 이용한 일장연장처리 기술을 개발하기 위하여 들깨의 개화억제를 위한 적정 적색광 강도와 개화와 생육에 대한 효과를 검토하였다.

재료 및 방법

개화의 광역성

본 연구는 2007년 수원시에 소재한 국립농업과학원 시험포장에서 수행하였다. 적색광과 초적색광의 개화조절 효과를 검토하기 위해 파종후 육묘한 들깨(만추잎들깨)를 1/5,000 와그너 포트에 원예용 상토(바로커상토, 서울바이오)를 균일하게 충전한 후 8월 1일 정식하여 비닐하우스에 재배하였다. 8월 20일 부터 파야처리를 위해 자체 제작한 적색 LED 장치(200×6×3cm)를 지상으로 부터 200 cm 높이에 설치하였다. 정식 직후 들깨에 처리된 적색광 강도는 0.32~0.43 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$, 초적색광은 0.250~0.366 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 이었다. 적색광처리구(R)는 0시 부터 15분, 적색광 직후 초적색광 순차 처리구(R-FR)는 0시 부터 적색광 15분, 초적색광 15분 처리되도록 설치하였다. 적색광 직후 초적색광, 적색광 처리구(R-FR-R)는 0시 부터 15분간 적색광, 초적색광 15분, 적색광이 15분간 점등되도록 전자식 타이머 등을 이용하여 조절하였다. 모든 처리구는 들깨의 생장이 충분히 이루어져 개화가 유도될 수 있도록 10월 30일까지 60일간 처리한 후 개화 및 생육특성 등을 조사하였다. 시험에 사용된 적색 LED의 중심 피크파장은 660 nm, 초적색 LED의 중심 피크 파장은 730 nm 이었다.

적색광 강도별 처리

들깨의 개화억제를 위한 적색광 강도별 효과를 검토하기 위하여 인공광생육실에서 1/5,000a 와그너 포트에 들깨(만추잎들깨)를 정식한 후 재배하며 적색광을 처리하였다. 인공광생육실의 온도는 주/야 25°C로 유지하였고 기본 생육을 위한 광원은 메탈할라이드 램프를 이용하여 PAR(Photosynthetic Active Radiation) 500 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 강도로 오전 6시 부터 오후 5시까지 11시간 동안 점등하여 무처리구의 기본일장이 11시간으로

단일상태를 유지하도록 하였다. 적색광을 이용한 일장연장 처리구는 메탈할라이드 램프가 소등된 직후 자체 제작한 적색 LED 장치(200×6×3cm)를 이용하여 오후 5시부터 10시 까지 5시간 동안 점등되어 일장시간이 16시간이 되도록 처리하였다. 적색광의 강도는 각각 0.046, 0.115, 0.177 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 강도로 처리하여 재배후 들깨의 개화반응, 생육특성 등을 조사하였다. 각 처리구는 광 차단판을 설치하여 외부 광의 간섭이 없도록 하였다.

포장 일장연장 처리

시험포장에서 일장연장 처리의 광원별 들깨의 개화와 생육반응을 검토하기 위해 비닐하우스에 들깨(만추잎들깨)를 정식한 후 8월 1일 부터 10월 30일까지 재배하며 수행하였다. 자연단일 상태를 유지하기 위한 무처리구와 백열등 처리구, 원추형 LED장치(35×15×15cm)를 이용한 적색광 처리구를 각각 120m² 씩 조성하였다. 백열등은 30 Lux, 적색광은 0.2~0.3 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 강도로 각각 오후 7시 부터 12시까지 5시간 동안 처리하였다. 처리시간은 일몰후인 오후 7시 부터 12시까지 5시간 동안 점등하였고 전조처리 후 들깨의 개화반응과 생육특성 등을 조사하였다. 각 처리별 적색광과 초적색광 강도는 광센서(SKR-110, Skyeinstruments, UK)를 이용하여 측정하였다. SKR-110 센서의 측정범위는 적색광은 648~673 nm, 초적색광은 718~743 nm였다. 통계분석은 SAS 통계패키지를(SAS Institute, USA) 사용하였다.

결과 및 고찰

들깨 개화의 광역성

적색광과 초적색광에 의한 파야처리 후 들깨의 개화와 생육반응을 검토한 결과는 Fig. 1, Table 1과 같다. 적색광으로 15분간 파야처리한 R 처리구는 들깨가 개화하지 않았고, 적색광 처리 직후 초적색광을 처리한 R-FR 처리구는 개화되었다. R-FR 처리구는 개화되어 적색광에 의한 파야처리구 보다 들깨의 엽수는 27.5%, 잎 생체중은 57.4%, 엽면적은 72.3% 감소하였다. 이것은 초적색광에 의해 적색광의 파야처리 효과가 무효화되어 단일조건인 무처리구와 같이 생식생장이 유도된 결과로 판단된다. 또 적색광, 초적색광, 적색광을 순차적으로 처리한 R-FR-R 처리구는 개화수가 크게 감소하였다.



Fig. 1. Red and far-red reversibility of the effect of a night break on flowering in perilla. From left to right no night-break, R, R-FR, and R-FR-R treatments(left), and scene of treatment of reversible red and far-red light in perilla (right).

Table 1. Red and far-red light reversibility of a night break on flowering and growth characteristics in perilla

Night-break treatment	Height of plant (cm)	Number of leaves (no./plant)	Fresh weight of leaves (g/plant)	Area of leaves (cm ² /plant)	Number of flower bud (no./plant)
Control (no night-break)	36.3	11.3	21.7	908.3	36.7
R	34.0	12.0	28.2	1,611.2	1.7
R-FR	28.6	8.7	12.0	458.7	38.7
R-FR-R	36.3	12.0	26.0	937.2	9.3
LSD 0.05	ns	ns	ns	ns	31.7 ^a

R : Red light (660 nm), FR : Far-Red light (730 nm)

Table 1의 결과는 Thomas과 Vince-Prue(1997)의 단일성식물인 도꼬마리 (*Xanthium strumarium*, L), 국화 (*Dendranthema grandiflora*, L), 콩 (*Glycine max*, L)의 파야처리와 개화의 광가역성 반응 결과와도 같은 결과이다.

Taiz 과 Zeiger (2006)는 이와같이 단일성식물이 적색광의 파야처리로 개화가 억제되고 연속된 초적색광 처리로 파야처리가 무효화되는 것은 파야처리는 Pfr형 피토크롬의 형성에 의존적인 것이라고 하였다. Chung 과 Woo (1988)는 야간 12:00에 적색광 5분을 이용한 광중단 처리에 의해 들개의 개화를 억제할 수 있었고, 초적색광은 광중단 효과가 없었으며 적색광에 대해 초적색광의 광가역적 작용이 있다고 하였다. 또 적색광은 5분간 광중단 처리로도 충분한 광중단

효과를 충분히 얻을 수 있다고 하였다. Thomas과 Vince-Prue(1997)는 단일성 식물은 광중단 하면 단야조건이 유지되어 개화하지 않고 영양생장을 계속하며 이 반응에는 적색광이 가장 유효하다고 하였다. 따라서 단일 광과장을 방출하는 LED 광원을 이용해 들개의 개화를 억제하기 위해서는 적색광이 적합한 것으로 판단된다.

적색광 강도별 개화특성

들개의 개화억제를 위한 적색광 강도를 검토하기 위하여 기본일장 처리를 위한 메탈할라이드 램프가 소등된 후 5시간 동안 적색광을 강도별로 처리한 후 들개의 개화와 생육특성을 조사한 결과는 Table 2와 같다.

Table 2. Flowering and growth characteristics affected by red light intensities for daylength extension in perilla

Light intensity ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)	Height of plant (cm)	Number of leaves (no./plant)	Fresh weight of leaves (g/plant)	Area of leaves (cm ² /plant)	Number of flower bud (no./plant)	Weight of flower bud (g/plant)
Control	26.0	12.7	26.7	1,218	23.3	12.6
0.046	24.0	12.7	38.0	1,578	20.7	2.3
0.114	23.3	13.3	39.4	1,702	11.3	0.6
0.177	25.0	13.3	42.4	1,849	-	-
LSD 0.05	ns	ns	8.7 [*]	381 [*]	8.0 [*]	1.6 [*]

Control : no daylength extension, ns : not significant

들개는 적색광 0.177 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 처리구에서 개화하지 않고 영양생장을 지속하였다. 적색광 0.046와 0.114 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 처리구는 개화하였으나 단일처리구 보다 꽃수는 작았다. 엽생체중과 엽면적은 적색광 0.177 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 처리구에서 가장 컸다. 단일조건인 무처리구는 개화되어 엽생체중과 엽면적이 적색광 처리구 보다 감소하였다. Chung 과 Woo (1988)는 적색광은 5분간 광중단 처리로도 충분한 광중단 효과를 충분히 얻을 수 있었고 Oh 등(1995)은 광강도 30~100 Lux에 10분간 야간조명 처리하면 개화하지 않으므로 그 이상의 광강도와 야간조명시간은 엽생산을 위해서 불필요 하다 하였다. 그러나 실제 들개재배에 있어서는 타이머 등의 오작동에 의한 불시개화를 방지하기 위해 단시간의 파야처리 대신 3~6

시간 동안의 일장연장법을 사용하고 있다.

한편 SKR-110 센서로 측정된 적색광 강도는 PAR (Photosynthetic Active Radiation) 센서로 측정된 것 측정치 보다 작은 값을 나타내었다. SKR-110 센서는 측정범위가 적색광은 648~673 nm, 초적색광은 718~743 nm의 파장범위를 측정하므로 이 광강도를 PAR 센서인 SKR-150 PAR 센서로 측정하면 약 3.5배 큰 0.62 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 을 나타냈다.

광원별 들개의 개화특성

적색 LED의 일장연장 효과를 검토하기 위해 비닐 하우스에서 백열등과 적색 LED를 이용하여 일장연장 처리후 들개의 개화와 생육특성을 조사한 결과는 Table 3과 같다. 적색

LED 처리구와 백열등 처리구는 개화하지 않고 영양생장을 지속하였다. 자연단일 상태인 무처리구는 생식생장으로 이행하여 개화하였다. 백열등과 적색광 처리구의 초장, 엽수, 엽생체중과 엽면적은 통계적으로는 95% 수준에서 유의한 차이는 없으나 적색광 처리구가 백열등 처리구 보다 들깨의 초장은 3%, 엽수는 7%, 엽생체중은 21%, 엽면적은 19% 증가하는 경향이었다.

Saebo 등(1995)은 적색광은 광합성 기구의 발달에 중요하고 몇몇 식물종에서는 광합성 산물을 잎 이외의 기관으로의 이동을 억제하여 잎에 전분의 축적이 증가되도록 한다고 하였고 Kasperbauer와 Hamilton(1984)은 적색광 처리 담배잎은 그라나가 많고 전분립의 크기가 크다고 하였다.

Table 3. Growth and flowering characteristics affected by light sources for daylength extension in perilla

Light source	Height of plant (cm)	Number of leaves (no./plant)	Fresh weight of leaves (g/plant)	Area of leaves (cm ² /m ²)	Number of flower bud (no./plant)
Control	76.9	10.1	22.0	1,077	26.6
Incandescent	76.9	10.6	22.4	1,131	-
Red LED	79.4	11.4	27.2	1,356	-
LSD 0.05	ns	ns	ns	ns	11.8 *

Control : no daylength extension, Incandescent : 30 Lux, Red LED : 0.2~0.3 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$, ns : not significant

Chung 과 Woo (1988)는 적색광 처리로 형광등과 백열등 혼합광 조사구에 비해 들깨의 엽록체내 전분립이 많았다고 하였고 Choi는 (2003) 들깨 줄기의 생장은 적색광으로 광중단 처리를 하였을 때 가장 촉진되었고 잎수, 엽면적 및 생체중과 건물중은 적색광으로 광중단 처리시에 가장 컸다고 하였다. Fig. 2는 관행의 백열등과 적색 LED 광처리장치를 이용해 들깨의 일장연장 처리를 하는 전경이다.



Fig. 2. Treatment of daylength extension using by conventional incandescent (left) and red LED lighting device (right) in perilla at plastic house.

Oh 등(1995)은 들깨에 대한 야간 조명시간이 길수록, 광강도가 강할수록 건물중은 증가하는 경향이었으며 야간조명 시간보다는 광도의 세기가 건물중에 더 큰 영향을 끼친다고 하였다. 따라서 향후 적색광의 조사 강도, 적색광을 이용한 일장연장 처리시간에 따른 들깨 잎 생산량 등을 검토할 필요가 있다.

요 약

적색 LED를 이용한 들깨의 개화억제를 위한 일장연장처리 기술을 개발하기 위하여 적색광에 대한 들깨의 개화와 생육반응을 검토하였다. 들깨는 적색광에 의한 일장연장 처리로 개화가 억제되었으나 초적색광 조사로 개화하여 광가역성을 나타냈다. 인공생육실 환경하에서 적색광 0.177 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ (PAR : 0.62 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)로 일장연장 처리시 들깨의 개화가 억제되었다. 비닐하우스 시험포장에서 적색광 0.2 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 처리(PAR : 0.7 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)는 관행의 백열등 30 Lux 처리와 같이 개화하지 않고 영양생장을 지속하였다. 적색 LED장치를 이용한 일장연장 처리는 관행의 백열등 처리보다 들깨의 초장은 3%, 엽수는 7%, 엽생체중은 21%, 엽면적은 19% 증가시키는 경향이었다.

감사의 글

This study was carried out with the support of "Research Program for Agricultural Science & Technology Development (Project No. PJ006710)", National Academy of Agricultural Science, Rural Development Administration, Republic of Korea.

참고문헌

- Blanchard, M.G., Runkle, E.S., 2010. Intermittent light from a rotating high-pressure sodium lamp promotes flowering of long-day plants, *HortScience*. 45, 236-241.
- Bula, R.J., Morrow, R.C., Tibbitts, T.W., Barta, D.J., 1991. Light-emitting diodes as a radiation source for plants, *Hortscience*. 26(2), 203-205.
- Choi, Y. W., 2003. Effect of red, blue, and far-red LEDs for night break on growth, flowering and photosynthetic rate in perilla ocymoides, *J. Kor. Hort. Sci.* 44(4), 442-446.
- Chung, H.D., Woo, W. Y., 1988. Effects of day length and night interruption on flowering and chloroplast development of perilla frutescens, *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 29(40), 283-290.
- Downs, R.J., 1956. Photoreversibility of flower initiation, *Plant Physiology* 31, 279-284.
- Johkan, M., Shoji, K., Goto, F., Hashida, S., Yoshihara, T., 2010. Blue light-emitting diode light irradiation of seedlings improves seedling quality and growth after transplanting in red leaf lettuce, *HortScience*. 45, 1809-814.
- Kasperbauer, M.J., Hamilton, J.L., 1984. Chloroplast structure and starch grain accumulation in leaves that received different red and far-red levels during development, *Plant Physiol.* 74, 967-960.

- Li, Q., Kubota, C., 2009. Effects of supplemental light quality on growth and phytochemicals of baby leaf lettuce, *Environmental and Experimental Botany* 67, 59-64.
- McNellis, T.W., Deng, X.W., 1995. Light control of seedling morphogenetic pattern, *Plant Cell* 7, 1749-761.
- Oh, M.K., Yu, S.J., Kim, J.T., Oh, Y.S., Cheng, Y.K., Jang, Y.S., Park, I. J., Park, K.Y., 1995. Flowering response to light intensity and night interruption in *Perilla*, *Korean J. Crop Sci.* 40(5), 543-547.
- Okamoto, K., Yanagi, T., Kondo, S., 1997. Growth and morphogenesis of lettuce seedlings under different combinations of red and blue light, *Acta Horticulturae* 435, 149-157.
- Saebo, A., Kreking, T., Appelgren, M., 1995. Light quality affects photosynthesis and leaf anatomy of birch plantlets in vitro, *Plant Cell Tissue Organ Culture* 41, 177-185.
- Schuerger, A. C., Brown, C. S., Stryjewski, E. C., 1997. Anatomical features of pepper plants (*Capsium annuum* L.) grown under red light-emitting diodes supplemented with blue or far-red light, *Annals of Botany* 79, 273-282.
- Taiz, L., Zeiger, E., 2006. *Plant Physiology*, pp. 481-518, fourth ed. USA.
- Thomas, B., Vince-Prue, D., 1997. Photoperiodism in Plants, pp. 85-91, second ed. UK.
- Wang, C.Y., Fub, C.C., Liu, Y.C., 2007. Effects of using light-emitting diodes on the cultivation of *Spirulina platensis*, *Biochemical Engineering Journal* 37, 21-25.
- Wilkins, H.F., Healy, W.E., Grueber, K.L., 1990. Temperature regime at various stages of production influences growth and flowering of *Dendranthema × grandiflorum*, *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 115, 732-36.
- Wu, M.C., Hou, C.Y., Jiang, C.M., Wang, Y.T., Wang, C.Y., Chen, H.H., Chang, H.M., 2007. A novel approach of LED light radiation improves the antioxidant activity of pea seedlings, *Food Chemistry* 101, 1753-1758.
- Zhou, Y., Singh, B.R., 2002. Red light stimulates flowering and anthocyanin biosynthesis in American cranberry, *Plant Growth Regul.* 38, 165-171.